

[Http://www.engstroy.spb.ru](http://www.engstroy.spb.ru) – полнотекстовая версия журнала в сети Интернет. Бесплатный доступ, обновление с каждым новым выпуском.

## Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

Свидетельство о государственной регистрации: ПИ №ФС77-38070, выдано Роскомнадзором

Специализированный научный журнал

Включен в Перечень ведущих периодических изданий ВАК РФ

Периодичность: 8 раз в год

### Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

### Адрес редакции:

195251, СПб, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 226А

### Главный редактор:

Вера Михайловна Якубсон

### Научный редактор:

Николай Иванович Ватин

### Литературный редактор:

Александра Дмитриевна Федорак

### Переводчики:

Н.А. Леушина, А.И. Некрасова, М.Э. Цафт, А.В. Чаукина

### Редакционная коллегия:

д.т.н., проф., зав. каф. ФГБОУ ВПО СПбГПУ Н.В. Арефьев;

д.т.н., проф., ректор ГОУ СГАСУ М.И. Бальзаников;

к.т.н., проф., проректор по перспективным проектам ФГБОУ ВПО СПбГПУ А.И. Боровков;

д.т.н., проф., Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Э.К. Завадскас;

д.т.н., проф., зав. каф. ФГБОУ ВПО СПбГПУ В.В. Лалин;

к.т.н., директор РУП «Институт БелНИИС» М.Ф. Марковский;

и другие.

Полный список редсовета и редколлегии – на веб-сайте журнала.

Материалы, помеченные знаком ©, публикуются на правах рекламы.

Установочный тираж 1000 экз.

Тел.: +7(812) 297-59-49

E-mail: [engstroy@inbox.ru](mailto:engstroy@inbox.ru)

## Содержание

### СОБЫТИЯ

- Эффективность производства бетонов и бетонных изделий 2  
Саморегулирование и вступление в ВТО 3

### НОРМЫ

- Роль технического заказчика в организации инвестиционно-строительной деятельности 5

### МЕТОДЫ

- Байбурин А.Х., Погорелов С.Н. Исследование неоднородности прочности бетона монолитных конструкций 12  
Деркач В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке 19  
Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений 29

### МАТЕРИАЛЫ

- Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья 35  
Лесовик Р.В., Ключев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций 41  
Бальзаников М.И., Михасек А.А. Применение быстротвердеющих веществ для формирования противофильтрационных элементов в плотинах из каменных материалов 48  
Петраков Г.П. Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения 54

### ТЕХНОЛОГИЯ

- Мантуров З.А. Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих 63  
Горшков А.С., Ватин Н.И., Урустимов А.И., Рымкевич П.П. Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей 69

### ОРГАНИЗАЦИЯ

- Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий 74  
Еремин В.Г., Као Ван Лам. Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений 83

### ИНФОРМАЦИЯ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ 89

© ФГБОУ ВПО СПбГПУ. Все права защищены.

На обложке: строительная площадка, Санкт-Петербург, Россия.

[Http://www.engstroy.spb.ru](http://www.engstroy.spb.ru) – full-text open-access version in Internet. It is updated immediately with each new issue.

## Magazine of Civil Engineering

scientific and applied edition

ISSN 2071-4726

Peer-reviewed scientific and technical journal

Start date: 2008/09

8 issues per year

### Publisher:

Saint-Petersburg State Polytechnical University

### Corresponding address:

226a Hydro Building, 29  
Polytechnicheskaya st., Saint-Petersburg, 195251, Russia

### Editor-in-chief:

Vera M. Yakubson

### Science editor:

Nikolay I. Vatin

### Copy editor:

Alexandra D. Fedorak

### Translators:

N.A. Leushina, A.I. Nekrasova, M.E. Tsift, A.V. Chaukina

### Editorial board:

N.V. Arefev, Saint-Petersburg State Polytechnical University, Russia  
M.I. Balzannikov, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

A.I. Borovkov, Saint-Petersburg State Polytechnical University, Russia  
E.K. Zavadskas, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania  
V.V. Lalin, Saint-Petersburg State Polytechnical University, Russia

M.F. Markovskiy, Republic Unitary Enterprise "Institute BelNIIS", Belarus

B.E. Melnikov, Saint-Petersburg State Polytechnical University, Russia

V.I. Morozov, State Architecturally-Building University, Russia

G.V. Nesvetayev, Rostov State Civil Engineering University, Russia

and others. The full list of editorial board is available on the website.

### Contact us:

+7(812) 535-52-47

[engstroy@inbox.ru](mailto:engstroy@inbox.ru)

## Contents

### EVENTS

- The efficiency of concrete and concrete articles manufacturing (rus) 2  
Self-regulation and the WTO membership (rus) 3

### STANDARDS

- The role of technical customer in the investment and construction activity organization (rus) 5

### METHODS

- Baiburin A.K., Pogorelov S.N. Study of concrete strength heterogeneity in monolithic structures (rus) 12  
Derkach V.N. Tangential adhesion strength of cement mortars in masonry (rus) 19  
Ulybin A.V., Zubkov S.V. Control methods for strength of ceramic bricks in the inspection of buildings (rus) 29

### MATERIALS

- Selivanov Y.V., Shiltsina A.D., Selivanov V.M., Loginova Y.V., Korolkova N.N. Composition and properties of ceramic heat insulating building materials made of the masses of low temperature foaming on the basis of clay raw material (rus) 35  
Lesovik R.V., Klyuyev S.V. Fiber concrete containing composite binders and technogenic sands of Kursk magnetic anomaly for flexural structures (rus) 41  
Balzannikov M.I., Mikhasek A.A. Use of quick-setting substances in watertight elements for rock material dams (rus) 48  
Petrakov G.P. The service life of plastic pipe in the polyurethane foam insulation, used for heating systems (rus) 54

### TECHNOLOGY

- Manturov Z.A. Determining the rational technological parameters of heatresistant concrete produced with sodium silicate binder (rus) 63  
Gorshkov A.S., Vatin N.I., Urustimov A.I., Rymkevich P.P. Computational justification for engineering measures preventing the ice dams formation on the pitched roofs (rus) 69

### ORGANIZATION

- Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. The model of intellectual support of decision-making in building structures condition management (rus) 74  
Eremin V.G., Cao Van Lam. Automating the evaluation of riding quality of bridges (rus) 83

### ENGLISH BLOCK 89

© Saint-Petersburg State Polytechnical University. All rights reserved.

On the cover: building area, Saint-Petersburg

## Эффективность производства бетонов и бетонных изделий

29 марта в Санкт-Петербурге состоялся семинар, посвященный повышению эффективности производства бетона и бетонных изделий, организованный ООО «Торговый дом СУПЕРПЛАСТ». В рамках семинара были рассмотрены такие вопросы как изменение нормативной документации по бетонам, контроль качества бетона, попадающего на строительную площадку, сертификация и страхование компаний-производителей бетона. Кроме того, значительный интерес аудитории вызвали выступления по технологическому аспекту производства бетонных изделий, посвященные влиянию фибры на прочность и долговечность бетонов и применению различных химических добавок.



На первой части семинара обсуждалась проблема нормотворчества и контроля качества при производстве бетона, объединившая трех докладчиков. Ирина Утарбаевна Аубакирова, заместитель руководителя испытательного центра ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, (СПбГАСУ), в своем выступлении отметила оживление, наблюдаемое в последнее время в сфере разработки стандартов по бетонам. Примером тому может служить ГОСТ 7473-2010 (введен в действие 01.01.2012). И.У. Аубакирова также рассказала о недостатке взаимодействия разработчиков стандартов и производителей бетона, оказывающем негативное влияние на полноту, реалистичность и целесообразность выпускаемых нормативов.



Продолжил дискуссию Михаил Александрович Марьян, генеральный директор ООО «ИнвестГрад», обративший внимание слушателей на распределение ответственности за качество производимого бетона. С введением федерального закона Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» государство сняло с себя полномочия контроля производимых строительных материалов и изделий, что привело к появлению преимуществ у производителей не всегда качественных, но более дешевых материалов. Выход из сложившейся ситуации М.А. Марьян видит в развитии профессиональных сообществ, способных гарантировать надлежащее качество производимой продукции и защищать права добросовестных производителей.

Тема контроля качества прозвучала также в докладе Эдуарда Григорьевича Полонуэра, директора ассоциации «А-Бетон», по мнению которого, повлиять на положение дел можно только путем внедрения независимого контроля, реализованного через систему сертификации. В этой системе бизнес должен отвечать за своды правил, а государство – за контроль безопасности строительства. По мнению Э.Г. Полонуэра, в ближайшем будущем из-за вступления России в ВТО конкуренция отечественных производителей с зарубежными резко возрастет, что может привести к печальным последствиям, если не будут налажены системы государственного и саморегулирования.



Вторая часть семинара была посвящена вопросам технологии производства бетона. Возможности применения фибробетона осветил Юрий Владимирович Пухаренко, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий ФГБОУ ВПО СПбГАСУ. Он отметил, что в зависимости от вида армирующих волокон фибробетон может успешно применяться в различных конструкциях, в том числе тонкостенных, несущих, ударо- и износостойких, ограждающих и теплоизоляционных. Эффективность использования данного материала подтвердили присутствовавшие на семинаре производители бетонных изделий.

Особое внимание участников семинара вызвали подробные доклады специалистов компании «Суперпласт» по химическим добавкам, применяемым для модификации бетонов. Были рассмотрены различные виды добавок, необходимые для повышения морозостойкости, удобоукладываемости, скорости схватывания, эксплуатационной долговечности с приведением результатов испытаний.

**А.Д. Федорак**

## Саморегулирование и вступление в ВТО

18 и 20 апреля в рамках XVII Международного строительного форума «Интерстройэкспо» состоялась I Ежегодная международная конференция «Саморегулирование и международный строительный рынок».

Одной из основных задач конференции была разработка практических решений по обеспечению конкурентоспособности отечественных строительных компаний на международном рынке после вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО), в том числе обсуждение вопросов создания корректных нормативов, обеспечивающих защиту наших производителей.

На конференции с докладами выступили представители Национального объединения саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих строительство (НОСТРОЙ), руководители саморегулируемых организаций и некоммерческих партнерств, а также представители страховых компаний.

Алексей Игоревич Белоусов, координатор НОСТРОЙ по г. Санкт-Петербургу, в своем выступлении поднял вопрос административных барьеров, возникающих при согласовании проектов. Он отметил, что в Санкт-Петербурге перед выходом на объект инвестор должен получить 150 согласований. Для решения данной проблемы была создана рабочая группа НОСТРОЙ. В частности, результатом ее работы стало сокращение сроков подключения к электрическим сетям на 1,5 месяца. Сейчас НОСТРОЙ ведет соответствующие переговоры с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

Продолжил тему Сергей Васильевич Пугачев, директор департамента технического регулирования НОСТРОЙ, коснувшийся вопроса принятия международных нормативов в строительстве. На данный момент новый международный стандарт можно ввести в действие за короткий срок, что дает преимущество западным компаниям, которые должны таким образом выполнять гораздо меньше требований, чем отечественные. Нормальной практикой в странах Европы является система параллельного сосуществования нормативов, создающая равные условия для всех производителей. С.В. Пугачев отметил, что создание подобной системы в России может стать стратегически выгодным шагом.

В целом, вступление России в ВТО большинство докладчиков воспринимает как ущемление прав российских строительных компаний в пользу зарубежных. Тем не менее, часть выступающих высказала более оптимистичные прогнозы. Например, Анна Николаевна Врублевская, заместитель территориального директора по СЗФО ОАО «СОГАЗ», отметила, что вступление в ВТО даст российским компаниям новые возможности в выборе материалов, поставщиков и подрядчиков, что, наряду с возрастающей конкуренцией с зарубежными компаниями, должно привести к повышению качества строительства. Кроме того, это откроет для российских компаний западные рынки.



Геннадий Владимирович Киркин, президент Ассоциации профессиональных управляющих строительными проектами, отметил, что вступление в ВТО только продолжит естественный процесс глобализации российского строительного рынка. Так, уже на данный момент в области управления строительными проектами в России работает, не считая китайских, 29 зарубежных компаний. Также Г.В. Киркин отметил, что отечественным строителям стоит поучиться у зарубежных коллег, чтобы оказать им достойную конкуренцию после вступления в ВТО.

На конференции были затронуты и другие вопросы развития саморегулирования и в целом строительной отрасли. Так, Алексей Васильевич Сорокин, директор СРО НП «Региональное строительное объединение», рассказал о развитии системы сметно-нормативной документации. А.В. Сорокин является председателем Комитета по ценообразованию НОСТРОЙ и Комитета по экспертизе и ценообразованию НОП (Национальное объединение проектировщиков), под его руководством создаются новые сборники базовых цен. А.В. Сорокин описал алгоритм создания сборника, включающий сбор информации по объектам-аналогам и общественное обсуждение. Также он отметил, что работа, которая ведется, безусловно, не решает всех проблем российской системы ценообразования. Тем не менее, это важный шаг к ее модернизации.

**В.М. Якубсон, А.Д. Федорак**

## Ⓟ Система интеллектуального проектирования Allplan помогает студентам из СНГ пройти стажировку в Германии

*Берлин, май 2012. Очередной международный архитектурный конкурс Allplan, стартовавший осенью 2011 года, продолжает прием конкурсных проектов. Финал конкурса проходит каждые два года. Проекты будут приниматься до начала летних каникул.*

В мероприятии участвуют студенты строительных специальностей ВУЗов стран СНГ. Они разрабатывают конкурсные проекты при помощи программного продукта Allplan, ведущей европейской САПР – системы комплексного строительного проектирования от немецкого разработчика Nemetschek AG.

Цель конкурса – выявление наиболее талантливых студентов и преподавателей, развитие их профессионального и творческого потенциала, освоение современных технологий строительного проектирования, а также содействие развитию социальных и межкультурных связей в процессе международного сотрудничества и обмена опытом. Основные факторы оценки проектов – полнота использования инструментов Allplan, соотношение оригинальности и технического исполнения, маркетинговый аспект проекта.

Хотелось бы вспомнить предыдущий конкурс, в котором приняли участие студенты из четырех стран (Казахстан, Белоруссия, Украина и Россия). В финале на суд жюри было представлено 11 работ (1 из Украины, 2 из Казахстана, 1 из Белоруссии и 7 из России), отобранных на предыдущем этапе конкурса. В состав жюри входили представители компании Nemetschek AG (Мюнхен), независимые архитекторы из Берлина, а также два представителя фирмы Allbau Software GmbH (Берлин). Лучшим был признан проект студентов из Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ). Проект Романа Назарова и Олега Орлова не только показал полный функционал и инструментарий Allplan, но и отличался объемом выполненной работы.



**1-е место. Работа О. Орлова и Р. Назарова, СПбГПУ, Санкт-Петербург**

Призом за первое место являлась двухмесячная стажировка в архитектурном бюро BVP Bauconsulting (Berlin). Отчет по поездке Олега можно найти на [www.allbau-software.de/students](http://www.allbau-software.de/students). Отчет его предшественницы, победительницы предыдущего финала конкурса, студентки из Минска Анастасии Толстовой, можно найти там же.

В этом году победитель конкурса также получит возможность пройти профессиональную оплачиваемую стажировку в Германии. Студенты, занявшие второе и третье места, получают поощрительные призы – предложения стажировки в ведущих проектных организациях СНГ. Всем финалистам вручаются сертификаты об участии в конкурсе.

Организатором конкурса является компания Allbau Software GmbH, генеральный партнер в СНГ компании Nemetschek AG, Мюнхен/Германия. Allbau Software GmbH является инициатором продвижения Международной Программы Сертификации Студентов в СНГ, в основе которой лежит всестороннее сотрудничество с вузами СНГ с целью обучения студентов профильных специальностей выполнению архитектурно-конструкторских проектов в среде Allplan.

Компания Allbau Software GmbH считает, что будущее принадлежит новому поколению. Студенческие программы Nemetschek Allplan, несомненно, улучшают шансы студентов на получение перспективных и высокооплачиваемых должностей в будущем.

**Контакты: 8 (495) 971-5793, [uni@allbau-software.de](mailto:uni@allbau-software.de), [ua@allbau-software.de](mailto:ua@allbau-software.de)  
[www.allbau-software.de/students](http://www.allbau-software.de/students)**

Система интеллектуального проектирования Allplan помогает студентам из СНГ пройти стажировку в Германии

## Роль технического заказчика в организации инвестиционно-строительной деятельности

*Главный специалист – юрисконсульт Е.В. Чеготова\*,  
Служба государственного строительного надзора и экспертизы Санкт-Петербурга*

Повышение эффективности строительной отрасли в целом требует совершенствования организации инвестиционно-строительной деятельности в форме капитальных вложений. Капитальные вложения могут быть разделены на вложения в создание производственной мощности строительных организаций, предприятий, их производственной базы и на вложения в создание объектов недвижимости. Оба типа вложений могут быть классифицированы как инвестиционно-строительные проекты. Однако в рамках данной работы будет рассматриваться лишь особенности организации инвестиционно-строительных проектов, непосредственно направленных на создание объектов недвижимости.

Рациональное использование материально-технических, финансовых и трудовых ресурсов в строительстве реализуется путем функционального выделения в числе ее участников основных субъектов инвестиционно-строительной деятельности [1]. Под ними традиционно понимаются инвестор, заказчик-застройщик [2], генеральный проектировщик, генеральный подрядчик. Такое разделение на субъекты инвестиционно-строительной деятельности прослеживается и тогда, когда одно юридическое лицо берет на себя выполнение двух или более функциональных ролей.

Одним из важнейших показателей в организации инвестиционно-строительной деятельности является надежность. Надежность определяется вероятностью реализации разработанных организационно-технологических решений, в том числе календарных планов строительства объектов. Надежность определяется возможностью ликвидации строительных отклонений в ходе строительства от действия дестабилизирующих факторов [3].

Организационное проектирование ранее строилось на основе функционального разделения ролей [4], а распределение ответственности – на основе проектного планирования договорных обязательств [5] и их исполнения [6].

В период окончательного становления рыночных отношений в строительстве значительная часть исследований как отечественных [3], так и зарубежных авторов [7], была направлена на выявление роли заказчика-застройщика в организации инвестиционно-строительной деятельности. Однако выводы и рекомендации, являющиеся результатами этих исследований, частично потеряли свою актуальность вследствие законодательных изменений, произошедших в строительном комплексе в конце 2011 г. в связи с изменением статуса одной из ключевых фигур в строительстве – заказчика.

Именно 2011 год был очень плодотворным с точки зрения изменений в законодательстве, в частности, был внесен ряд существенных поправок в Градостроительный кодекс РФ, кардинально изменивших статус заказчика (технического заказчика). Вышедший в сентябре 2011 года комментарий к Градостроительному кодексу РФ (авторы З.К. Бердиева, С.Н. Коноплев, Е.В. Чеготова, В.Е. Шибанов) [8] не учитывается даже в более новом издании [1]. Данный факт обуславливает необходимость продолжения исследований в области организации и управления строительного производства, что и послужило одной из причин написания настоящей статьи.

В связи с изменением статуса одной из ключевых фигур в строительстве – заказчика, целью данной работы является:

- оценка целесообразности использования в организации инвестиционно-строительной деятельности застройщика и технического заказчика в виде разных юридических лиц.
- определение норм, помимо ГрК РФ, регламентирующих статус застройщика, технического заказчика и заказчика.

### *Функции застройщика*

Согласно п. 16 ст. 1 ГрК РФ, застройщик – физическое или юридическое лицо, обеспечивающее на принадлежащем ему земельном участке строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объектов капитального строительства, а также выполнение инженерных изысканий, подготовку проектной документации для их строительства, реконструкции, капитального ремонта. Таким образом, чтобы иметь статус застройщика, нужно просто владеть на каком-либо праве земельным участком [9]. С точки зрения ГК РФ это может быть право

Чеготова Е.В. Роль технического заказчика в организации инвестиционно-строительной деятельности

собственности, аренды, постоянного бессрочного пользования, пожизненного наследуемого владения, безвозмездного срочного пользования. Лицо, в пользу которого установлен сервитут, застройщиком не является, т.к. сервитут устанавливается в отношении чужого земельного участка (ст. 274 ГК РФ) и не лишает собственника земельного участка прав владения, пользования и распоряжения этим участком. Само владение земельным участком влечет за собой лишь затраты на приобретение права владения и на содержание участка (налоги, арендная плата, затраты по инвестиционным условиям [10] и т.д.). Спецификой правового положения застройщика применительно к регистрации права на объект нового строительства или перерегистрации прав на реконструированный объект на его земельном участке является то, что в отношении застройщика действует презумпция возникновения у него права на этот объект [11]. Законодатель уравнивает всех застройщиков в правах пользования земельным участком, вне зависимости от того, в силу чего было приобретено право на земельный участок: на торгах (инвестиционный договор или договор развития застроенной территории), в процессе приватизации или по любым другим основаниям [12]. Обязанности застройщиков различны в зависимости от типа объекта, от договоров, по которым работает застройщик, от места положения участка, от схемы приобретения прав на земельный участок и т.д.. Например, существует схема приобретения прав на земельный участок через предварительную разработку проекта планировки и проекта межевания территории. В таком случае, прежде чем стать застройщиком в смысле, указанном выше, лицо, заинтересованное стать застройщиком, сначала обязано разработать своими силами или силами привлеченной организации проект планировки и межевания территории, учитывающий интересы всех землепользователей (собственников, арендаторов и т.д. уже существующих объектов), а также государственные/муниципальные нужды (например, строительство дорог и т.д.) [13]. Если в результате разработки проекта выделяется земельный участок, свободный от прав третьих лиц, то после утверждения проекта он передается в аренду лицу, разработавшему документацию по планировке территории под то целевое назначение, которое позволяют Правила землепользования и застройки. В Санкт-Петербурге утверждение проекта происходит посредством Постановления Правительства Санкт-Петербурга.

Если земельный участок приобретается на торгах (с оформлением договора аренды на инвестиционных условиях), то на застройщика возлагаются обязанности по выполнению определенных инвестиционных условий, например, определенные финансовые отчисления или строительство/ремонт каких-либо зданий, передача квартир в пользу города и т.д. [14]

Проведенный анализ показывает, что осуществление функций застройщика не требует допусков саморегулируемых организаций (СРО) и связано с затратами (и рисками) только на приобретение участка и владение им. В рамках реализации инвестиционного проекта с точки зрения минимизации риска, учитывая высокую стоимость участков, целесообразно выделение для этой функции отдельного юридического лица.

### *Функции технического заказчика*

Пункт 22 ст. 1 ГрК РФ, введенный в действие Федеральным законом от 28.11.2011 N 337-ФЗ, определяет технического заказчика как «физическое лицо, действующее на профессиональной основе, или юридическое лицо, которые уполномочены застройщиком и от имени застройщика заключают договоры о выполнении инженерных изысканий, о подготовке проектной документации, о строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, подготавливают задания на выполнение указанных видов работ, предоставляют лицам, выполняющим инженерные изыскания и (или) осуществляющим подготовку проектной документации, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт объектов капитального строительства, материалы и документы, необходимые для выполнения указанных видов работ, утверждают проектную документацию, подписывают документы, необходимые для получения разрешения на ввод объекта капитального строительства в эксплуатацию, осуществляют иные функции, предусмотренные настоящим Градостроительным Кодексом». Таким определением законодатель установил минимальный перечень полномочий и обязанностей к лицу, называемому техническим заказчиком. Данное определение заменило собой определение «заказчика», которое ранее фигурировало в ряде статей ГрК РФ, например, в ст. 52 ГрК РФ, как одно из лиц, осуществляющих строительство.

Застройщик вправе осуществлять функции технического заказчика самостоятельно [2], что следует из определения технического заказчика и поддерживается практикой. Но, в таком случае, ему необходимо будет получить соответствующий допуск, по крайней мере, минимальному перечню работ на основании приказа Минрегиона РФ № 624 от 30.12.2009. Это, в свою очередь, влечет существенные финансовые затраты, т.к. необходимо выполнить минимальные требования, указанные 55.5 ГрК РФ (для основной массы объектов капитального строительства) или в

Постановлении Правительства РФ от 24.03.2011 № 207 для технически сложных, особо опасных и уникальных объектов (эти объекты указаны в ст. 48.1 ГрК РФ). Кроме этих требований, связанных с минимальной численностью сотрудников с профильным образованием, периодическим повышением квалификации и т.д., каждая СРО вправе выставить любые дополнительные требования. Эти требования не должны ограничивать конкуренцию. На практике СРО иногда предъявляют требования по материально-технической части (особенно это характерно для «профильных» СРО, например, объединяющих строителей, осуществляющих технически сложные работы [7], достаточно часто предъявляющих требования по наличию системы менеджмента качества (ISO 9000...). Совсем экзотическим для России, но не для западных строительных компаний, требованием является сертификация по ISO 14040-99 [15].

Расходы на поддержание материально-технической базы (в т.ч. расходы на лицензионное программное обеспечение) [16] зависят от профиля организации. Стоимость подтверждения соответствия ISO зависит от размера организации, от того, насколько формально или реально проходит соответствующая сертификация, длящаяся от нескольких месяцев до полугода, и составляет от нескольких сотен тысяч рублей до нескольких миллионов. Эта сумма не учитывает взносов в компенсационный фонд, которые зависят для строительных СРО от объема договоров, по которым та или иная организация собирается работать, а также от наличия или отсутствия страховки, которая варьируется от 300 тысяч руб. до 30 млн. руб. на одну организацию. Практика строительных организаций показывает, что оптимизация этих расходов возможна при создании технического заказчика в виде отдельной компактной специализированной организации.

Обязанность технического заказчика осуществлять строительный контроль подкрепляется еще и требованиями ч. 4 ст. 748 ГК РФ (в данной статье он именуется заказчиком в рамках договора подряда), в соответствии с которыми подрядчик, ненадлежащим образом выполнивший работы, не вправе ссылаться на то, что (технический) заказчик не осуществлял контроль и надзор за их выполнением, кроме случаев, когда обязанность осуществлять такой контроль и надзор возложена на (технического) заказчика законом. То есть можно считать, что игнорирование (техническим) заказчиком обязанностей по осуществлению контроля и надзора за ходом строительства может повлечь для него негативные последствия. Это, в частности, подкрепляет соображения о необходимости разделения функций застройщика и технического заказчика в качестве средства исключения рисков ответственности застройщика за ненадлежащий надзор и контроль над ведением работ.

### *Новое прочтение ранее принятых нормативных документов*

С учетом того, что термин «технический заказчик» появился в ГрК РФ только с конца ноября 2011, во всех нормативных документах, которые вышли до этого момента, даже если их еще не привели в соответствие с данной терминологией, необходимо читать «технический заказчик», а не просто заказчик. Это обусловлено тем, что документы более низкого уровня не могут противоречить более высокому. Например, приказы Ростехнадзора не могут противоречить ГрК РФ, следовательно, в акте освидетельствования скрытых работ, форма которого была утверждена Приказом Ростехнадзора от 26\_12\_2006 N 1128-РД-11-02-2006, вместо заказчика теперь должен расписываться технический заказчик.

Федеральный закон от 17.11.1995 № 169-ФЗ «Об архитектурной деятельности в Российской Федерации» дает несколько другое, чем в ГрК РФ, определение застройщика, упоминая при этом заказчика [17]. Определение гласит: «Заказчик (застройщик) – гражданин или юридическое лицо, имеющие намерение осуществить строительство, реконструкцию (далее – строительство) архитектурного объекта, для строительства которого требуется разрешение на строительство, – обязан иметь архитектурный проект, выполненный в соответствии с архитектурно-планировочным заданием» [18]. Однако при использовании данного определения нужно учитывать, что более поздний закон отменяет более ранний. С учетом того, что в Федеральный закон «Об архитектурной деятельности в РФ» в этой части достаточно давно не вносились изменения (указанное выше определение дано в редакции Федерального закона от 10.01.2003 N 15-ФЗ), более поздний закон, т.е. ГрК РФ, заменяет собой более ранний. Указанное определение действует в части, не противоречащей определению, содержащемуся в ГрК РФ, т.е. фактически не действует. Например, действующий ГрК РФ уже не содержит такого понятия как архитектурно-планировочное задание, сейчас это понятие заменено градостроительным планом земельного участка.

## **Организация инвестиционно-строительной деятельности заказчиком и техническим заказчиком, полномочия и ответственность**

И застройщик, и технический заказчик могут быть лицами, осуществляющими строительство. Полномочия по осуществлению строительства определяются договором между застройщиком и техническим заказчиком, если это разные лица [19].

Законодатель возлагает определенные обязанности только на застройщика, например, согласно ст. 51 и 55 ГрК РФ, только застройщик может получить разрешение на строительство или разрешение на ввод объекта в эксплуатацию. Это не мешает застройщику уполномочить третье лицо совершать юридически значимые действия по получению данных разрешений, но в графе «кому выданы данные разрешения» всегда будет указан застройщик. Лицо, на которое застройщик возложит фактический сбор и подачу необходимых документов для указанных выше разрешений, должно иметь доверенность от застройщика.

В тоже время, согласно ст. 54 ГрК РФ и Постановлению Правительства РФ от 01.02.2006 №54, регламентирующим государственный строительный надзор, уведомление о начале строительства, об окончании конкретных работ может направить как застройщик, так и технический заказчик, если на него такая обязанность возложена по договору с застройщиком.

В связи с данным разделением полномочий разнится и ответственность данных лиц. Изначально судебная практика придерживалась позиции, согласно которой за строительство без разрешения (ч. 1 ст. 9.5 КоАП РФ) может быть привлечен к административной ответственности только застройщик (см. решение Арбитражного суда Санкт-Петербурга и Ленинградской области по делу № А56-44446/2007 от 09.01.2008 и определение ФАС СЗФО от 17.04.2008 по данному делу), однако, теперь может привлекаться к ответственности как застройщик, так и технический заказчик (см. Постановление Пленума ВАС РФ от 17.02.2011 N 11 «О некоторых вопросах применения Особенной части Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях»).

При этом, если виноват застройщик (в чистом виде) как владелец земли, то его вина выражается, как правило, в бездействии, т.е. в невыполнении своей обязанности по надлежащему обеспечению строительства, реконструкции, капитального ремонта (см. Постановление Тринадцатого арбитражного апелляционного суда от 05.09.2007 по делу N А56-9369/2007).

В то же время, ответственным за нарушение сроков направления в уполномоченные органы государственного строительного надзора извещения о начале строительства, реконструкции объектов капитального строительства или за неуведомление их о сроках завершения работ, которые подлежат проверке (ч. 2 ст. 9.5 КоАП РФ), в силу Приказа Ростехнадзора от 26\_12\_2006 №1129 может быть как застройщик, так и технический заказчик, в зависимости от договора между ними.

Что касается ответственности за отступления от требований проектной документации, обязательных нормативно-технических документов (ч. 9.4 КоАП РФ), здесь все зависит от того, насколько правильно застройщик оформил договорные отношения. Если из договоров непонятно, кто за какие конкретно работы отвечает, то отвечать будет застройщик как лицо, которое надлежащим образом обеспечивает строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, что следует из процитированного выше определения застройщика, приведенного в п. 16 ст. 1 ГрК РФ.

В рамках гражданско-правовых отношений, например, при заключении договоров подряда и возмездного оказания услуг (проектирование и строительство) по умолчанию всю исходно-разрешительную документацию должен предоставить застройщик, который в данном случае, в смысле ст. 740-757 ГК РФ, регламентирующих отношения по строительному подряду, является заказчиком подрядных работ [20]. Однако если застройщик намерен сохранить за собой только функции владения земельным участком, то он перекладывает эти обязанности на более сведущих лиц, например, получение ТУ и градостроительных планов – на проектировщика, получение ордера ГАТИ на установку ограждения строительной площадки – на технического заказчика или на генерального подрядчика и т.д. Это, в свою очередь, влечет за собой необходимость оплаты данных видов работ, однако, как показывает практика, дешевле нанять лиц, которые выполняют эти функции профессионально, чем вникать в принципиально новую сферу деятельности.

### ***Взаимодействия застройщика и «дольщика»***

Важен статус застройщика в организации инвестиционно-строительной деятельности совместно с «дольщиками», действующими по Федеральному закону от 30.12.2004 N 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации». На застройщика возлагается по ч. 3 ст. 14.28 КоАП РФ ответственность за административные правонарушения (непредставление в установленный срок в орган, осуществляющий контроль и надзор в области долевого строительства многоквартирных домов и (или) иных объектов недвижимости, отчетности в случаях, предусмотренных законодательством об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и (или) иных объектов недвижимости, а равно представление отчетности, содержащей недостоверные сведения, или представление отчетности не в полном объеме).

Даже если в организационной схеме инвестиционно-строительной деятельности есть внешний по отношению к застройщику инвестор, который фактически финансирует строительство дома (например, кооператив), обязанность по представлению соответствующей отчетности остается на застройщике (см. Постановление ФАС Западно-Сибирского округа от 23.11.2009, 19.11.2009 по делу N А75-4904/2009). Именно застройщик должен подавать на регистрацию договоры долевого участия в строительстве. При этом расходы на регистрацию фактически перекладываются на самих дольщиков.

Для привлечения денежных средств по договорам долевого участия в строительстве мало быть застройщиком, необходимо выполнить еще ряд условий, например, получить разрешение на строительство, разместить проектную декларацию в сети «Интернет» (еще до заключения первого договора долевого участия), по мере необходимости вносить в нее изменения и т.д. [21] Невыполнение этих условий также влечет ответственность по различным частям ст. 14.28 КоАП РФ. Теоретически застройщик может в рамках доверенности возложить эти обязанности на иную организацию, например, на технического заказчика, но ответственным за ненадлежащее выполнение обязанностей по-прежнему будет являться застройщик (см. Постановление ФАС Восточно-Сибирского округа от 17.06.2011 по делу N А58-6787/2010). Застройщика будут штрафовать, если он работает не по Федеральному закону «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов...», а по каким-либо иным схемам, например, по схеме предварительной купли-продажи и т.п. [22] Правда, законодательство по-прежнему дает возможность работать через схему ЖСК как единственную легальную альтернативу «долевке» [23]. Этим достаточно широко пользуются, создавая фактически компании-посредники, которые стоят между первоначальным владельцем земли и конечными покупателями квартир. Этим компаниям-посредникам первоначальный застройщик просто сдает в аренду (субаренду) земельный участок, фактически снимая с себя ответственность в рамках Федерального закона «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов...». Это существенно отличается от зарубежного опыта функционирования ЖСК. Например, в Южной Корее ЖСК – один из распространенных способов улучшения жилищных условий. ЖСК берет в управление квартал жилых домов, при этом членами ЖСК становятся все собственники квартир, находящихся в данных домах. Далее на собрании ЖСК может быть принято решение о том, что дома морально устарели (по наблюдениям автора, это не значит, что дома разрушаются, это – устаревшая инфраструктура или инженерия, не соответствующая современным потребностям). После чего все собственники собирают деньги на новое строительство. Если у кого-то денег не хватает, он продает свою квартиру ЖСК. По такой схеме строятся большие кварталы, в т.ч. в Сеуле. Только тогда ЖСК становится не просто застройщиком, а еще и т.н. девелопером и управляющей компанией в одном лице [24].

### ***Влияние особенностей местного законодательства на инвестиционно-строительную деятельность***

Федеральное законодательство иногда осложняет жизнь застройщикам на местном уровне. В городах, где много зданий-памятников истории и культуры, а тем более в исторических поселениях (перечень которых утвержден Приказом Минкультуры РФ N 418, Минрегиона РФ N 339 от 29.07.2010), на застройщиков возлагается дополнительная обязанность – согласование документации по планировке территории. В этот перечень исторических поселений попал и Санкт-Петербург, наравне с такими поселениями как города Плес, Ярославль, село Крапивна и др.

Местное законодательство в принципе не может регламентировать статус застройщика или технического заказчика, но в Московской области принят закон от 01.07.2010 N 84/2010-ОЗ «О защите прав граждан, инвестировавших денежные средства в строительство многоквартирных домов на территории Московской области» [25] (принят Постановлением Мособлдумы от 24.06.2010 N 5/124-П) [26]. Документ носит во многом декларативный характер, что обусловлено

Чеготова Е.В. Роль технического заказчика в организации инвестиционно-строительной деятельности

отсутствием полномочий регионов в данном вопросе [27]. Однако это попытка конкретизировать статус такого застройщика, как ТСЖ (ЖСК), объединяющее обманутых дольщиков [28].

Если обратить внимание на иностранный опыт, можно отметить, что местное законодательство также иногда устанавливает свои правила в этой сфере. Например, в американской модели длительное время в каждом штате действовал фактически свой «градостроительный кодекс», частично местное градостроительное законодательство действует до сих пор. Например, Нью-Йорк только в 2008 году отказался от местного кодекса, который действовал с 1968 года, заменив его адаптированным «Интернациональным строительным кодексом» (IBC). Чикаго, Флорида до сих пор пользуются местным кодексом.

### Заключение

Проведенный анализ показывает, что при выборе и обосновании рациональных организационных структур и методов управления в строительстве необходим учет следующих моментов.

1. Представляется разумным, чтобы застройщик и технический заказчик, функции которых теперь разнятся, представляли собой разные юридические лица. Затраты на поддержание деятельности двух организаций, выполняющих функции просто застройщика и просто технического заказчика, и возможные риски оказываются меньше, чем при осуществлении деятельности застройщика и технического заказчика одним лицом.

2. Нормативное правовое регулирование статуса застройщика, технического заказчика и заказчика, помимо ГрК РФ с изменениями конца 2011 года, регламентируются документами: КоАП РФ и Федеральным законом от 30.12.2004 N 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации». В силу данных документов застройщик по статусу больше «привязан» к земельному участку, а технический заказчик – к строительству как к процессу создания нового объекта недвижимости.

3. На данный момент фактически утратил силу МДС 12-3.2000 «Положение о заказчике-застройщике (едином заказчике, дирекции строящегося предприятия) и техническом надзоре», утвержденный Постановлением Госстроя СССР от 02.02.1988 № 16 [17]. Формально данный документ пока не отменен, но, по общему правилу, более поздний документ отменяет более ранний, и Федеральные законы (к которым относится и сам ГрК РФ) имеют приоритет перед другими нормативными правовыми актами, которые ниже по статусу, т.е. перед указанным МДС в частности [2].

4. Также в части определения статуса застройщика (заказчика) фактически утратил силу Федеральный закон от 17.11.1995 № 169-ФЗ «Об архитектурной деятельности в РФ».

5. В связи с этим окончательно ушел из законодательства термин «заказчик-застройщик» [29].

### Литература

1. Калашников А. А., Ватин Н. И. Организация, управление и планирование в строительстве (Учебное пособие). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 143 с.
2. Шелихов С. Н., Монахов Н.И., Зеликман Д. И. Справочное пособие заказчика-застройщика. М.: Стройиздат, 1983. 783 с.
3. Малыгина С. В. Состояние организационно-технологического планирования в строительстве // Строительство в новых хозяйственных условиях: Сб. науч. трудов № 5. Омск: Изд-во СибАДИ, 1999. С. 72-84.
4. Птухина И. С. Распределение ответственности контрагентов организации строительства на основе проектного планирования договорных обязательств и их исполнения. Специальность 05.23.08 – Технология и организация строительства Автореферат дисс. к.т.н. СПб.: 2012. 18 с.
5. Птухина И. С. Методика распределения экономической ответственности исполнителей за задержку окончания строительства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета 2011. №04(68). С. 383 – 394.
6. Болотин С. А., Дадар А. Х., Птухина И. С. Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 82-86.

7. Swoboda G., Laabmayer F., Mader I. Principles and developments in shallow tunnel construction, Part 2 // Computers and Geotechnics. 1987. Volume 3, Issue 1. Pp. 61.
8. Бердиева З. К., Коноплев С. Н., Чеготова Е. В., Шибяев В. Е. Комментарий к Градостроительному кодексу РФ (постатейный). М.: РИОР: Инфра-М, 2012. 432 с.
9. Литовкин В. Н., Суханов Е. А., Чубаров В. В. Право собственности: актуальные проблемы Института законодательства и сравнительного правоведения. М.: Статут, 2008. 730 с.
10. Попов М. В. Приобретение публичных земель для строительства коммерческой недвижимости. М.: Статут, 2006. 251 с.
11. Алексеев В.А. Недвижимое имущество: государственная регистрация и проблемы правового регулирования. М.: Волтерс Клувер, 2007. 504 с.
12. Ланцов И. В. Понятие объекта незавершенного строительства и его особенности Известия Иркутской государственной экономической академии //Байкальский государственный университет экономики и права (электронный журнал). 2011. № 6. С. 54-54.
13. Попов М. В. Заявление о выборе земельного участка при предварительном согласовании места размещения объекта // Бизнес, менеджмент и право. 2006. №1. С. 78-82.
14. Суханов Е. А. О понятии недвижимости и его влияния на иные гражданско-правовые категории // Вестник гражданского права. 2008. № 4. С. 10.
15. Qingyan (Yan) Chen. It is again a great year for Building and Environment// Building and Environment. 2012. Vol. 47. Pp. 1-2.
16. Woodhead W. D., Rahilly M. Regional estimation of resources for housing Original Research Article // Computers, Environment and Urban Systems. 1986. Volume 10, Issues 3–4. Pp. 147-156.
17. Воронова С. О. Современное состояние организационно-технологического проектирования строительного производства в условиях правовой неопределенности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, Сер.:Строительство и архитектура. 2010. № 17. С. 92-95.
18. Бородин С. И. Понятие и функции застройщика на рынке жилищного строительства// Экономика строительства. 2011. № 3. С. 50-53.
19. Волкова А. Б. Договор с техническим заказчиком // Учет в строительстве. 2005. №3. С. 72-78.
20. Юшкова Н. Г. Проблемы управления градостроительными процессами: взаимодействие государства и рынка // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 66-69.
21. Гринев В. П. Новое в долевом строительстве. Комплексный анализ и практические рекомендации. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Гросс Медиа. РОСБУХ, 2007. 104 с.
22. Певницкий С. Г., Чефранова Е. А. Многоквартирные дома: проблемы и решения. М.: Статут, 2006. 541 с.
23. Саввина Л. Я. Особенности переоформления прав на земельные участки в кондоминиумах в существующей застройке [Электронный документ] // Бизнес, менеджмент и право. 2003. №4. URL: [http://www.bmpravo.ru/show\\_stat.php?stat=238](http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=238) (дата обращения: 01.05.2012).
24. Некрасова Т. П. О пользе лингвистического поиска // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета,серия: Строительство и архитектура. 2010. № 17. С. 92-95.
25. Шакум М. Л. Национальный проект «Доступное жилье»: проблемы законодательного обеспечения // Бизнес, менеджмент и право. 2007. №1. С. 29-32.
26. Дягилев А. В. Что нам стоит дом достроить // Правовые вопросы строительства «ЭЖ-Юрист». 2011. № 2. С. 25-27.
27. Печенкина В. В., Васильченко Е. В. Проблемы налогового регулирования незавершенного строительства и пути их решения // Экономический анализ: теория и практика. 2011. № 2 (209). С. 44-48.
28. Кайль А. Н. Долевое строительство. Как не дать себя обмануть. М.: Омега-Л, 2010. 148 с.
29. Ханатаев Г. Правовое положение застройщика // Хозяйство и право. 2005. № 3. С. 70-78.

*\*Елена Викторовна Чеготова, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. раб.: +7(812)576-15-63; эл. почта: chegotova@mail.ru*

## Исследование неоднородности прочности бетона монолитных конструкций

*К.т.н., профессор А.Х. Байбурин\*;  
к.т.н., доцент С.Н. Погорелов,  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)*

**Ключевые слова:** бетон; неоднородность бетона; монолитные конструкции; прочность бетона; технологические факторы

Неоднородность бетона является следствием неравномерного распределения его компонентов, физической и химической неоднородности продуктов гидратации цемента, результатом влияния изменчивости свойств компонентов, технологических параметров изготовления, доставки, укладки бетонной смеси и выдерживания бетона. При определении характеристик бетона на неоднородность влияют также ошибки методов испытаний, погрешности средств измерений, точность тарировки, причем это относится и к определению свойств компонентов бетона. В справочнике [1] неоднородность структуры бетона объясняется, главным образом, отличием свойств его составляющих.

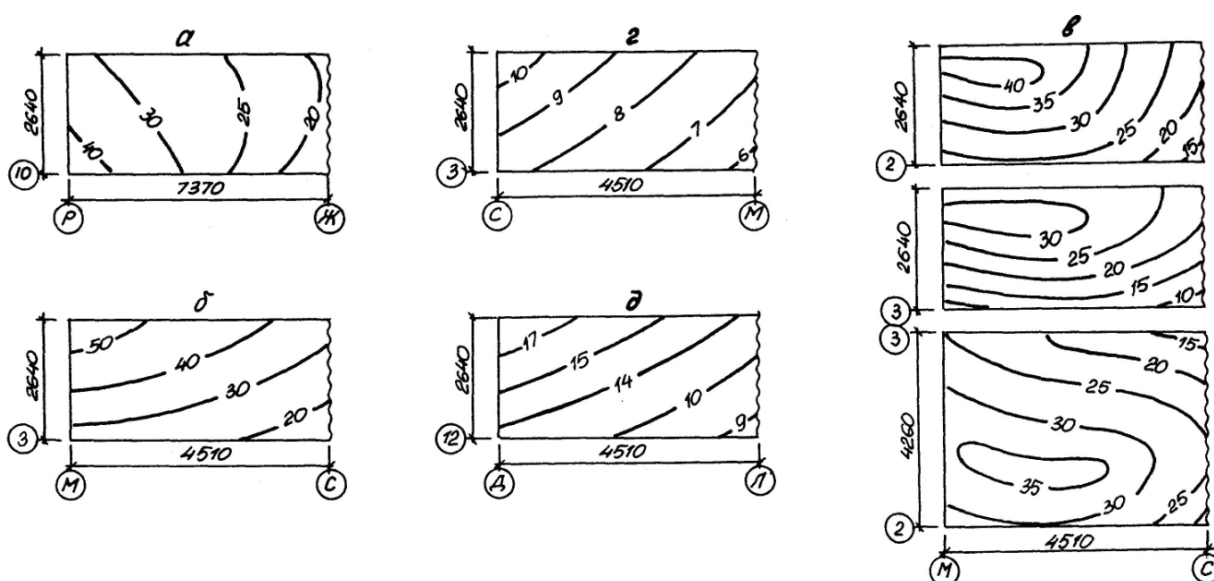
Подробный обзор проблемы неоднородности бетона содержится в [2]. Исследователями получены следующие результаты.

1. Систематическая неоднородность прочности по высоте формируемых изделий в направлении бетонирования достигает 10-35% с понижением в верхних слоях, где концентрация крупного заполнителя меньше [3]. В нормах по проектированию железобетонных конструкций это учитывается коэффициентом условий работы 0,80-0,85 для различных бетонов при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м.
2. Исследовано влияние «гидравлического давления» на изменение модуля упругости бетона по высоте формируемых элементов с увеличением модуля в нижних слоях, доказано, что плотность бетона изменяется незначительно [4].
3. Наблюдается анизотропия свойств бетона, зависящая от направления укладки бетонной смеси: прочность на растяжение в направлении укладки меньше, чем в перпендикулярном направлении [5]. Нормативная вариация прочности бетона на растяжение назначена 0,165 против 0,135 для прочности при сжатии.
4. Чем меньше поперечное сечение элементов, тем больше влияние дефектов структуры (раковин, неплотных участков и пр.), что в нормах учитывается коэффициентом условий работы 0,85 для бетонных столбов или железобетонных колонн сечением менее 30 см [6].
5. Установлено уменьшение влажности поверхностных зон бетона и повышение пористости на глубину до 50 мм, что влияет на прочность по сечению элементов. Причем толщина слоя не зависит от размеров элементов [7, 8].
6. Исследовано влияние неоднородности деформаций усадки по объему бетонных элементов на напряженно-деформированное состояние конструкций различной массивности [9, 10].

Таким образом, неоднородность прочности в вертикальном направлении связана, главным образом, с изменением концентрации крупного заполнителя при виброуплотнении (для массивных и немассивных конструкций). Изменение прочности в горизонтальном направлении – результат распределения влажностных полей, развития деформаций усадки и неблагоприятного изменения поровых характеристик структуры бетона (для массивных конструкций).

Определению количественных взаимосвязей вариации прочности и основных технологических факторов при изготовлении бетонной смеси (водоцементного отношения, активности цемента, густоты цементного теста, режимных параметров твердения, качества заполнителей) были посвящены диссертационные исследования, например [11]. Вместе с тем, большой практический интерес представляет исследование влияния технологии изготовления монолитных конструкций на неоднородность прочности бетона.

На рис. 1 приведены результаты исследования температурных и прочностных полей в бетоне монолитных стен и перекрытий 16-этажного сборно-монолитного дома, возводимого в объемно-переставной опалубке. Тепловая обработка осуществлялась методом камерного воздухообогрева с применением электрических калориферов 15,0–22,5 кВт. Температура измерялась при помощи хромель-копелевых термопар в 72 точках стен и перекрытия, составляющих монолитную ячейку. Прочность бетона определялась методом упругого отскока и ультразвуковым прибором УК-14П (проектный класс бетона В15).



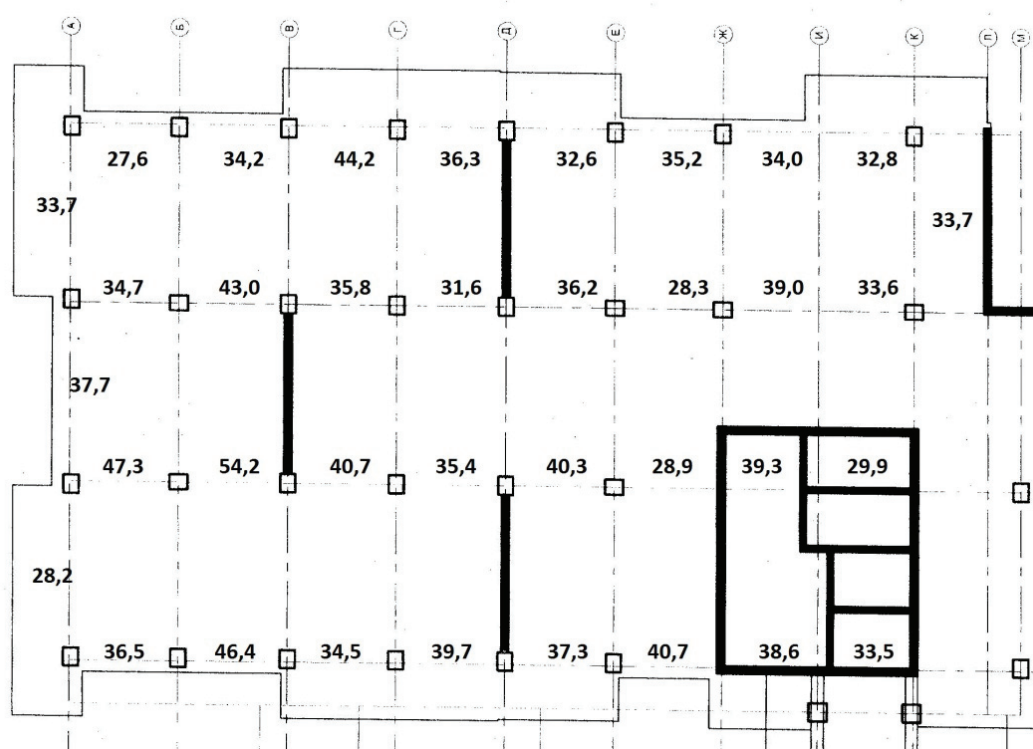
**Рисунок 1. Температурные и прочностные поля в бетоне конструкций:**  
**а** – распределение температуры воздуха внутри тоннеля опалубки при включенном вентиляторе калорифера, °С; **б** – то же при отключенном вентиляторе, °С;  
**в** – температурные поля в бетоне двух стен и перекрытия, °С; **г** – прочностные поля в бетоне стены в возрасте 3 суток, МПа; **д** – то же в возрасте 6 суток, МПа.  
 Температура наружного воздуха от –8°С до 0°С

Распределение температуры воздуха внутри тоннеля опалубки в значительной степени зависит от работы вентилятора калорифера. При работе последнего обеспечивается достаточно равномерное по высоте распределение температур (рис. 1, а). При отключении вентилятора движение воздуха вызывается естественными конвективными потоками от нагретых поверхностей и инфильтрацией через навесные шторы (рис. 1, б). Это обуславливает большую неравномерность температуры в тоннеле (от 7 до 50°С, градиенты по длине и высоте 0,14–0,16 °С/см). Так как в период изотермического выдерживания калорифер включался лишь на непродолжительное время для компенсации тепловых потерь, распределение температуры в плоскости конструкции (рис. 1, в) определяется температурным полем нагретого воздуха (рис. 1, б). Соответственно температурным полям распределялись и прочностные поля в плоскости стен (рис. 2, г, д). Прочность бетона на сжатие отличалась по высоте стен на 40–47%. В первые часы после распалубки в некоторых монолитных стенах образовались сквозные вертикальные трещины шириной раскрытия 0,2–1,0 мм. Образование трещин объяснялось неблагоприятным сочетанием конструктивно-технологических факторов: большими градиентами температур по плоскости стен, условиями заземления стен, технологическим циклом бетонирования этажей (отношением модуля упругости бетона в смежных этажах). При этом разность температуры наружных слоев бетона и воздуха в момент распалубки была равна 5–15°С и не превышала допустимого нормативного значения.

Таким образом, камерный обогрев характеризуется большой неравномерностью распределения температуры в бетоне, что приводит к увеличению продолжительности выдерживания бетона до достижения им требуемой прочности, повышенному расходу электроэнергии, а также к значительным температурным градиентам и, в некоторых случаях, к трещинам в конструкциях.

Как показано в [12, 13], регулируя температурное поле при термообработке бетона различными методами, можно существенно изменять напряженно-деформированное состояние и повысить трещиностойкость конструкций, особенно тонких стен. Обеспечение равномерности обогрева путем непрерывной работы тепловентиляторов приводит к созданию избыточного давления внутри тепляка, увеличению теплопотерь. Для повышения эффективности прогрева и обеспечения качества монолитных конструкций рекомендуется применение воздухопроводов или приопалубочных штор с подачей теплого воздуха непосредственно к обогреваемой поверхности [14].

Для монолитного перекрытия распределение прочности на сжатие бетона зрелого возраста было получено методом ударного импульса прибором ИПС-МГ4 при контроле отдельных участков методом отрыва со скалыванием. Несмотря на большой разброс значений прочности от 27,6 до 54,2 МПа на отдельных участках (рис. 2), коэффициент вариации составил 16% и не превысил допустимого значения по ГОСТ Р 53231 [15]. Фактический класс бетона с учетом неоднородности составил В27 против В22,5 по проекту.



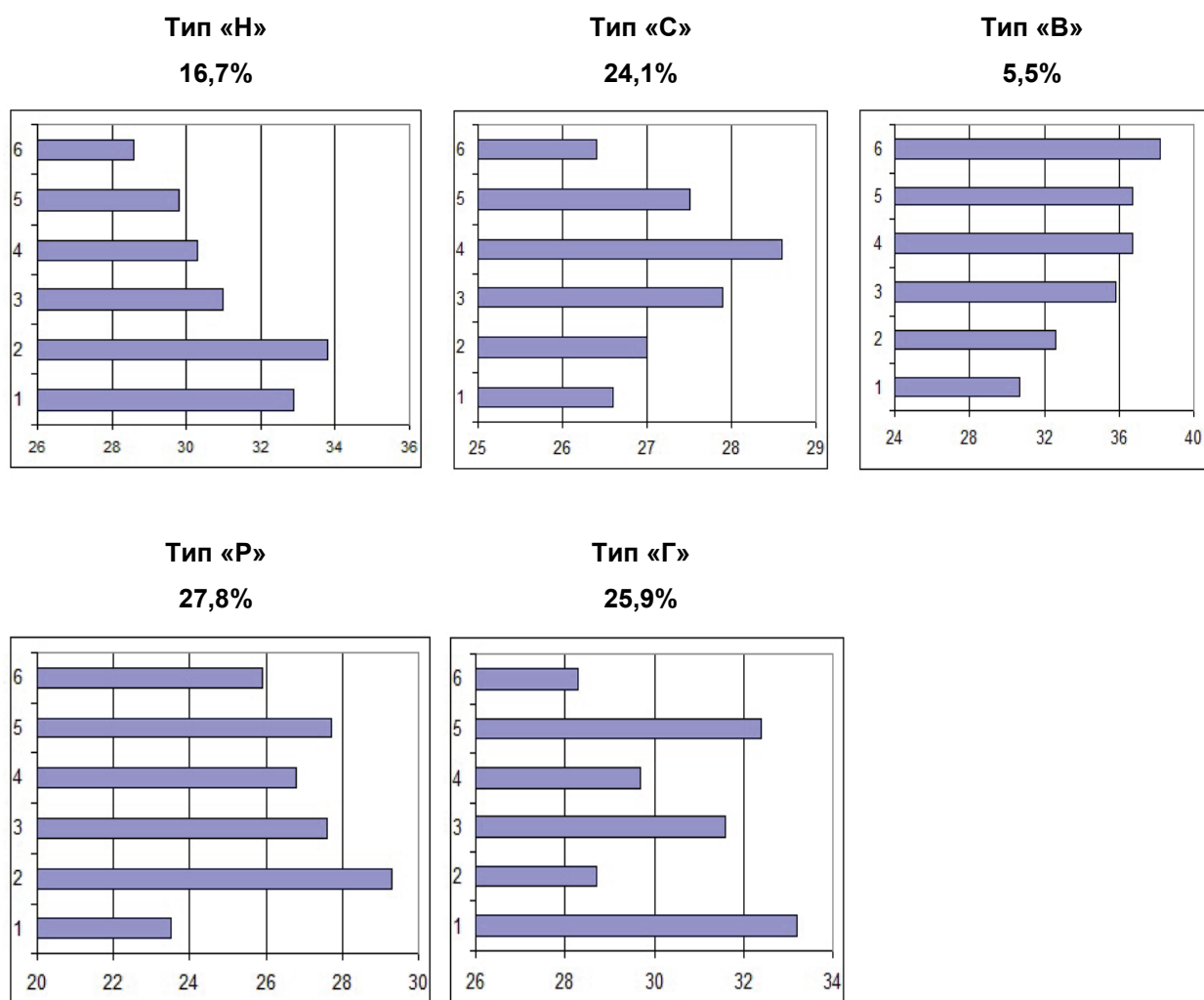
**Рисунок 2. Распределение прочности по поверхности перекрытия, МПа**

При испытаниях прочности бетона перекрытий непосредственно после распалубки получен разброс прочности от 15,7 до 29 МПа, среднее значение 22,8 МПа, вариация 18%. При этом коэффициент вариации выше, чем в зрелом возрасте и превышает нормативное значение.

Использование греющих проводов при устройстве монолитных перекрытий обеспечивает относительно равномерное температурное поле по сечению и в плоскости конструкции при условии достаточного равномерного утепления открытой поверхности. При этом неоднородность прочности бетона обуславливается, прежде всего, технологической изменчивостью процессов изготовления и укладки, а также повышенными теплопотерями бетона в местах сопряжений со сборными колоннами (необходимо дополнительное утепление указанных мест).

При бетонировании монолитных колонн неоднородность прочности бетона по высоте зависит, прежде всего, от соблюдения технологии послойной укладки. Изучалось распределение прочности на сжатие бетона в проектном возрасте по высоте 54 монолитных колонн (6 точек через полметра: от 25 до 275 см от уровня перекрытия). Прочность определялась методом ударного импульса склерометром ИПС-МГ4. При разбросе значений прочности от 21,6 до 40,6 МПа коэффициент вариации по всем 324 измерениям составил 11,8%. Вариация прочности по каждой колонне составила от 2,6 до 8,4%. Фактический класс бетона с учетом неоднородности составил В21,3...В36,2 против В25 по проекту.

Распределение значений прочности по высоте колонн было сгруппировано по следующим типам: «Н» – наибольшее в низу; «С» – наибольшее в середине; «В» – наибольшее вверху; «Р» – равномерное распределение; «Г» – распределение типа «гребёнка» (рис. 3).

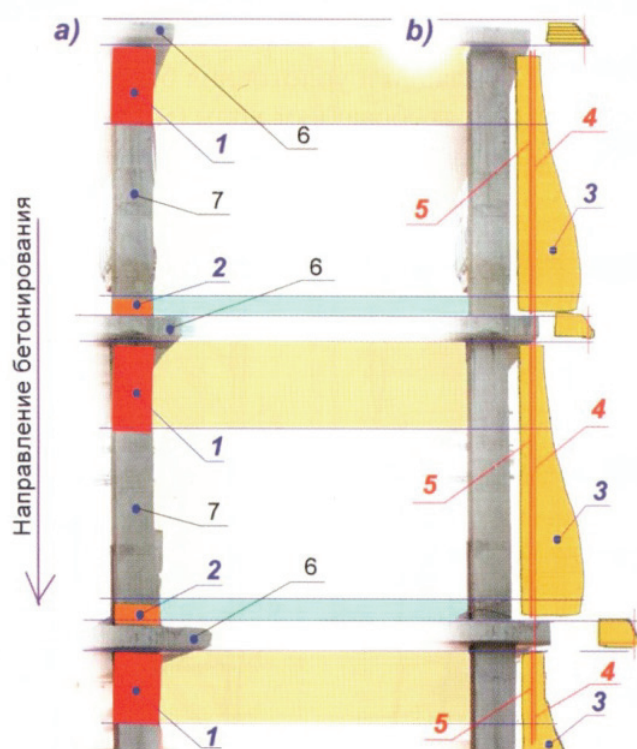


**Рисунок 3. Типы распределений прочности бетона по высоте колонн**

Таким образом, распределение прочности по высоте колонн в основном равномерное или переменное (типа «гребёнка»), которое с учетом случайных ошибок контроля также можно отнести к равномерным. Такое распределение наблюдалось у 53,7% колонн. На втором месте по частоте оказалось распределение с наибольшими значениями прочности в середине колонны (24,1%), на третьем – распределение с максимумом прочности по низу колонн (16,7 %). Таким образом, соблюдение технологии послойной укладки смеси в опалубку колонн в большинстве случаев обеспечивает равномерное распределение прочности бетона по высоте. Причем более вероятны повышенные значения прочности в середине и по низу колонн. Подобные распределения прочности по высоте стен, формируемых в вертикально подвижных опалубках, были получены в исследованиях Долматова А.А. [16].

Полученные результаты соотносятся с исследованиями разрушения монолитных колонн при землетрясениях [2, 17], которые выявили наибольшие значения прочности бетона в средней и нижней зонах колонн (рис. 4).

Одним из основных факторов, обуславливающих значительную неоднородность прочности бетона монолитных конструкций по сравнению со сборными, является невозможность оперативной корректировки состава смеси и технологии ее укладки, связанной поздними сроками определения прочности бетона. Причем исследованиями установлено, что вариация прочности с возрастом бетона снижается [18]. Поэтому при прогнозировании проектной прочности по результатам ускоренных испытаний отмеченное снижение вариации способствует повышению конструктивной надежности. Этот факт нашел отражение и в стандарте [15], рекомендуемом для сборных конструкций принимать коэффициент вариации прочности бетона в проектном возрасте, равным 85% коэффициента вариации отпускной прочности.



**Рисунок 4. Разрушение каркасно-монолитных зданий при землетрясениях:**  
 а – места разрушения каркасно-монолитных зданий; б – распределение прочности бетона по высоте колонн;  
 1 – разрушение колонн в верхней зоне;  
 2 – разрушение колонн в нижней зоне;  
 3 – фактическое распределение прочности (неиспользуемый резерв);  
 4 – расчетная прочность при сжатии конструкции; 5 – прочность стандартных образцов; 6 – безригельные плиты перекрытия; 7 – монолитная колонна

Требование по выдерживанию бетонных образцов в условиях аналогичных условиям выдерживания монолитных конструкций не означает использования для контроля прочности вариации в сериях указанных образцов, так как количество образцов мало, а использование образцов, изготовленных за несколько рабочих смен или суток, приводит к неоправданному завышению коэффициента вариации. По данным Ю.Г. Хакютина [18] при оценке однородности прочности бетона монолитных конструкций следует ориентироваться на коэффициент вариации прочности бетонных образцов, хранящихся в нормальных условиях на заводе-поставщике.

При использовании неразрушающих методов контроля прочности необходимо учитывать значительные погрешности применяемых молотков (Кашкарова, КМ, Шмидта) – до 20-25%, электронных склерометров (ИПС-МГ4, ОНИКС-2.5) – до 10–12%, отличие поверхностной прочности бетона от прочности внутренних слоев, а также влияние отрицательных температур на результаты контроля. Кроме того, изменение влажности бетона конструкции в результате осадков может привести к ошибкам определения прочности до 25–30% [18].

Использование формулы (4) стандарта [15] при расчете среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации для неразрушающих методов с применением ошибочной или неточной градуировочной зависимости повышает неоднородность прочности, по нашим оценкам, на 20–40% по сравнению с расчетом без ошибок градуировки. Многочисленные исследования показали, что на градуировку приборов неразрушающего контроля большое влияние оказывает вид применяемых цементов и заполнителей. Поэтому для большинства строек, получающих бетон от разных заводов либо от одного завода, работающего с непостоянными поставщиками, использование предварительно устанавливаемых градуировок становится невозможным. Следовательно, применение неразрушающих методов для систематического приёмочного контроля прочности монолитного бетона нецелесообразно, как с точки зрения их точности, так и из-за возможных ошибок градуировки. С другой стороны, их использование оправдывается большими объемами и трудоемкостью контроля. Указанное противоречие разрешается следующим образом: при обнаружении неразрушающим контролем проблемных конструкций переходят к более точным методам отрыва и скалывания или испытаниям образцов, извлеченных из конструкций.

Требования норм [15] по числу участков испытаний (не менее трех на захватку плоских конструкций: стен, перекрытий, плит) представляется недостаточно обоснованным в связи с риском пропуска слабых участков конструкции, например, в зонах примыкания колонн. С другой стороны, чем меньше число испытаний, тем больше вариация прочности, так как стандартное отклонение обратно пропорционально корню квадратному числа испытаний (при фиксированном разбросе прочности). Но чем меньше количество испытаний, тем больше риск не обнаружить реальный разброс прочности. Исход выбора между числом испытаний и трудоемкостью контроля в значительной степени зависит от расчетных допущений по перераспределению усилий в неразрезных монолитных конструкциях, влиянии слабых зон элемента на его несущую способность и пр.

В качестве заключения следует отметить следующее.

Повышение однородности монолитного бетона – сложная комплексная задача, обусловленная нестабильностью свойств цемента и заполнителей, несовершенством бетоносмесительного оборудования, особенностями формирования структуры бетона (усадка, влажность, пористость), влиянием технологии укладки и выдерживания, ошибками методов и средств контроля прочности. Решение этой задачи невозможно без участия государства (с учетом опыта развитых стран), совершенствования законодательной и нормативной базы.

В условиях поставок бетонной смеси, изготовленной на разных технологических комплексах (или на одном, но нестабильном по однородности продукции), требование построения градуировочной зависимости для косвенных неразрушающих методов становится непреодолимым препятствием для использования стандартного правила контроля по схеме «В» [15]. Вместе с тем, игнорирование добавочной ошибки градуировочной зависимости может приводить к значительному занижению коэффициента вариации и неправильной оценке требуемой прочности.

Для повышения достоверности контроля следует применять комплексные методы прямых и косвенных неразрушающих испытаний [19], проводить анализ неоднородности прочности контрольных образцов, изготовленных на строительной площадке и на заводе. При контроле прочности по схеме «Г» без определения характеристик однородности бетона в партии целесообразно, тем не менее, оценивать вариацию прочности в пределах каждой ответственной конструкции. При этом необходимо соблюдать требования норм по числу участков испытаний монолитных конструкций различных видов и уточнять их в ППР с учетом реальной работы конструкции, потенциально опасных зон, как по условиям нагруженности, так и по вероятности технологических дефектов.

Технологические регламенты на возведение монолитных конструкций должны обеспечивать минимальное влияние состава и режима технологических операций на характеристики однородности бетона (выбор способов укладки и уплотнения, параметры выдерживания и пр.). При контроле прочности бетона необходимо учитывать влияние технологических факторов на неоднородность бетона в конструкциях (по высоте колонн, по площади стен и перекрытий, по длине балок). Приемку конструкций следует осуществлять с учетом статистической неоднородности не только партий, но и отдельных элементов конструкций. Регламент контроля прочности должен входить в состав проекта производства работ и согласовываться с проектной организацией.

## Литература

1. Липовский В. М. Сборный железобетон: Справочник. Л.: Стройиздат, 1990. 144 с.
2. Горохов Е. В., Югов А. М., Веретенников В. И. Учёт явления систематической неоднородности свойств тяжелого бетона по объему элементов при выборе безопасных конструктивных систем зданий // Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений. М.: 2011. С. 146-167.
3. Лещинский А. М. Систематическая неоднородность прочности тяжелого бетона в сборных железобетонных изделиях, формируемых на виброплощадках: дис. канд. техн. наук. Киев: 1981. 202 с.
4. Öztürk T., Kloggel O., Grübl P. Propagation of ultrasound in concrete – Spatial distribution and development of the Young's modulus // BB 85-CD Intern. sympos. Non-Destructive Testing in Civil Engineering. Berlin: 2003. URL: <http://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v065/v065.htm> (дата обращения: 01.05.2012).
5. Soshiroda T. Effects of bleeding and segregation on the internal structure of hardened concrete // RILEM Proceedins 10.. Cambridge: University Press, 1990. Pp. 253-260.
6. Залесов А. С., Кодыш Э. Н., Лемыш Л. Л., Никитин И. К. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: Стройиздат, 1988. 320 с.
7. Yuasa N., Kasai Y., Matsui I. Inhomogeneous Distribution of Compressive Strength from Surface Layer to Interior of Concrete in Structures // Special Publication. 2002. Vol. 192. Pp. 269-282.
8. Arioglu N., Girgin C. Discussion on paper // Magazine of Concrete Research. 1999. Vol. 51. No. 3. Pp. 217-225.
9. Карпепко Н. И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
10. Nagamatsu S., Kawakami Y. Shrinkage and stress caused by drying of concrete // Rev. 31st Gen. Meet. Techn. Sess. Tokyo: 1977. Pp. 151-153.
11. Шамбан И. Б. Управление однородностью прочности бетона путем выбора рациональных технологических решений: дис. канд. техн. наук. Ровно: 1983. 197 с.
12. Афанасьев А. А. Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: Стройиздат, 1990. 384 с.
13. Красновский Б. М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования. М.: Изд-во ГАСИС, 2004. 470 с.
14. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях / РААСН, НИИЖБ. М.: 2005. 275 с.
15. ГОСТ Р 53231-2008. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
16. Долматов А. А. Прочность и деформативность железобетонных фрагментов стен зданий и сооружений, возводимых в вертикально подвижных опалубках: дис. канд. техн. наук. Макеевка: 2004. 140 с.
17. Halil Sezen, Jack P. Moehle. Strength and deformation capacity of reinforced concrete columns with limited ductility // 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering Vancouver. B.C., Canada: 2004. 279 p.
18. Хаятин Ю. Г. Монолитный бетон: Технология производства работ. М.: Стройиздат, 1991. 576 с.
19. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 10-15.

*\*Альберт Халитович Байбурин, г. Челябинск, Россия*

*Тел. раб.: +7(351)267-91-83; эл. почта: abayburin@mail.ru*

## Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке

*К.т.н., докторант В.Н. Деркач\*,*

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** каменная кладка; кладочный раствор; сдвиг; прочность сцепления; коэффициент трения

Важными характеристиками, определяющими прочностные и жесткостные свойства каменной кладки при сдвиге, являются ее начальное сопротивление сдвигу (касательное сцепление) и угол внутреннего трения в плоскости горизонтальных растворных швов. Данные характеристики в значительной степени влияют на наступление предельных состояний при сейсмических воздействиях на здания и сооружения, а также ветровых, крановых и других нагрузках, вызывающих перекося панелей каркаса в каркасных зданиях, стеновое заполнение которых выполнено из каменной кладки [1-5]. Сюда же следует отнести случаи прогибов дисков перекрытий и неравномерной осадки оснований фундаментов [6-9].

В СНиП II-22-81 [10] прочность сцепления зависит от прочности кладочного раствора, вида кладочного элемента (полнотелый или пустотелый) и его материала (керамический или силикатный). При этом принимается, что прочность сцепления при повышении марки раствора выше 50 не изменяется. В ГОСТ 24992-81 содержится методика оценки прочности сцепления в каменной кладке, основанная на испытании на осевое растяжение кладочных элементов, склеенных раствором. Данный метод испытаний позволяет установить прочность нормального сцепления раствора с кладочными элементами. Методика оценки прочности касательного сцепления в отечественных стандартах отсутствует.

В соответствии с требованиями Еврокода 6 [11], прочность сцепления раствора с кладочными элементами зависит от вида применяемых растворов (общего назначения, для тонких швов, легких растворов) и материала кладочных элементов, для которых предназначены данные растворы. При этом прочность сцепления раствора общего назначения зависит как от материала кладочных элементов, так и от прочности раствора, а прочность сцепления растворов, укладываемых тонким слоем, и легких растворов – только от материала кладочных элементов. В отличие от норм [10], в [11] не содержится коэффициентов, учитывающих повышение прочности касательного сцепления для кладок, выполненных из дырчатого или щелевого кирпича.

Согласно Еврокоду 6, значения начальной характеристической прочности при сдвиге (касательного сцепления) определяются на основании испытаний в соответствии с EN 1052-3 или EN 1052-4. При отсутствии результатов испытаний стандарт EN 998-2 разрешает принимать значения характеристической прочности касательного сцепления равными:

- 0.15 МПа для кладок на растворах общего назначения и легких растворах;
- 0.3 МПа для кладок на тонкослойных растворах.

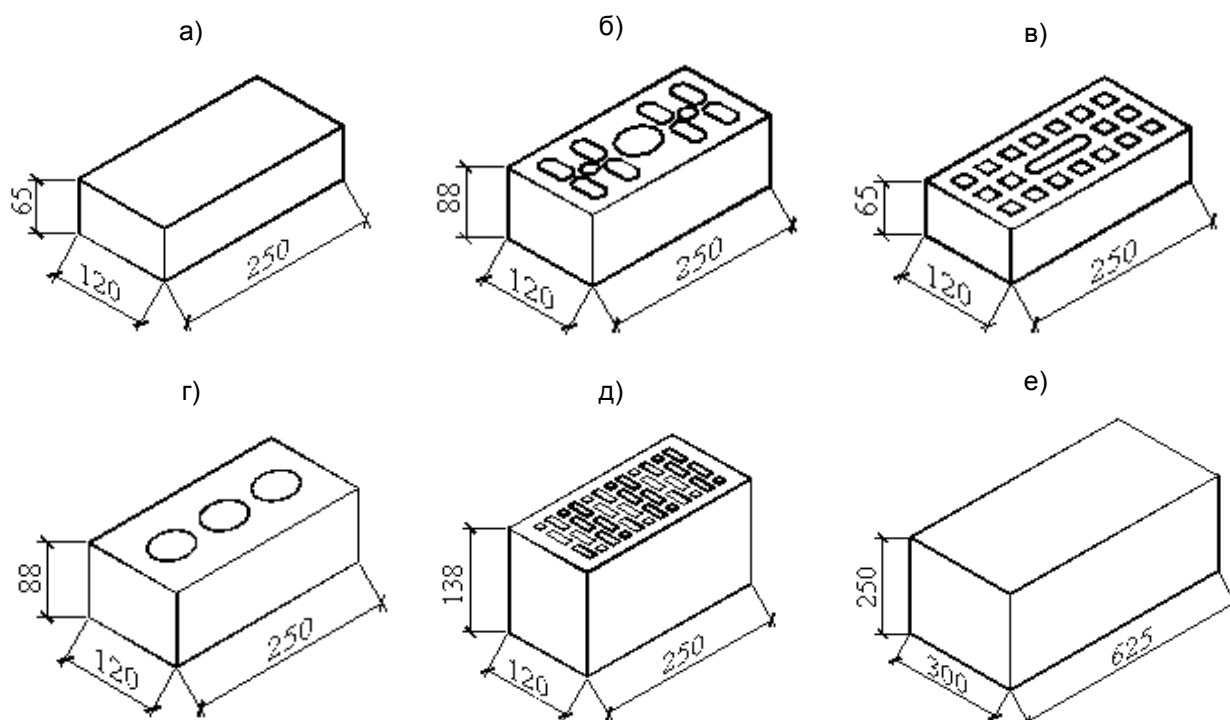
На прочность сцепления влияет множество факторов, среди которых можно выделить следующие:

- абсорбционные свойства камня и состояние его поверхности;
- прочность, состав и качество составляющих, консистенция и водоудерживающая способность раствора;
- режим твердения раствора;
- характер воздействий на каменную кладку в период ее твердения [12-14].

Учитывая данное обстоятельство, в настоящей статье не ставится задача осветить все стороны рассматриваемого вопроса. Целью исследований является получение фактических значений прочности касательного сцепления цементного раствора с различными типами кладочных элементов, и оценка влияния прочности кладочных цементных растворов на прочность их сцепления в каменной кладке.

### Методика экспериментальных исследований

Определение прочности нормального сцепления в каменной кладке производилось на образцах, состоящих из трех кладочных элементов, соединенных между собой раствором швом. Форма и геометрические размеры кладочных элементов, из которых готовились опытные образцы кладки, показаны на рисунке 1.



**Рисунок 1. Форма и геометрические размеры кладочных элементов: а – полнотелый керамический кирпич КРО; б – пустотелый керамический кирпич КРПУ пустотностью  $V=18\%$ ; в – пустотелый керамический кирпич КРПО пустотностью  $V=30\%$ ; г – силикатный кирпич СУР пустотностью  $V=18\%$ ; д – керамический поризованный камень КПП пустотностью  $V=42.3\%$ ; е – ячеистобетонный блок**

Для приготовления кладочных растворов общего назначения использовалась сухая растворная смесь М100 заводского изготовления. Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь других прочностных показателей. Опытные образцы выполнялись на растворах прочностью на сжатие  $f_m = 10.9 \text{ МПа}$ ,  $f_m = 7.9 \text{ МПа}$ ,  $f_m = 3.1 \text{ МПа}$  с толщиной шва 10 мм. Для выполнения образцов на тонкослойных швах применялась заводская клеевая растворная смесь М75. Образцы на тонких растворных швах изготавливались из ячеистобетонных блоков D500 прочностью В2.5. Всего было испытано 14 серий образцов каменной кладки. Каждая серия включала в себя не менее 10 опытных образцов.

Начальное сопротивление кладки сдвигу  $f_{v0}$  (касательное сцепление) и угол внутреннего трения устанавливались на основании испытаний образцов кладки, подверженных одновременному действию сжимающих и скалывающих напряжений в соответствии со стандартом EN 1052-3 (рис. 2).

При испытаниях уровень обжатия  $f_{pi}$  зависел от прочности кладочного элемента при сжатии. Например, при прочности камня большей, чем 10 МПа, значения  $f_{pi}$  принимались равными 0.2, 0.6, и 1.0 МПа, а при прочности камня, меньше либо равной 10 МПа, – 0.1, 0.3, 0.5 МПа. Нагрузка на образец прикладывалась при помощи испытательной машины УМЭ-10М.

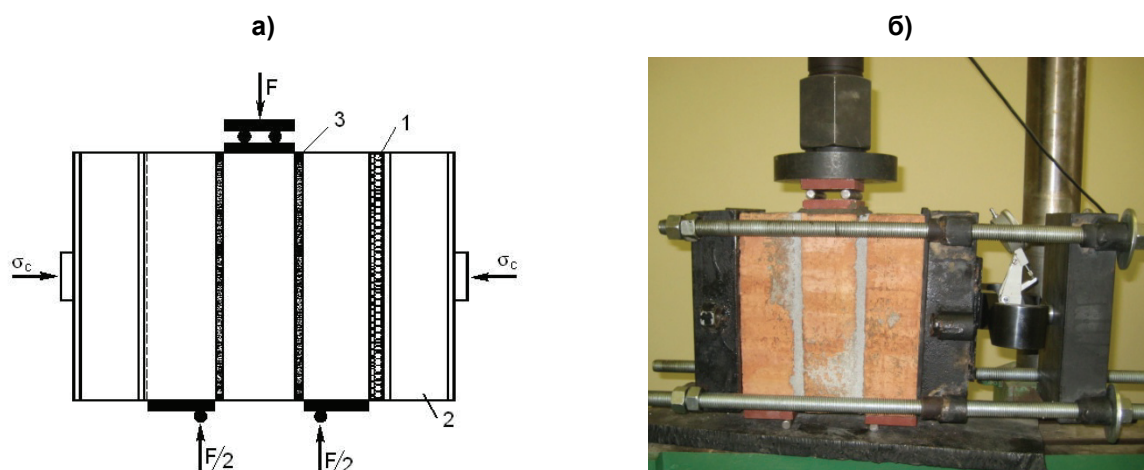


Рисунок 2: (а) схема и (б) общий вид испытаний опытного образца каменной кладки.  
1 – резиновая прокладка; 2 – стальная траверса; 3 – растворный шов

Прочность при сдвиге  $f_{vi}$ , (Н/мм<sup>2</sup>) и напряжения обжатия  $f_{pi}$ , (Н/мм<sup>2</sup>), рассчитывались по каждому испытываемому образцу с точностью до 0,01 Н/мм<sup>2</sup> по формулам (1), (2):

$$f_{vi} = \frac{F_{i,max}}{2A_i}, \quad (1)$$

$$f_{pi} = \frac{F_{pi}}{A_i}, \quad (2)$$

где  $F_{i,max}$  – максимальное значение усилия сдвига, Н;  
 $F_{pi}$  – сжимающее усилие предварительной нагрузки, Н;  
 $A_i$  – площадь сечения испытываемого образца кладки параллельно горизонтальным швам, мм<sup>2</sup>.

То, что величина сжимающих напряжений  $f_{pi}$  была переменной, давало возможность построения графика зависимости « $f_{vi}-f_{pi}$ ». Прочность на «чистый» срез (касательное сцепление)

$f_{v0}$  устанавливалась путем экстраполяции графика до ординаты  $f_{pi}=0$ . Угол наклона графика к оси абсцисс являлся углом внутреннего трения  $\alpha$ .

### Результаты собственных исследований

Разрушение образцов, изготовленных из полнотелого керамического кирпича, при всех уровнях обжатия происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и одной либо двумя поверхностями кладочных элементов (рис. 3). Трещины в кирпичах не образовывались. Величина разрушающей нагрузки при всех уровнях сжимающего напряжения для образцов, изготовленных на растворе прочностью  $f_m=10.9$  МПа, была выше примерно на 25%, чем на растворе прочностью  $f_m=7.9$  МПа, и на 50% выше, чем на растворе прочностью  $f_m=3.1$  МПа.

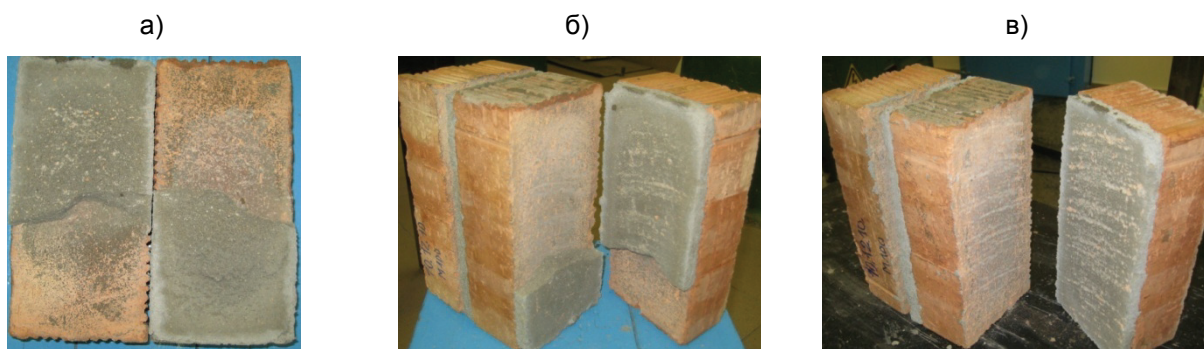


Рисунок 3. Характер разрушения образцов из полнотелого кирпича на растворе прочностью 10.9 МПа при уровне сжимающих напряжений: а)  $f_p = 0.2$  МПа; б)  $f_p = 0.6$  МПа; в)  $f_p = 1$  МПа

Разрушение образцов, изготовленных из пустотелого керамического кирпича с объемом пустот 18%, на растворе прочностью  $f_m = 3.1$  МПа при уровне сжимающих напряжений  $f_p = 0.2$  и 0.6 МПа происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора (рис. 4а). При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и одной либо двумя поверхностями кладочных элементов. С увеличением уровня обжатия до 0.8-1 МПа характер разрушения менялся. Разрушение образцов наступало вследствие разрыва раствора и кладочных элементов (рис. 4б).

Образцы, выполненные на растворе прочностью  $f_m = 7.9$  МПа, при уровнях обжатия  $f_p = 0.2$  МПа и 0.6 МПа разрушились вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При этом в образцах с уровнем обжатия  $f_p = 0.6$  МПа наблюдалось образование единичных трещин в камнях. Трещины возникали в перегородках пустот и развивались в горизонтальном направлении. Разрушение образцов с уровнем обжатия  $f_p = 1$  МПа наступало вследствие разрыва камней горизонтальными трещинами, пересекающими перегородки между пустотами.

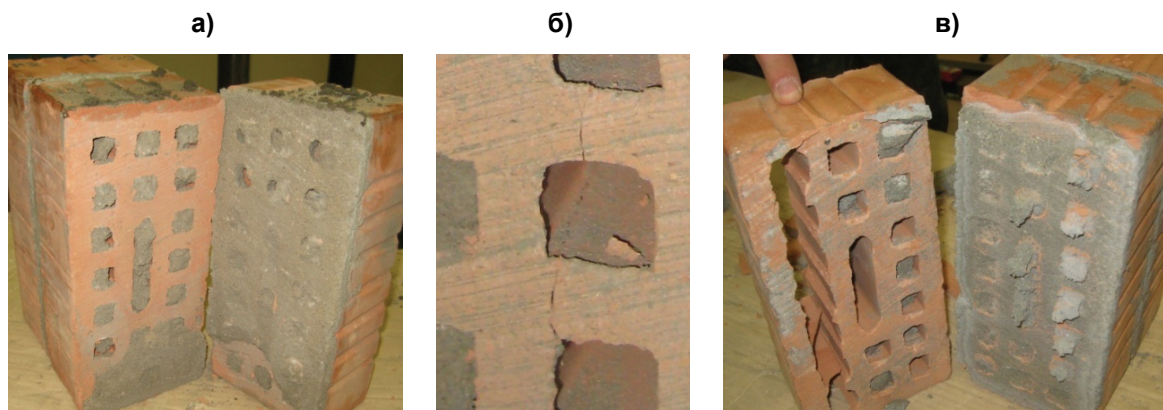
Разрушение из-за потери сцепления между камнем и раствором в образцах, выполненных на растворе прочностью  $f_m = 10.9$  МПа, имело место только при уровнях обжатия  $f_p = 0.2-0.4$  МПа. С увеличением уровня обжатия от 0.6 до 1 МПа разрушение опытных образцов происходило вследствие возникновения горизонтальных трещин, пересекающих перегородки пустот кладочных элементов.

Величина разрушающей нагрузки возрастала с увеличением прочности кладочного раствора испытанных образцов.



**Рисунок 4. Характер разрушения образцов из пустотелого кирпича V=18%: а) потеря сцепления между камнем и раствором; б) разрыв камня и раствора**

Разрушение образцов, изготовленных из пустотелого керамического кирпича пустотностью 30% на растворе прочностью  $f_m = 3.1$  МПа, происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и поверхностями кладочных элементов (рис. 5а). Разрушение образцов, уровень обжатия которых составлял 1 МПа, сопровождалось образованием трещин пересекающих перегородки между пустотами (рис. 5б).

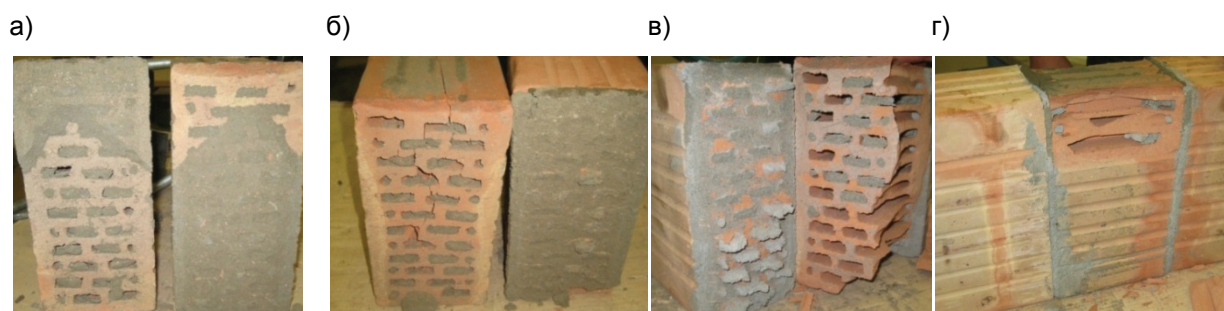


**Рисунок 5. Характер разрушения образцов из пустотелого кирпича V=30%: а) на растворе прочностью  $f_m = 3.1$  МПа при уровне сжимающих напряжений  $f_p = 0.2$  МПа; б) при  $f_p = 0.2$  МПа; в) на растворе прочностью  $f_m = 10.9$  МПа при  $f_p = 0.4$  МПа**

В образцах, изготовленных на прочном растворе  $f_m=10.9$  МПа, в отличие от образцов на растворе прочностью  $f_m=3.1$  МПа, образование трещин в камнях наблюдалось даже при низких уровнях обжатия:  $f_p=0.2-0.4$  МПа, (рис. 5в). Разрушающая нагрузка с ростом сжимающих напряжений от 0.2 МПа до 0.4 МПа оставалась практически постоянной.

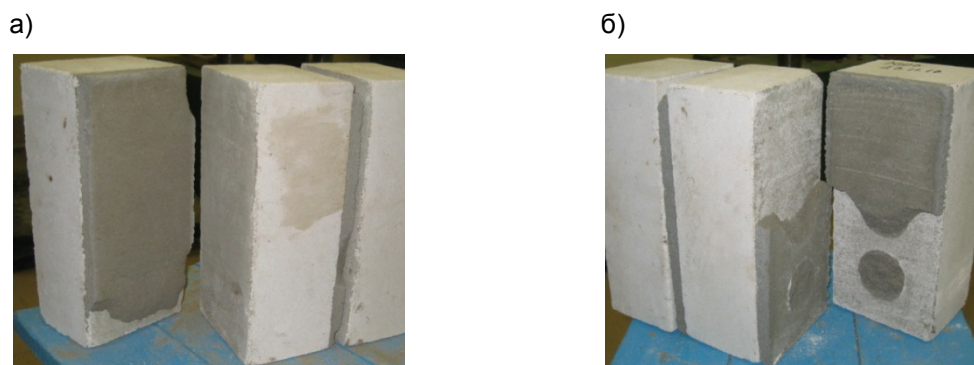
Разрушение образцов из керамических поризованных камней на растворе прочностью  $f_m=3.1$  МПа при уровнях обжатия  $f_p=0-0.2$  МПа происходило вследствие потери сцепления по границе камней и раствора (рис. 6а). При увеличении уровня обжатия до 0.4 МПа сдвиг по границе «камень-раствор» сопровождался образованием трещин в теле камня (рис. 6б).

При использовании прочного раствора  $f_m=10.9$  МПа, даже при нулевом уровне обжатия, разрушение образцов сопровождалось появлением трещин. Трещины обычно образовывались в перегородках пустот среднего камня в верхней его части. При уровне сжимающих напряжений  $f_p \geq 0.2$  МПа сдвиг сопровождался выколом боковых стенок среднего камня (рис. 6в). Образцы с уровнем сжимающих напряжений  $f_p=0.6$  МПа разрушались вследствие откола боковых стенок среднего камня в зоне приложения нагрузки, без потери сцепления камня с раствором (рис. 6г).



**Рисунок 6. Характер разрушения образцов из поризованных керамических камней: а) на растворе прочностью  $f_m=3.1$  МПа при уровне сжимающих напряжений  $f_p=0-0.1$  МПа; б) при  $f_p=0.2$  МПа; в) на растворе прочностью  $f_m=10.9$  МПа при  $f_p=0.2$  МПа; г) при  $f_p=0.6$  МПа**

Разрушение образцов, изготовленных из силикатного кирпича, независимо от прочности раствора происходило вследствие потери сцепления по границе камня и раствора. При разрушении наблюдался сдвиг соединения между раствором и поверхностями кладочных элементов. При высоком уровне обжатия в образцах на прочном растворе сдвиг сопровождался разрывом растворного шва. Трещины в кирпичах не образовывались. С увеличением прочности кладочного раствора величина разрушающей нагрузки возрастала. Характер разрушения образцов показан на рис. 7.



**Рисунок 7. Характер разрушения образцов из силикатного кирпича: а) на растворе прочностью  $f_m=3.1$  МПа и  $f_m=10.9$  МПа при уровне сжимающих напряжений  $f_p < 1$  МПа; б) на растворе прочностью  $f_m=10.9$  МПа при  $f_p=1$  МПа**

Образцы, выполненные из ячеистобетонных блоков, на тонкослойном клеевом шве при уровнях обжатия  $f_p < 0.5$  МПа разрушились вследствие сдвига по телу растворного шва. С ростом сжимающих напряжений сдвиг по растворному шву сопровождался выколом материала блока. Характер разрушения образцов из ячеистобетонных блоков показан на рис. 8.

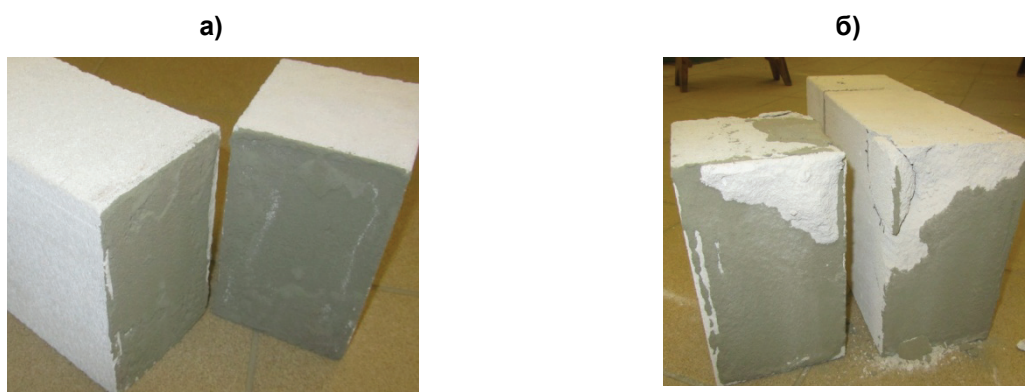


Рисунок 8. Характер разрушения образцов из ячеистобетонных блоков: а) при уровне сжимающих напряжений  $f_p < 0.5$  МПа; б) при  $f_p = 1$  МПа

По результатам испытаний были построены графики зависимости прочности кладки при сдвиге  $f_{vi}$  от уровня сжимающих напряжений  $f_{pi}$  (рис. 9), по которым определялись начальная прочность кладки при сдвиге (касательное сцепление)  $f_{v0,obs}$  и коэффициент внутреннего трения –  $tga_{obs}$ . Коэффициент вариации опытных значений прочности касательного сцепления при различных уровнях обжатия не превышал 15%.

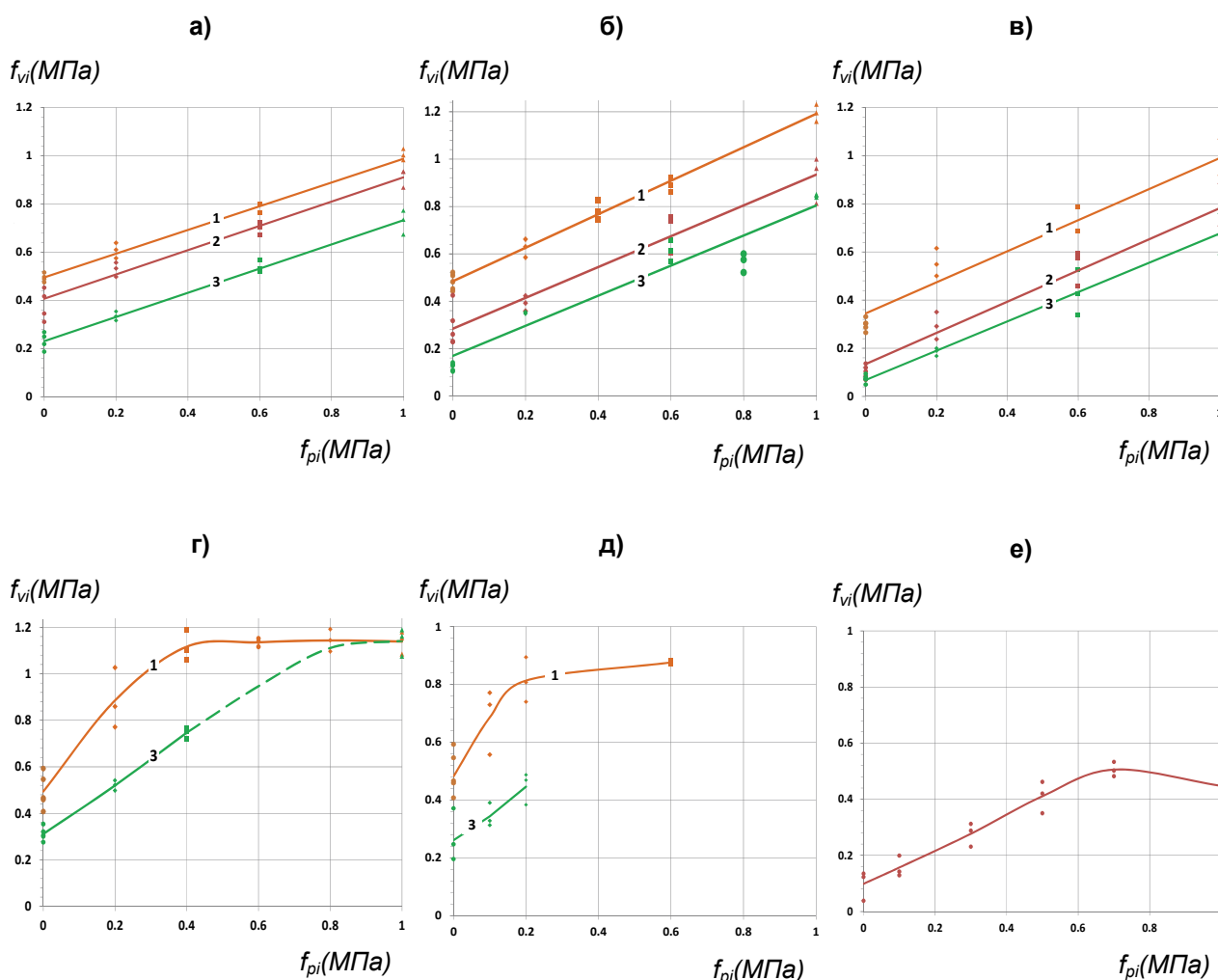


Рисунок 9. Графики зависимости прочности кладки при сдвиге  $f_{vi}$  от уровня сжимающих напряжений  $f_{pi}$ : а) кладка из полнотелого кирпича; б) из пустотелого кирпича V=18%; в) из силикатного кирпича; г) из пустотелого кирпича V=30%; д) из поризованных камней V=42.3%; е) – из ячеистобетонных блоков на тонких растворных швах; 1 –  $f_m = 10.9$  МПа, 2 –  $f_m = 7.9$  МПа, 3 –  $f_m = 3.1$  МПа

Как следует из графиков, приведенных на рисунке 9а-в, прочность при сдвиге  $f_{vj}$  каменной кладки, изготовленной из полнотелого и пустотелого кирпича с небольшим объемом пустот  $V=18\%$ , с увеличением сжимающих напряжений  $f_p$  до 1 МПа росла линейно независимо от прочности кладочного раствора.

Зависимость « $f_{vj}-f_{pi}$ » для образцов, изготовленных из пустотелого кирпича с объемом пустот 30% на растворе прочностью 10.9 МПа, носила линейный характер при увеличении сжимающих напряжений  $f_p$  от 0 до 0.2-0.4 МПа (рис. 9г). С последующим ростом уровня обжатия прочность кладки при сдвиге практически не изменялась. Прочность при сдвиге кладки, изготовленной на слабом растворе  $f_m=3.1$  МПа, росла линейно с увеличением уровня обжатия  $f_p$  от 0 до 0.6-0.8 МПа. При дальнейшем росте сжимающих напряжений прочность каменной кладки не изменялась. Аналогичный характер изменения прочности кладки при сдвиге наблюдался и в образцах, выполненных из поризованных керамических камней (рис. 9д).

Объясняется это разным характером разрушения каменных кладок, выполненных из разных типов кладочных элементов. Для кладок из полнотелого или пустотелого с небольшим объемом пустот кирпича потеря несущей способности при сдвиге в диапазоне сжимающих напряжений  $f_p$  от 0 до 1 МПа происходила, как правило, из-за потери сцепления между камнем и раствором и срезом раствора в пустотах камня. При уровнях обжатия  $f_p \approx 1$  МПа в пустотелых камнях возникали трещины, вызванные их растяжением.

Потеря несущей способности кладок из камней с большим объемом пустот при определенном значении касательных напряжений происходила вследствие разрушения тонких перегородок между пустотами. Затвердевший в пустотах кладочных элементов раствор при срезе играет роль шпонок, что создает дополнительное к касательному сцеплению сопротивление сдвигу. Поэтому при действии сдвигающих усилий разрушение кладки может происходить либо вследствие потери сцепления раствора с камнем и среза растворных шпонок, либо вследствие потери сцепления и среза перегородок между пустотами камня. Первый случай разрушения имеет место при низкой прочности раствора и невысоких уровнях обжатия, второй – при высокой прочности раствора. Похожие механизмы разрушения имели место при испытаниях каменной кладки на сдвиг в работах [15-17].

Прочность при сдвиге кладки, выполненной из ячеистобетонных блоков на тонких растворных швах, равномерно возрастала при увеличении сжимающих напряжений до уровня  $f_p \approx 0.5$  МПа. С ростом сжимающих напряжений  $f_p$  от 0.5 МПа до 0.7 МПа скорость приращения разрушающей нагрузки замедлялась. При уровнях обжатия  $f_p > 0.7$  МПа наблюдалось падение разрушающей нагрузки (рис. 9е).

Результаты определения начальной прочности кладки при сдвиге (касательного сцепления)  $f_{v0,obs}$  и сравнение полученных результатов с данными норм [10, 11] приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Сравнение опытных значений прочности касательного сцепления раствора с кладочными элементами  $f_{v0,obs}$  и значений прочности сцепления, установленных нормами [10, 11]**

| Вид и прочность кладочного элемента       | Прочность кладочного раствора $f_m$ (МПа) | Опытные значения прочности касательного сцепления $f_{v0,obs}$ (МПа) | Коэффициент внутреннего трения $tga_{obs}$ | Прочность касательного сцепления согласно [10] $R_{squ}$ (МПа) <sup>1</sup> | Прочность касательного сцепления согласно [11] $f_{v0}$ (МПа) <sup>2</sup> | $\frac{f_{v0,obs}}{R_{squ}}$ | $\frac{f_{v0,obs}}{f_{v0}}$ |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1                                         | 2                                         | 3                                                                    | 4                                          | 5                                                                           | 6                                                                          |                              |                             |
| Полнотелый керамический кирпич М150       | 10.9                                      | 0.5                                                                  | 0.5                                        | 0.36                                                                        | 0.38                                                                       | 1.39                         | 1.31                        |
|                                           | 7.9                                       | 0.43                                                                 | 0.5                                        | 0.36                                                                        | 0.25                                                                       | 1.39                         | 1.72                        |
|                                           | 3.1                                       | 0.23                                                                 | 0.5                                        | 0.25                                                                        | 0.25                                                                       | 0.92                         | 0.92                        |
| Керамический кирпич пустотностью 18% М125 | 10.9                                      | 0.48                                                                 | 0.7                                        | 0.45                                                                        | 0.38                                                                       | 1.06                         | 1.26                        |
|                                           | 7.9                                       | 0.3                                                                  | 0.65                                       | 0.45                                                                        | 0.25                                                                       | 0.67                         | 1.2                         |
|                                           | 3.1                                       | 0.18                                                                 | 0.63                                       | 0.3                                                                         | 0.25                                                                       | 0.6                          | 0.72                        |
| Керамический кирпич пустотностью 30% М150 | 10.9                                      | 0.52                                                                 | 1.3                                        | 0.45                                                                        | 0.38                                                                       | 1.15                         | 1.37                        |
|                                           | 3.1                                       | 0.3                                                                  | 0.9                                        | 0.3                                                                         | 0.25                                                                       | 1.0                          | 1.2                         |

| Вид и прочность кладочного элемента                              | Прочность кладочного раствора $f_m$ (МПа) | Опытные значения прочности касательного сцепления $f_{v0,obs}$ (МПа) | Коэффициент внутреннего трения $tga_{obs}$ | Прочность касательного сцепления согласно [10] $R_{squ}$ (МПа) <sup>1</sup> | Прочность касательного сцепления согласно [11] $f_{v0}$ (МПа) <sup>2</sup> | $\frac{f_{v0,obs}}{R_{squ}}$ | $\frac{f_{v0,obs}}{f_{v0}}$ |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Поризованный керамический камень пустотностью 42.3% М150         | 10.9                                      | 0.50                                                                 | 1.65                                       | 0.45                                                                        | 0.38                                                                       | 1.11                         | 1.32                        |
|                                                                  | 3.1                                       | 0.26                                                                 | 0.95                                       | 0.3                                                                         | 0.25                                                                       | 0.87                         | 1.04                        |
| Силикатный пустотелый кирпич М150                                | 10.9                                      | 0.35                                                                 | 0.63                                       | 0.25                                                                        | 0.25                                                                       | 1.4                          | 1.4                         |
|                                                                  | 7.9                                       | 0.14                                                                 | 0.6                                        | 0.25                                                                        | 0.19                                                                       | 0.56                         | 0.73                        |
|                                                                  | 3.1                                       | 0.09                                                                 | 0.55                                       | 0.18                                                                        | 0.19                                                                       | 0.5                          | 0.47                        |
| Ячеисто-бетонный блок D500 В2.5 на тонкослойном клеевом растворе | 7.5                                       | 0.1                                                                  | 0.62                                       | -                                                                           | 0.38                                                                       | -                            | 0.26                        |

<sup>1</sup> $R_{squ}=2.25 \cdot R_{sq}$ , где 2.25 – коэффициент перехода от расчетного сопротивления кладки срезу по неперевазанному сечению  $R_{sq}$  согласно [10] к среднему значению временного сопротивления  $R_{squ}$  при нормируемом коэффициенте вариации прочности 15% и коэффициенте безопасности по кладке  $k_e=1.575$ .

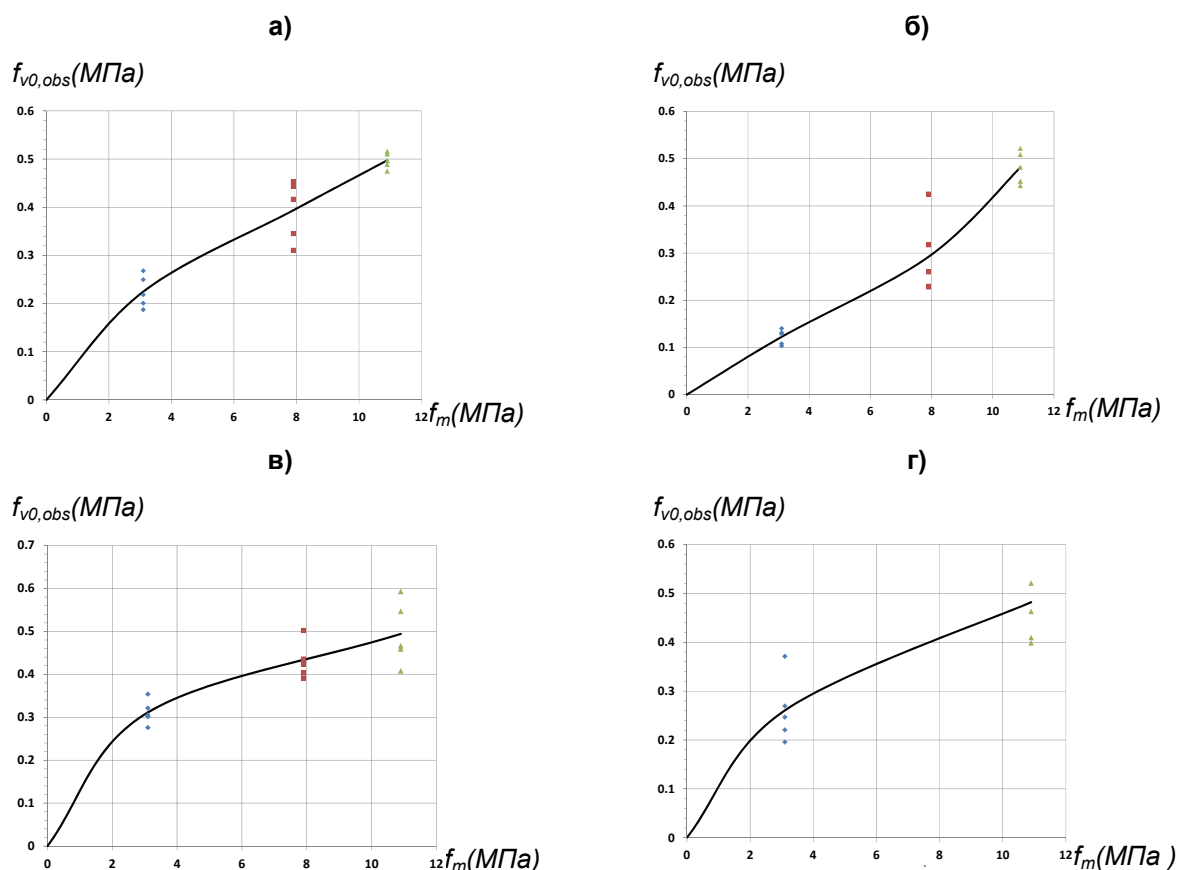
<sup>2</sup> $f_{v0}=f_{vko}/0.8$ , где  $f_{vko}$  – характеристическое значение начальной прочности каменной кладки при сдвиге согласно [11].

Из таблицы 1 следует, что опытные значения касательного сцепления были выше значений, приведенных в нормах [10,11] для растворов прочностью при сжатии  $f_m=7.9-10.9$  МПа. Исключение составляет прочность сцепления кладочного раствора с керамическим и силикатным пустотелым кирпичом с объемом пустот  $V=18\%$ , опытное значение которой было ниже установленного нормами [10,11] для раствора прочностью при сжатии  $f_m=7.9$  МПа. Опытное значение касательного сцепления раствора прочностью  $f_m=3.1$  МПа со всеми типами кладочных элементов, кроме поризованных керамических камней, оказались ниже значений установленных нормами [10,11]. Наибольшее отклонение начальной прочности при срезе  $f_{v0,obs}$  от значения  $f_{v0}$ , принятого в нормах, было получено для тонкослойного клеевого растворного шва кладки из ячеистобетонных блоков. Начальная прочность при срезе указанных растворных швов была в 3.8 раза ниже значения, установленного нормами [11]. Следует отметить, что значения начальной прочности при срезе  $f_{v0}$  кладок из ячеистобетонных блоков на клеевых растворных швах, полученные другими исследователями [18-20], имеют значительный разброс от 0.16 МПа до 1.07 МПа. Объясняется это различием в качестве клеевого раствора и ячеистобетонных блоков.

Характеристическое значение коэффициента внутреннего трения  $tga_k=0.8tga_{obs}$  для кладок из полнотелого кирпича соответствовало значению  $tga_k=0.4$ , принятого в [11]. Для остальных видов кладок характеристические значения коэффициентов внутреннего трения превышали значение  $tga_k$ , принятое в [11]. В нормах [10] коэффициент внутреннего трения  $m$  установлен равным 0.7. Близкие к данной величине значения  $m$  были получены для кладок из пустотелого керамического и силикатного кирпича с объемом пустот 18%.

На рис. 10 показаны графики зависимости прочности касательного сцепления  $f_{v0,obs}$  от прочности кладочного раствора  $f_m$  для кладок, выполненных из различных типов керамических кладочных элементов.

Из рис. 2 следует, что прочность касательного сцепления возрастает с увеличением прочности кладочного раствора при сжатии. Более интенсивно прочность сцепления нарастала при увеличении прочности раствора от 0 до 3.1 МПа. При дальнейшем росте прочности раствора скорость нарастания прочности сцепления уменьшалась. Исключение составили образцы кладки из дырчатого керамического кирпича объемом пустот  $V=18\%$ , для которых зависимость « $f_{v0,obs}-f_m$ » носила практически линейный характер.



**Рисунок 10. Зависимость прочности касательного сцепления раствора в каменной кладке  $f_{v0,obs}$  от прочности раствора при сжатии  $f_m$ : а) кладка из керамического полнотелого кирпича; б) из керамического пустотелого  $V=18\%$ ; в) из керамического пустотелого  $V=30\%$ ; г) из поризованных керамических камней  $V=42.3\%$**

### Заключение

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы.

1. При действии сдвигающих усилий вдоль горизонтальных растворных швов и уровнях обжатия от 0 до 1 МПа разрушение каменных кладок, выполненных из полнотелых или пустотных кладочных элементов с объемом пустот  $V=18\%$ , происходило вследствие потери сцепления по контакту камня и раствора. При значениях касательных напряжений  $f_v \approx 1.2$  МПа потеря сцепления сопровождалась растрескиванием пустотелых кладочных элементов.

2. Потеря несущей способности кладок из камней с объемом пустот  $V=30-42.3\%$  при определенной величине касательных напряжений происходила вследствие разрушения тонких перегородок между пустотами. Для кладки из керамического кирпича с объемом пустот 30% разрушающие касательные напряжения  $f_v$  примерно были равны 1.15 МПа, а для кладок из поризованных керамических камней с объемом пустот 42.3% – 0.9 МПа. Данные значения касательных напряжений можно принять в качестве предельно допустимых для указанных видов камней.

3. Разрушение кладок из ячеистобетонных блоков на тонкослойном клеевом шве при значениях касательных напряжений  $f_v < 0.45$  МПа происходило вследствие сдвига по телу растворного шва. С ростом касательных напряжений сдвиг по растворному шву сопровождался выколом материала блока.

4. Опытные значения касательного сцепления были выше значений, приведенных в нормах [10,11] для растворов прочностью при сжатии  $f_m=7.9-10.9$  МПа. Исключение составляет прочность сцепления кладочного раствора с силикатным и керамическим пустотелым кирпичом с объемом пустот  $V=18\%$ , опытное значение которой было ниже установленного нормами [10,11] для раствора прочностью при сжатии  $f_m=7.9$  МПа. Опытные значения касательного сцепления раствора прочностью  $f_m=3.1$  МПа со всеми типами кладочных элементов, кроме поризованных керамических камней, оказались ниже значений, установленных нормами [10,11].

Держак В.Н. Прочность касательного сцепления цементных растворов в каменной кладке

5. Характеристические значения коэффициента внутреннего трения  $tga_k$  для кладок из керамического полнотелого кирпича соответствовали значению  $tga_k=0.4$ , принятого в [11]. Для всех остальных типов испытанных кладок  $tga_k$  превышал установленное в [11] значение  $tga_k=0.4$ . Для кладок из пустотелого керамического и силикатного кирпича с объемом пустот 18% опытные значения коэффициента внутреннего трения  $tga_{obs}$  были близки к значениям, установленным в нормах [10].

6. Прочность касательного сцепления  $f_{v0,obs}$  зависела от прочности кладочного раствора при сжатии  $f_m$ . Зависимость « $f_{v0,obs}-f_m$ » имела нелинейный характер. Более интенсивное нарастание прочности сцепления обычно наблюдалось при увеличении прочности раствора от 0 до 3.1 МПа.

### Литература

1. Поляков С. В. Каменная кладка в каркасных зданиях. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. 189 с.
2. Salah El-Din Fahmy Taher, Hamdy Mohy El-Din Afefy. Role of masonry infill in seismic resistance of RC Structures // The Arabian Journal for Science and Engineering. 2008. No. 2B. Pp. 291-306.
3. Meng-Hao Tsai, Tsuei-Chiang Huang. Numerical Investigation on the Progressive Collapse Resistance of an RC Building with Brick Infills under Column Loss // International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2011. No. 7:1. Pp. 27-34.
4. Lourenço P. B. Computational strategies for masonry structures. PhD Dissertation. Delft University of Technology. The Netherlands: Delft University Press, 1996. 209 p.
5. Kubica J. Mechanika muru obciążonego w swej płaszczyźnie. Monografie Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2011. 382 p.
6. Ищук М. К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. М.: Стройматериалы, 2009. 360 с.
7. Деркач В. Н. О морфологии трещин, возникающих во внутренних перегородках современных зданий // Вестник Брестского государственного технического университета – Строительство и архитектура. 2010. №1. С. 43-45.
8. Jasinski R. Projektowanie elementow scinanych wedlug PN-EN 1996-1 i PN-EN 1996-3 // XXVI Ogólnopolskie warsztaty Pracy projektanta konstrukcji. Szczyrk, 2011. Pp. 453-499.
9. Drobiec L., Kubica J. Zapobieganie zarysowaniom scian murowych opartych na stropach żelbetowych // Materiały budowlane. 2006. No. 4. Pp. 21-23.
10. СНиП II-22-81\* Каменные и армокаменные конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 40 с.
11. EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. 127 p.
12. Поляков С. В. Сцепление в кирпичной кладке. М.: Госстройиздат, 1959. 134 с.
13. Орлович Р. Б., Деркач В. Н. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 3-10.
14. Деркач В. Н., Орлович Р. Б. Прочность каменной кладки на срез по неперевязанным сечениям // Строительство и реконструкция. 2010. №3. С. 7-13.
15. Calvi G. M., Magenes G. Experimental evaluation of seismic strength of old masonry structures // Proc. of the 9th Int. Brick/Block Masonry Conf. Berlin, 1991. Pp. 490-497.
16. Riddington J. R., Ghazali M. Z. Hypothesis for shear failure in masonry joints // Proc. Institute of Civil Engineers. 1990. Part 2, Vol. 89. Pp. 89-102.
17. Hamid A. A., Drysdale R. G. The Shear Behaviour of Brickwork Bed Joints // Proc. of the British Ceramic Society. 1982. No. 30. Pp. 101-109.
18. Kubica J. Wstępne badania murów z bloczków z betonu komórkowego poddanych ścinaniu ze ściskaniem: Praca BK-273/RB-2/98. Raport, Katedra Konstrukcji Budowlanych, Poli-technika Śląska. Gliwice: 1998. 67 p.
19. Lewicki B., Szczypiński A. Badania wytrzymałościowe muru na cienkie spoiny z bloczków YTONG: Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej «Konstrukcje Murowe». Puławy: 1998. Pp. 21-29.
20. Грановский В. А., Джамуев Б. К. К вопросу о возможности применения стен из ячеистобетонных блоков в сейсмических районах // Промышленное и гражданское строительство. 2011. №4. С. 37-39.

*\*Валерий Николаевич Деркач, г. Брест, Республика Беларусь  
Тел. раб.: (+375-296-411962), эл. почта: v-derkach@yandex.ru*

## О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

*К.т.н., доцент А.В. Улыбин\*;  
инженер С.В. Зубков,*

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** прочность кирпича; обследование каменных конструкций; неразрушающий контроль

Одной из основных задач, решаемых при обследовании зданий и сооружений, выполненных из каменной кладки, является определение прочностных параметров камней и раствора. Основополагающие исследования в нашей стране, посвященные изучению работы каменной кладки под нагрузкой и прочности ее составляющих, выполнены в первой половине прошлого века под руководством Л.И. Онищика [1]. Результаты исследований легли в основу норм по расчету кладок СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции». При этом из результатов исследований [1] и требований норм (табл. 2 СНиП II-22-81) видно, что в прочности на сжатие кладки прочность камня играет существенно большую роль, чем прочность раствора, на котором она выполнена. Этот факт констатируется авторами и других работ [2]. Учитывая, что кладка преимущественно работает именно на сжатие, наиболее важным является точное и достоверное определение прочности на сжатие камней.

Современные исследования посвящены, в основном, изучению работы кладок из различных видов кирпичей в целом, а не исследованию работы камня и раствора по отдельности [3]. Практически все исследования выполняются в лабораторных условиях на изготовленных фрагментах кладки. Для определения прочности и деформативности кладки в полевых условиях предлагается использование плоских гидравлических домкратов «Flat-Jack-Tests» и их аналогов. Данный метод испытания нашел широкое применение за рубежом и освещен в различных работах [4-9]. Однако основными недостатками, ограничивающими его применение, являются существенное нарушение целостности испытываемого участка кладки и относительно высокая стоимость оборудования и работ.

Согласно действующим в России нормативным документам прочность керамического кирпича на сжатие может быть определена только испытанием образцов отобранных непосредственно из тела кладки. Испытания выполняются по требованиям ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе». Стандартов, регламентирующих применение методов неразрушающего контроля (НК) для керамического кирпича в нашей стране нет. Действующий ГОСТ 24332-88 «Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии» описывает требования к выполнению ультразвукового контроля прочности только для силикатного кирпича.

Известны исследования различных специалистов, описывающие возможность применения для контроля прочности кирпича методов неразрушающего контроля, широко используемых для бетона. Например, в работах [10, 11, 12] предлагается использовать метод пластической деформации, а в работе [13] кроме вышеупомянутого ещё и ультразвуковой метод. По результатам анализа большого количества технических отчетов по обследованию, выполненных различными отечественными организациями, а также опубликованных работ [14], можно утверждать, что большое количество специалистов используют для определения прочности метод ударного импульса и ультразвуковой метод. Первый из них широко применяется, так как в приборах типа ИПС МГ-4 и других аналогичных склерометрах заводом изготовителем заложена градуировочная зависимость «кирпич керамический». Это обстоятельство с легкостью используется владельцами приборов для выполнения «измерений». Применение ультразвукового метода для измерений прочности кладки, как правило, основано на использовании частных градуировочных зависимостей, построенных по результатам исследований институтов или отдельных авторов.

Определение прочности кирпича неразрушающими методами наиболее выгодно и заказчику и исполнителю обследования по следующим причинам. При исследовании не происходит ослабления конструкций в результате отбора образцов и не нарушается их внешний вид. Неразрушающие методы наименее трудоемки и более дешевы в сравнении со стандартными испытаниями. Однако результаты испытаний неразрушающим методом контроля позволяют лишь Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

приблизительно оценить прочность кирпича и во многих случаях характеризуются большой погрешностью [15]. Это вызвано, в частности, тем, что прочностные характеристики определяются по исследованию поверхностного слоя, подверженного размораживанию, эрозии и увлажнению. Все эти факторы напрямую влияют на результаты исследований. Учесть вышеуказанные факторы при определении прочности кирпича неразрушающим методом попытались авторы работы [11]. Но при этом исследуется тот же поверхностный слой, игнорируются возможные дефекты в теле камня и его неоднородность, которая характерна особенно для старого кирпича производства XIX века и ранее.

По мнению авторов, использование известных методов НК для определения прочности керамического кирпича при обследовании конструкций недопустимо. Мы утверждаем это не только потому, что отсутствуют стандарты, регламентирующие применение данных методов, а в большей степени из-за того, что керамический кирпич имеет существенно большую неоднородность строения и анизотропность физико-механических свойств, чем бетон. При этом опытные специалисты по обследованию знают, что применение косвенных методов НК даже для определения прочности бетона весьма условно. При правильной реализации их трудоемкость значительно возрастает и кажущаяся простота и доступность контроля теряется. Более подробно это рассмотрено в работе [16].

В качестве примера приведем данные параллельных измерений, выполненных при обследовании каменных конструкций здания Шуваловского дворца в Санкт-Петербурге. При обследовании конструкций кирпичных сводов был произведен отбор 40 образцов кирпича, испытанных в лабораторных условиях на сжатие. Кирпич, примененный в кладке, – керамический, пластического формования, изготовлен в начале XIX века. Перед отбором проб из кладки на кирпичах были проведены измерения методом упругого отскока с помощью молотка Шмидта Proceq Schmidt N. Результаты измерений по двум параметрам (прочность и высота отскока) представлены на рис.1.

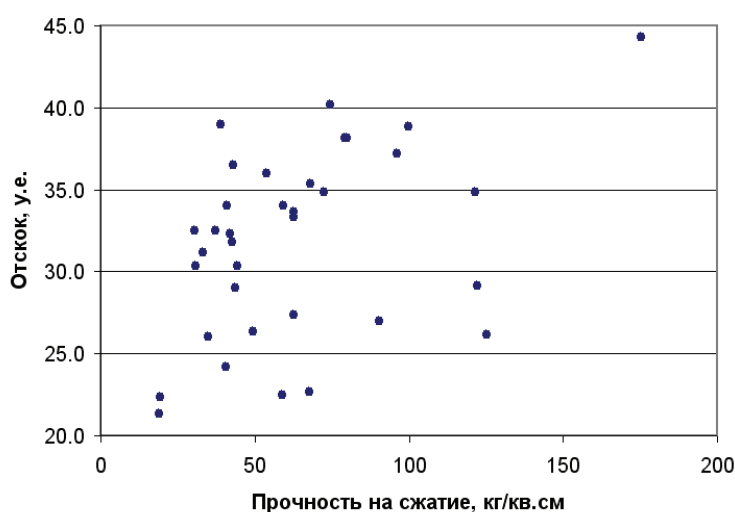


Рисунок 1. Зависимость прочности на сжатие от величины отскока

Парный корреляционно-регрессионный анализ различными зависимостями (линейной, степенной, логарифмической и экспоненциальной) характеризовался коэффициентом корреляции не более 0,45, что свидетельствует об отсутствии связи между измеряемыми параметрами.

Нельзя сказать, что применение методов НК для кирпича невозможно вообще. Как и для бетона при правильном использовании, учете большого количества факторов, в узких рамках методы могут успешно применяться. Примером является контроль прочности кирпичей на заводе, где имеется возможность построения частных градуировочных зависимостей для каждой совокупности параметров (вид материала для сырца, способ формования, температура и длительность обжига, вид кирпича и другие). Однако при обследовании зданий на каждом конкретном объекте совокупность параметров индивидуальна и, как правило, неизвестна. Поэтому для применения любого метода НК как и для бетона необходимо построение частной градуировочной зависимости на каждом конкретном объекте, что указано в требованиях СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» и других норм. Выполнение этого на практике делает применение НК прочности нецелесообразным, а в ряде случаев вообще не дает результата (см. рис.1).

Определение прочности кирпича на сжатие стандартными испытаниями наиболее трудоемко. Описанная в ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе» методика предусматривает испытание целых кирпичей, либо их половинок, уложенных постелью один на другой. Трудоемкими являются операции по изготовлению половинок кирпича, а также соединению их и выравниванию поверхностей цементным раствором, либо гипсовым тестом. При реализации данного метода в ходе

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

обследования зданий, а не для контроля прочности кирпича при изготовлении и строительстве, процесс существенно осложняется необходимостью отбора проб из кладки.

По требованиям норм для определения прочности необходимо отобрать определенное количество кирпичей из тела кладки. Например, по требованиям п. 5.3.2.3 ГОСТ Р 53778 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» количество кирпичей для испытания составляет не менее 10 штук. Территориальные нормы ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге» указывают на необходимость испытания не менее трех образцов кирпича на 100м<sup>2</sup> площади стен.

Образцы в виде целых кирпичей отбирают, как правило, из наименее нагруженных участков (подоконные пояса, обрезы стен, парапеты и т.п.). Отбор проб из несущих элементов (стен, простенков, колонн) существенно затруднен, так как изъятие одного целого кирпича обычно приводит к разрушению нескольких кирпичей, прилегающих к нему. Следовательно, отбор сопровождается существенным ослаблением сечения, что недопустимо для линейных элементов (колонны, простенки). Указанные затруднения приводят к тому, что прочность определяется для камней ненагруженного элемента, а расчет кладки производится по другому элементу. Иногда оправданием данного подхода является установление причастности кирпичей (испытанных и рассчитываемых) к одной партии (виду). Это производится по внешним признакам: размеру, цвету, характерным дефектам, наличию клейм и т.д. Однако в тех случаях, когда стены покрыты штукатурными слоями, подобный подход вызывает затруднения. Все вышеперечисленные проблемы приводят к минимизации выборки проб для испытаний или отказу от испытаний вообще и применению методов НК.

Известен альтернативный способ отбора проб и испытания кирпича на прочность. Он заключается в отборе кернов из кирпичей и испытании образцов цилиндрической формы. На возможность данного подхода указывается в п.3.12 Рекомендаций [17] и п. 1.16 Рекомендаций [18]. В исследованиях профессора Л.И. Онищика [1] упоминается о данном методе испытаний очень кратко. Применение этого метода при обследовании зданий устраняет большинство указанных выше проблем и характеризуется следующими преимуществами:

- повреждение элемента отбора минимально (разрушается только часть одного кирпича);
- круглая форма нарушения сплошности кладки приводит к минимальной концентрации напряжений после отбора;
- производительность выбуривания очень высока, а современное оборудование широко доступно и имеет невысокую стоимость;
- благодаря предыдущим факторам есть возможность отбора большого числа проб и увеличения достоверности исследований;
- нет необходимости в склеивании и выравнивании образцов, что также снижает трудоемкость и увеличивает производительность.

Данный подход не нашел широкого применения, так как недостаточно исследований по определению зависимости между прочностью керамического кирпича, испытанного в виде цилиндрических образцов, и прочностью, полученной по стандартной методике. В рекомендациях [17] указывается на возможность применения переходных коэффициентов для корректировки размера цилиндров. Но указанные в табл.1 рекомендаций [18] размеры четко не соответствуют наиболее оптимальному размеру кернов из кирпича с диаметром 60-65 мм. Также неясно влияние анизотропии и ортотропии механических свойств кирпича на результат измерений. При выполнении стандартных испытаний направление нагружения совпадает с действием главных сжимающих сил при работе кладки в конструкции. При отборе кернов из кладки имеется возможность их изъятия только из тычков и ложков. Таким образом, направление нагрузки на изготовленные образцы – цилиндры при их испытании на сжатие будет ортогональна направлению нагрузки при нормальной работе кирпича. Исследованию влияния этих и других факторов посвящена данная работа.

В трудах профессора Л.И. Онищика [1] упоминается об опытных испытаниях ЦНИИПС 1934 г. (опыты инженера Н.И. Кравчени и инженера И.Т. Котова). Испытания заключались в определении прочности на сжатие кирпича в трех направлениях: плашмя, на ребро и на тычок, а также стандартным испытанием. Четких зависимостей между прочностью на сжатие в различных направлениях не установлено. На результаты испытаний повлияли такие факторы как различная высота образцов, а также различные значения сил трения, возникающих на подушках пресса и искажающих напряженное состояние. Влияние сил трения между подушкой пресса и образцом были подробно освещены еще в начале XX столетия в работах Гелера по испытанию кубиков и призм из цементного раствора.

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

### Результаты исследований прочности кернов из кирпича

Для исследования прочности кирпича на сжатие при испытании цилиндрических образцов авторами работы был проведен ряд опытов. В эксперименте применялись керамические полнотелые кирпичи марок М150 (производство Новгород), М200 (Витебск) и М250 (Санкт-Петербург.). Целью эксперимента являлось установление зависимости между прочностью на сжатие цилиндрических образцов, выбуренных из ложков и постелей кирпичей, и прочностью полученной испытанием по стандартной методике.

Для испытания были подготовлены 45 кирпичей (по 15 каждой марки). Из них по пять кирпичей каждой марки были испытаны в лабораторных условиях по стандартной методике на сжатие двух половинок, уложенных постелью друг на друга и склеенных гипсовым раствором (рис. 2, 3). Из оставшихся кирпичей были выбурены 60 цилиндрических образцов-кернов диаметром 56 мм (рис. 4). С целью проверки влияния на результат измерений направления отбора и установления связи между испытаниями в различных направлениях, образцы отбирались из ложковых граней и постели. Таким образом, керны, выбуренные из постели, были испытаны нагрузкой, направление которой совпадает с направлением при стандартном испытании, а направление нагрузки на образцы из ложков было ортогонально вышеописанному направлению (рис. 5). Цилиндрические образцы обрабатывались таким образом, чтобы отношение диаметра к высоте составляло 1:1. Торцы отшлифовывались и выводились в параллель друг к другу. В данном случае исключается влияние различной высоты образцов и сил трения о подушки пресса, в отличие от испытания целых кирпичей в различных направлениях.



Рисунок 2. Образцы, изготовленные по стандартной методике



Рисунок 3. Стандартный образец после испытания



Рисунок 4. Цилиндрические образцы



Рисунок 5. Цилиндрический образец после испытания

Результаты, полученные в ходе эксперимента по определению прочности на сжатие цилиндрических образцов и образцов, испытанных согласно ГОСТ 8462-85, а также отношение результатов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытания образцов

| Марка кирпича | $R_{\text{ср}} \text{ ложок, кгс/см}^2$ | $R_{\text{ср}} \text{ постель, кгс/см}^2$ | $R_{\text{ср}} \text{ стандарт, кгс/см}^2$ | $R_{\text{ср}} \text{ ложок} / R_{\text{ср}} \text{ постель}$ | $R_{\text{ср}} \text{ ложок} / R_{\text{ср}} \text{ стандарт}$ |
|---------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| М150          | 179                                     | 305                                       | 234                                        | 0,59                                                          | 0,77                                                           |
| М200          | 173                                     | 293                                       | 225                                        | 0,59                                                          | 0,77                                                           |
| М250          | 234                                     | 374                                       | 302                                        | 0,63                                                          | 0,78                                                           |

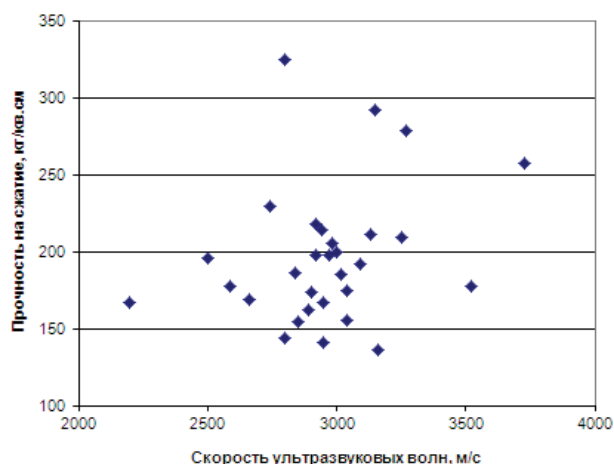
Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

В результате анализа экспериментальных данных установлено наличие связи между прочностью на сжатие цилиндрических образцов, отобранных ортогонально ложку и постели кирпича, с коэффициентом, близким к 0,6. Учитывая, что при исследовании кирпича в кладке имеется возможность отбора только горизонтальных кернов, наибольший интерес представляет отношение прочности кернов, отобранных из ложков, к прочности стандартных образцов. Связь прочности кирпича на сжатие, полученной по испытанию цилиндрических образцов, и прочностью, полученной стандартным испытанием, характеризуется коэффициентом 0,77.

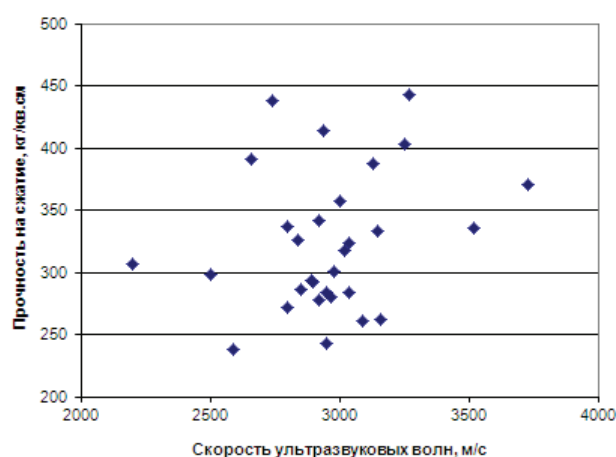
Также по результатам эксперимента выявлено, что фактическая прочность кирпичей марок М150 и М200 практически одинаковая. Это, вероятнее всего, связано с наличием в кирпиче марки М150 большого количества трещин и посечек. Данные дефекты снижают прочность кирпича на изгиб, которая в данном исследовании не рассматривалась. Этим и обусловлена более низкая марка, установленная заводом – изготовителем.

### Исследование ультразвуковым методом НК

Помимо приведенных выше результатов, было выполнено исследование связи скорости ультразвуковых волн с прочностью кирпича. Исследование проводилось на тех же кирпичах. Перед отбором кернов и проведением испытаний выполнялись ультразвуковые измерения с помощью прибора Пульсар 1.1 (НПП «Интерприбор») и ультразвукового тестера УК 1401 (ООО «АКС»). Измерения скорости распространения ультразвуковых колебаний производились поверхностным прозвучиванием по ложковой грани кирпича, что соответствует условиям доступа к кирпичу в кладке. Результаты в виде зависимостей между прочностью и скоростью распространения волн представлены на рис. 6 и 7.



**Рисунок 6. Зависимость прочности на сжатие «ложковых» кернов от скорости распространения ультразвуковых волн**



**Рисунок 7. Зависимость прочности на сжатие «постельных» кернов от скорости распространения ультразвуковых волн**

По приведенным рисункам видно, что явная связь между измеряемыми параметрами отсутствует. Попытки найти корреляцию между величинами, полученными в ходе эксперимента, не увенчались успехом.

### Заключение

По результатам исследований, выполненных авторами, можно сформулировать следующие выводы.

1. Использование при обследовании зданий методов неразрушающего контроля, применяемых для бетона, недопустимо для определения прочности керамического кирпича. Это обусловлено отсутствием тесной связи между измеряемыми параметрами и прочностью.
2. Методы неразрушающего контроля можно использовать для грубой оценки прочности кирпичей, а также в случаях, когда имеется возможность построения частных градуировочных зависимостей, например, в заводских условиях.

3. По результатам экспериментов прочность кирпича на сжатие в различных направлениях существенно отличается. При этом значение прочности, полученной по испытаниям кернов, отобранных из ложков, ниже, а кернов, отобранных из постели, выше прочности, полученной стандартными испытаниями.
4. Отношение прочности образцов, отобранных из ложка, к прочности, определенной по стандартной методике, составляет 0,77-0,78.

Приведенные результаты экспериментов являются лишь началом исследований авторов на данную тему. В ближайшее время планируется выполнение работы с большей выборкой и с учетом различных факторов. Авторы будут признательны за советы, предложения и конструктивную критику, полученную от коллег на тему исследования.

### Литература

1. Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций. М.-Л.: Главредстройлит, 1937. 292 с.
2. Гроздов В. Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: Издательский Дом KN+, 2001. 140 с.
3. Гнедина Л. Ю. Экспериментальное определение прочностных характеристик различных видов кирпича и кирпичной кладки при центральном сжатии // Строительные материалы. 2007. №12. С. 18-19.
4. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Cracking simulation of brick-masonry elements subjected to the double flat-jack test // Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction. 2008. SAHC08 1. Pp. 367-374.
5. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Historical brick-masonry subjected to double flat-jack test: Acoustic emissions and scale effects on cracking density // Construction and Building Materials. 2009. No. 23 (8). Pp. 2813-2820.
6. Ramos L. F., Sharafi Z. Tube-jack testing for irregular masonry walls: First studies // Advanced Materials Research. 2010. No. 133. Pp. 229-234.
7. Acito M., Binda L., Cardani G. Experimental and numerical study on the application of the flat-jack tests to masonry walls // Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction. SAHC08 2. Pp. 875-883.
8. Binda L., Tiraboschi C. Flat-jack test; as a slightly destructive technique for the diagnosis of brick and masonry structures // Int. Journal for Restoration of Buildings and Monuments. 1999. No. 5. Pp. 449-472.
9. Gregorczyk P., Lourenco P. B. A review on Flat-jack testing // Engenharia Civil. 2000. №9. Pp. 39-50.
10. Житушкин В. Г., Кучеров В. Н. Определение прочности кладки из кирпича в натурных условиях // Жилищное строительство. 2001. №9. С. 11-12.
11. Гучкин И. С., Артюшин Д. В. Определение прочности (марки) керамического кирпича в конструкциях неразрушающим методом // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. №1. С. 103-104.
12. Руководство по определению прочности кирпичной кладки неразрушающим методом пластических деформаций / Куб ГУ. Краснодар, 1999. 15 с.
13. Brozovsky J., Zach J. Non-destructive Testing of Solid Brick Compression Strength in Structures // IV Conferencia Panamericana de END. Buenos Aires. 2007. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/1.pdf> (дата обращения: 15.04.2012).
14. Белов В. В., Деркач В. Н. Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7(17). С. 14-20.
15. Деркач В. Н., Жерносек Н. М. Методы оценки прочности каменной кладки в отечественной и зарубежной практике обследования зданий и сооружений // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. № 3(28). С. 135-143.
16. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4(22). С. 10-15.
17. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. М.: ЦНИИСК им В. А. Кучеренко, 1988. 36 с.
18. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. М.: ЦНИИСК им В. А. Кучеренко, 1984. 36 с.

*\*Алексей Владимирович Улыбин, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812)535-57-82; эл. почта: [ulybin@mail.ru](mailto:ulybin@mail.ru)*

Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений

## Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья

*К.т.н., доцент Ю.В. Селиванов;*

*д.т.н., профессор А.Д. Шильцина;*

*д.т.н., профессор В.М. Селиванов,*

*Хакасский технический институт – филиал*

*ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет;*

*старший преподаватель Е.В. Логинова\*;*

*к.т.н., доцент Н.Н. Королькова,*

*ФГАОУ ВПО Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова*

**Ключевые слова:** керамические теплоизоляционные строительные материалы; низкотемпературное вспенивание; пористая структура; фазово-минеральный состав; прочность

Керамические теплоизоляционные строительные материалы являются наиболее перспективными для современного строительства. Долговечные, био- и коррозионностойкие, негигроскопичные и несгораемые они обладают наибольшей стабильностью теплотехнических свойств во времени [1,2,3,4]. Сочетание таких свойств особенно важно при строительстве в сейсмических областях, к которым относятся многие регионы Сибири, в том числе республики Тыва, Хакасия и прилегающие к ним районы юга Красноярского края. Вместе с тем, производство керамических теплоизоляционных материалов в общем объеме выпуска теплоизоляционных изделий составляет незначительный процент [5,6]. Например, в Хакасии и прилегающих районах юга Красноярского края потребность в строительных теплоизоляционных материалах практически полностью покрывается применением пенополистирола и привозных высокообжиговых ( $\approx 1300^{\circ}\text{C}$ ) минераловатных изделий на дорогостоящих полимерных связках, тлеющих с выделением токсичных газов при возникновении пожаров [5,6]. Пенополистирол, в свою очередь, наиболее подвержен разрушению в период эксплуатации в структуре многослойной стены и является более пожароопасным, чем ее конструктивные элементы.

Вместе с тем, анализ данных научно-технической литературы [7,8,9] показывает, что дефицит соизмеримых по долговечности и пожаробезопасности с кирпичом неорганических теплоизоляционных строительных материалов можно снизить за счет выпуска штучных изделий в виде кирпича, плит или блоков из высокопористой керамики на основе широко распространенного и доступного глинистого сырья [7,9,10]. Пористая структура такой керамики может быть создана по энергоэффективной технологии низкотемпературного вспенивания масс при газовыделении. Для получения пористых изделий по такой технологии вспенивание масс проводится при температуре  $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$ , а закрепление ее пористой структуры осуществляется последующим обжигом. В результате, изготовление штучных изделий проводится обжигом в одну стадию, минуя стадию предварительного обжига гранул [7,9].

Технология производства пористых изделий в виде плит или блоков на основе глинистого сырья, разработанная еще в 60-е годы [9], не получила широкого распространения до настоящего времени в связи с трудностями ее реализации, связанными с получением пористой структуры достаточной прочности на стадии вспенивания и достижением необходимой прочности без деформации изделий на стадии спекания.

Цель данной работы – разработка составов масс на основе глинистого сырья, обеспечивающих вспенивание при температуре  $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$ , сохранение пористой структуры после него и спекание твердой матрицы пористой керамики.

При исследовании свойств сырья и полученных керамических теплоизоляционных материалов применялись методы химического, рентгенофазового анализа на установке ДРОН-3, комплексный дифференциально-термический анализ с помощью установки Jupiter STAa 449 F1 немецкой фирмы NETZSCH с нагреванием образца в атмосфере инертного газа аргона, микроскопический анализ. Коэффициент теплопроводности определялся с применением электронного измерителя ИТП-МГ4 методом определения плотности стационарного теплового потока и методом теплового зонда в образцах. Прочность масс после вспенивания оценивалась путем определения отношения диаметра шарика размером 3 см к диаметру отпечатка на поверхности вспененных масс и визуальным осмотром состояния углов и ребер после распалубки образцов.

Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья

В качестве глинистого сырья использовалась смесь черногорских аргиллитов (Республика Хакасия) желтой и черной разностей в соотношении 1:1, подобранном экспериментально как наиболее оптимальное.

По содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  (20,89%) в прокаленном состоянии (табл. 1) выбранные аргиллиты являются полукислыми. По содержанию тонкодисперсной фракции размером 0,001 мм аргиллиты относятся к дисперсным (табл. 2). Аргиллиты характеризуются полиминеральным составом. Рентгенофазовым и дериватографическим анализами в качестве глинистых минералов в них установлены монтмориллонит, каолинит и хлорит, в качестве сопутствующих минералов – кварц и анортит. На основании количества и относительных интенсивностей отражений каолинита, хлорита и монтмориллонита на рентгенограмме аргиллитов они диагностируются как хлорит-каолинит-монтмориллонитовые.

**Таблица 1. Химический состав применяемых видов сырья**

| Компоненты                      |                |                         |                |                         |       |       |                       |                      |        |
|---------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|-------|-------|-----------------------|----------------------|--------|
|                                 | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | CaO   | MgO   | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | п.п.п. |
| <b>Аргиллиты</b>                | 56,31          | 18,49                   | 0,26           | 5,92                    | 2,51  | 1,99  | 1,53                  | 2,66                 | 10,34  |
| <b>Диоксидсодержащая порода</b> | 57,80          | 0,18                    | 0,03           | 0,09                    | 23,30 | 13,40 | 0,09                  | 0,06                 | 5,05   |
| <b>Стеклобой</b>                | 67,40          | 5,81                    | -              | 1,76                    | 7,21  | 3,38  | 12,73                 | 2,00                 |        |

**Таблица 2. Гранулометрический состав применяемых аргиллитов**

| Содержание частиц, %, размером, мм |                           |                     |                          |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 – 0,05<br>песчаные               | 0,05 – 0,005<br>пылеватые | < 0,05<br>глинистые | в т.ч. < 0,001           |
| 40 – 55<br>(47,5)                  | 2,5 – 23,5<br>(13)        | 26,5 – 47,5<br>(37) | 17,42 – 24,61<br>(21,01) |

Примечание. В скобках приведены средние значения содержания частиц соответствующих размеров

Исследование технологических свойств аргиллитов показало (табл. 3), что они являются умеренно и средне пластичными, малочувствительными к сушке ( $K_c < 1$ ) и характеризуются достаточно хорошими связующими свойствами, определяемыми показателем прочности при сжатии образцов из них после сушки, которые находятся в пределах 5,5–6,8 МПа (табл. 3).

**Таблица 3. Свойства применяемых аргиллитов**

| Свойство                             | Показатель           |
|--------------------------------------|----------------------|
| Число пластичности                   | 12 – 20 (16)         |
| Усадка при сушке, %                  | 4,6 – 6,6 (5,55)     |
| Усадка общая, %                      | 6,5 – 7,5 (7,0)      |
| Связность, $\sigma_{сж}$ , МПа       | 5,5 – 6,8 (6,15)     |
| Коэффициент чувствительности к сушке | 0,92 – 1,01 (0,965)  |
| Огнеупорность, °C                    | 1160 – 1235 (1197,5) |

Примечание. В скобках приведены средние показатели значений свойств

Аргиллиты являются легкоплавкими. Температура огнеупорности составляет 1160–1235 °C. По данным дифференциального термического анализа, процессы разложения глинистых минералов завершаются при температуре 880 °C. Кристаллизация новых фаз из продуктов их разложения происходит при температуре 945 °C. Причем по данным рентгенофазового анализа в качестве новой фазы интенсивно образуется муллитоподобная фаза, чему способствует наличие каолинита и высокое содержание оксида железа (табл. 1) в применяемых аргиллитах [11].

Приведенные данные показывают, что аргиллиты характеризуются свойствами, позволяющими оценить их как перспективное глинистое сырье для получения керамических теплоизоляционных материалов. Умеренно- и среднепластические свойства аргиллитов в сочетании с их высокими связующими свойствами предполагают вероятность достижения достаточной степени вспенивания масс и возможность сохранения пористой структуры после него. Низкая огнеупорность сырья и формирование муллитоподобной фазы при обжиге, способствующей повышению прочности керамики, являются предпосылкой для обеспечения спекания и прочности твердой матрицы пористой керамики.

Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья

Вместе с тем, отсутствие у аргиллитов, как у любого вида глинистого сырья, вяжущих свойств приводит к низкой расплубочной прочности вспененного сырца, в том числе и после сушки его в форме. Повышенная усадка аргиллитов после сушки и обжига (табл. 3) затрудняет получение пористых изделий из них без деформации.

Для улучшения технологических и керамических свойств масс и обеспечения их вспенивания использовался традиционный метод применения добавок [7,9,12,13,14]. Так, для снижения усадки изделий и повышения механических свойств использовалась добавка диопсидсодержащей породы. Было опробовано применение диопсидсодержащей породы месторождения, расположенного на территории Хакасии в 70 км от г. Абакан в урочище Пистах [15]. Порода содержит повышенное количество оксидов кремния, кальция и магния (табл. 1). По данным рентгенофазового анализа она сложена диопсидом (92–95%) и кальцитом (5–8%), имеет температуру плавления 1390°C, характеризуется низким коэффициентом линейного расширения. В процессе обжига диопсидсодержащая порода проявляет свойства структурообразующей добавки, обеспечивающей снижение усадки и повышение прочности керамики [15,16,17,18]. Для обеспечения низкотемпературного спекания пористой керамики в качестве плавнеобразующего компонента в составы масс вводился стеклобой, который, как установлено [19], снижает не только температуру фазообразования и обжига керамики, но и расширяет количественные пределы использования добавок непластичных компонентов.

С целью обеспечения процесса вспенивания масс при температуре 20–30°C в их состав вводился щелочной компонент в виде 2н раствора гидроксида натрия, в качестве газообразователя – алюминиевая пудра марки ПАП-2 (ГОСТ 5494-95), содержание активного алюминия в которой составляло 87–98,5%.

Низкотемпературное вспенивание масс происходит за счет протекания реакции:



Для обеспечения прочности пористой структуры после вспенивания масс применяли добавку гипса строительного марки Г-6, тонкость помола которого по остатку на сите 0,2 мм составляла 14,3%, начало схватывания – 5,2 мин, конец схватывания – 14,6 мин.

**Таблица 4. Составы масс и свойства теплоизоляционной керамики из них**

| Компонент                                                                           | Состав масс                             |      |      |      |      | Свойства<br>ячеистого бетона<br>ГОСТ 25485 – 89 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------|------|------|------|-------------------------------------------------|
|                                                                                     | 1                                       | 2    | 3    | 4    | 5    |                                                 |
|                                                                                     | Содержание компонента в составе, % мас. |      |      |      |      |                                                 |
| Аргиллиты                                                                           | 66,9                                    | 69,0 | 72,4 | 74,8 | 81,1 |                                                 |
| Диопсидсодержащая порода                                                            | 17                                      | 15   | 12   | 10   | 5    |                                                 |
| Стеклобой                                                                           | 11                                      | 10,5 | 10,0 | 9,5  | 8    |                                                 |
| Гипс Г-6                                                                            | 4,53                                    | 4,92 | 5,01 | 5,10 | 5,29 |                                                 |
| Гидроксид натрия, 2н                                                                | 29,4                                    | 29,6 | 29,8 | 30,0 | 30,2 |                                                 |
| Алюминиевая пудра                                                                   | 0,57                                    | 0,58 | 0,59 | 0,60 | 0,61 |                                                 |
| Показатель свойства                                                                 |                                         |      |      |      |      |                                                 |
| В/Г                                                                                 | 0,48                                    | 0,42 | 0,43 | 0,45 | 0,47 |                                                 |
| Коэффициент вспенивания                                                             | 2,9                                     | 2,8  | 2,7  | 2,7  | 2,7  |                                                 |
| Осадка массы в возрасте 1 сут, %                                                    | 3,0                                     | 1,0  | 1,0  | 0    | 0    |                                                 |
| Отношение диаметра шарика к диаметру отпечатка на поверхности масс в возрасте 1 сут | 2,8                                     | 2,9  | 3,0  | 3,0  | 3,0  |                                                 |
| Температура обжига, °С                                                              | 950                                     | 950  | 950  | 950  | 950  |                                                 |
| Усадка, %                                                                           | 1,1                                     | 1,3  | 1,6  | 1,7  | 1,9  |                                                 |
| Плотность, кг/м³                                                                    | 600                                     | 550  | 500  | 440  | 560  | 600                                             |
| Водопоглощение, % мас.                                                              | 35,4                                    | 36,1 | 36,9 | 37,4 | 37,1 |                                                 |
| Пористость, %                                                                       | 68,4                                    | 72,6 | 73,2 | 74,1 | 69,1 |                                                 |
| Прочность при сжатии, МПа                                                           | 2,7                                     | 4,9  | 4,1  | 3,7  | 1,9  | 1,29 – 2,57                                     |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м ·°С                                              | 0,21                                    | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,18 | 0,14 – 0,18                                     |

Компонентный состав масс, их свойства после вспенивания и обжига приведены в табл. 4. Количество 2н раствора гидроксида натрия, алюминиевой пудры, гипса и водоглиняное отношение для

Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья

масс, указанные в табл. 4, приняты в пределах интервалов положительного влияния каждого отдельного фактора, установленного экспериментально, на изменение коэффициента вспенивания аргиллитов, их осадки через сутки после вспенивания и прочности вспененных аргиллитов в этом же возрасте.

Экспериментально установлено, что вспененные массы из аргиллитов, содержащие 2н раствор гидроксида натрия в количестве менее 29%, испытывают большую осадку, сопровождающуюся уплотнением и снижением пористости сырца. При увеличении содержания гидроксида натрия в количестве более 30,5% усиливается его миграция на поверхность изделий при сушке, обуславливающая появление высолов.

Неблагоприятным протеканием вспенивания характеризуются массы из аргиллитов с водоглиняным отношением ниже 0,4 и выше 0,5. При недостаточном разжижении масс они слабо вспениваются. За счет сильного разжижения, снижения их вязкости и уменьшения в результате этого поверхностного натяжения межфазовой жидкости, массы после вспенивания претерпевают значительную осадку, образцы уплотняются, а вспенивание масс сопровождается формированием открытой пористости.

Открытая пористость так же формируется при введении алюминиевой пудры в количествах более 0,61%. При этом на поверхности вспененных масс образуются трещины и блестящая пленка, что объясняется следующим. Исследованием дисперсного алюминия под микроскопом обнаруживается его неравномерный зерновой состав. Наряду с тончайшими реакционно-активными частицами в порошке имеются частицы размером 0,1–0,5 мм значительно более низкой реакционной способности. При увеличении количества алюминиевой пудры в массах увеличивается количество вносимых активных частиц, интенсифицирующих газовыделение до такой степени, что поверхностное натяжение межпоровой жидкости становится недостаточным и на поверхности масс после вспенивания образуются трещины. Вместе с тем, при увеличении количества алюминиевой пудры в массах увеличивается и количество крупных частиц запоздалого реагирования, дополнительно вызывающего нарушение структуры поризованных смесей в период их загустевания. Не вступившие в реакцию частицы алюминиевой пудры выносятся водой на поверхность, образуя блестящую пленку, тем более заметную, чем больше порошка вводится в массу. Количество алюминиевой пудры в массах менее 0,55 не обеспечивает их эффективного вспенивания.

Экспериментально установлено, что добавка гипса строительного, обладающего вяжущими свойствами в количестве менее 4,5% в составе масс не обеспечивает четкость граней и углов при распалубке пористого сырца. В количестве более 5,5%, обеспечивая необходимую прочность пористого сырца, она ухудшает спекание керамики [20].

Количество добавок стеклобой и диопсидсодержащей породы выбрано в пределах их наиболее эффективного действия на спекание и прочность образцов из аргиллитов после обжига, установленных экспериментально (от 5 до 20%).

Окончательное количественное содержание каждого отдельного компонента в общей совокупности, приведенное в табл. 4, обеспечивает получение наиболее легкоплавких составов, лежащих в поле кристаллизации волластонит-анортит-кварц с эвтектикой при температуре 1165°C на диаграмме состояния  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ .

Выбор тройной диаграммы состояния  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  для оценки легкоплавкости составов масс обусловлен тем, что в исходных сырьевых материалах преобладают оксиды кремния, алюминия и кальция (табл. 1). При определении расположения составов масс на диаграмме состояния их многокомпонентные составы приводили к трехкомпонентным по правилу Рихтерса путем пересчета щелочных и щелочноземельных оксидов на  $\text{CaO}$ , а оксидов железа и титана – на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [21].

Для экспериментального определения свойств разработанных составов масс после вспенивания и обжига провели изготовление масс и образцов из них по литьевой технологии. При изготовлении масс аргиллиты подвергались дроблению, сушке и помолу для прохода через сито с размером ячейки 0,16 мм.

Диопсидсодержащую породу и стеклобой из смеси оконного и тарного стекла в соотношении 1:1 измельчали до остатка на сите с размером ячейки 0,063 мм не более 5%. В предварительно подготовленные аргиллиты добавляли гипс строительный стандартной тонкости помола, тонкоизмельченную диопсидсодержащую породу и стеклобой и перемешивали в сухом состоянии. Затем в смесь вводили подогретую до 50–60°C воду, температура которой была определена экспериментально как наиболее эффективная для протекания вспенивания масс, и в требуемом количестве – 2н раствор гидроксида натрия. После чего в массу добавляли алюминиевую пудру и производилось перемешивание до однородного текучего состояния.

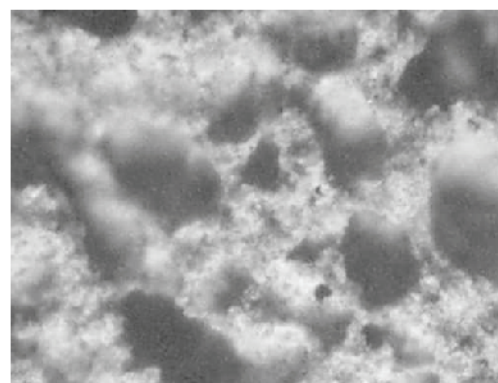
Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырца

Полученную жидковязкую массу заливали в формы размером 70,7×70,7×70,7 мм, заполняя их объем на 2/3 высоты. Процесс поризации и вспенивания масс продолжался 30–40 мин. Затем образцы подвергали сушке при температуре 80 °С продолжительностью 10–12 час, после сушки формы снимали, а изделия обжигали в течение 8 часов при температуре 950 °С.

Результаты испытаний показывают (табл. 4), что массы разработанных составов характеризуются высоким коэффициентом вспенивания (2,7–2,9) и низкой осадкой после него.

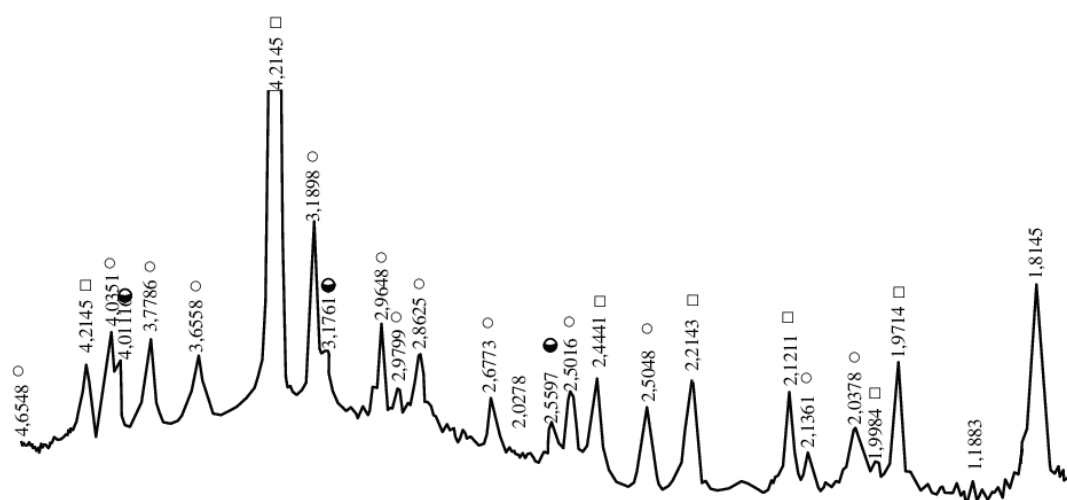
После обжига при температуре 950 °С была получена пористая керамика с мелкими изолированными порами (рис. 1), равномерно распределенными по сечению образца. Между порами размером 0,5–0,8 мм размещались поры размером 0,1–0,2 мм. Внутренние поверхности стенок пор – ровные и блестящие, что свидетельствует об их повышенной прочности. Поры были разделены тонкими одинаковыми по сечению перегородками.

По данным рентгенофазового анализа в перегородках между порами был обнаружен кварц, вносимый с аргиллитами, анортит и альбит, интенсивно кристаллизующиеся при обжиге (рис. 2).

Увеличение 30<sup>x</sup>

500 мкм

**Рисунок 1. Микрофотография структуры теплоизоляционной керамики из массы состава 3**



**Рисунок 2. Рентгенограмма теплоизоляционной керамики из массы состава 3:**

□ – кварц; ● – альбит; ○ – анортит

Равномерное пористое строение керамики с полидисперсным распределением пор и наличие анортита в стенках между порами обеспечивают достижение благоприятных свойств теплоизоляционной керамики.

Коэффициент теплопроводности керамики, определенный экспериментально с помощью электронного измерителя ИТП-МГ4, составляет 0,15 – 0,21 Вт/м·°С, прочность при сжатии керамики – 1,9–4,9 МПа, плотность – 440–600 кг/м<sup>3</sup>, пористость 68,4 – 74,1% при водопоглощении 35,4–37,4 мас.%. В соответствии с требованиями ГОСТ 25485 – 89 автоклавные пенобетоны с прочностью при сжатии от 1,24 до 4,49 МПа при плотности 500 – 600 кг/м<sup>3</sup>, которые широко применяются в строительстве, относятся к группе конструктивно-теплоизоляционных. Поэтому разработанные материалы могут быть пригодны в качестве элементов жесткой теплоизоляции зданий и сооружений.

## Выводы

1. В результате исследований получены составы масс на основе глинистого сырья, включающие добавки диоксидсодержащей породы, стеклобоя, гипса строительного, алюминиевой пудры и 2н раствора гидроксида натрия.

2. Предложено использование литьевой технологии, обеспечивающей вспенивание полученных составов при температуре 20–30 °С, достижение прочности пористой структуры после него, достаточной для распалубки сырца, и спекание пористых изделий без их деформации.

3. Свойства разработанных составов масс и пористой керамики из них обеспечивают изготовление керамических теплоизоляционных строительных материалов в виде штучных изделий однократным обжигом.

### Литература

1. Сиразин М. Г. Теплая керамика – перспективный материал для жилищного строительства в России // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 18 – 19.
2. Krasnyi B. L., Tarasovskii V. P., Rakhmanova E. V., Bondar V. V. Chemical resistance of ceramic materials in acids and alkalis // Class and Ceram. 2004. V. 61. № 9 – 10. Pp. 337 – 339.
3. Abdarakhimova E. S., Abdarakhimov V. Z. Optimization of the content of light fraction ASH in ceramic tile mixtures // Slass and Ceram. 2006. V. 63. № 3 – 4. Pp. 95 – 96.
4. Ананьев А. И., Можаяев В. П., Никифоров Е. А., Елагин В. П. Теплотехнические свойства и морозостойкость кирпича в наружных стенах зданий // Строительные материалы. 2003. №7. С. 14 – 16.
5. Козлов Г. А., Котляр В. Д., Козлов А. В. Особенности получения энергоэффективного пористого заполнителя из керамических пород Ростовской области // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 88–89.
6. Manevich V. E., Subbotin K. Yu. Foamglass and problems of energy savings // Glass and ceramics. 2008. № 4. Pp. 3 – 6.
7. Завадский В. Ф., Путро М. Б., Максимова Ю. С. Поризованная строительная керамика // Строительные материалы. 2004. № 2. С. 50 – 51.
8. Клофт Т., Белоусов В. К. Поризованная керамика на русском рынке и энергосберегающий потенциал при ее производстве // Строительные материалы. 2009. №4. С. 54 – 57.
9. Мороз И. И. Технология строительной керамики. Киев: Вища школа, 1980. 384 с.
10. Крысин Д. М. Применение суглинистого сырья в технологии высокопористой керамики // Известия вузов. Строительство. 2001. № 7. С. 34.
11. Blanchart P., Soro N., Bonnet J. P. Structural characterization of Mullite from Fe – Doped Kaolins // Science for New Technologies of Silicate Ceramics: Proc. 10 Jnt. Ceram. Congr. Florenz: 2003. P. 9 – 16.
12. Shcherbina N. F., Kochetkova T. V. Use of nonferrous metal ore concentration wastes in production of ceramics // Class and Ceramics. 2007. V. 64. № 9 – 10. P. 366 – 368.
13. Вакалова Т. В., Погребенков В. М., Верещагин В. И., Ревва И. Б. Управление качеством строительной и теплоизоляционной керамики путем проектирования составов массы // Строительные материалы. 2007. №2. С. 27 – 30.
14. Doldi M., Cappelletti P., Cerri G. Zeolitic Tuffs as paw materials for Lightweight aggregates // Key End. Mat. 2004. V. 264 – 268. P. 1431 – 1434.
15. Логинова Е. В. Оценка свойств диопсидовой породы для применения в составах керамических масс // Вестник хакасского технического института – филиала Сибирского федерального университета. 2010. №29. С. 183 – 185.
16. Верещагин В. И., Алексеев Ю. И., Погребенков В. М. Диопсидовые породы – универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов. Вып. 2. М.: ВНИИЭСМ, 1991. 60 с.
17. Kienov E., Roeder A., Stradtman J. Synthetic wollastonite, diopsid and moyenite and their roles as industrial minerals // 8 th Jnd. Miner. Jnt Congr., Boston. Pap. London: 1988. Pp. 45 – 58.
18. Bai Zhimin, Ma Hanguen. Влияние диопсида на характеристики трехкомпонентной керамики, полученной из смеси кварц – глина – полевои шпат // Cuisuanyuan xuebao – J. Chin Ceram. Soc. 2003. V. 31. № 2. С. 148 – 151.
19. Будников П. П., Балкевич В. Л., Бережной А. С. Химическая технология керамики и огнеупоров. М.: Стройиздат, 1972. 552 с.
20. Селиванов Ю. В., Шильцина А. Д., Логинова Е. В. Теплоизоляционные керамические материалы с использованием вяжущих // Строительные материалы. 2010. № 7. С 49 – 51.
21. Эйтель В. Физическая химия силикатов. М.: Иностранная литература, 1962. 1055 с.

*\*Елена Владимировна Логинова, г. Абакан, Россия*

*Тел. моб.: +7(913)544-38-36; эл. почта: loginova\_ev@list.ru*

Селиванов Ю.В., Шильцина А.Д., Селиванов В.М., Логинова Е.В., Королькова Н.Н. Составы и свойства керамических теплоизоляционных строительных материалов из масс низкотемпературного вспенивания на основе глинистого сырья

## Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций

*Д.т.н., профессор Р.В. Лесовик;  
к.т.н., доцент, докторант С.В. Ключев\*,*

*ФГБОУ ВПО Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова*

**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон; техногенный песок; фибробетон

На сегодняшний день разработаны высокопрочные и высококачественные бетоны прочностью на сжатие 120 МПа и выше, необходимые при строительстве уникальных зданий и сооружений. Несмотря на то, что прочность на сжатие достаточно велика, существует потребность в увеличении прочностных показателей конструкций, работающих преимущественно на изгиб, так как прочность этих бетонов на растяжение повышается незначительно, что снижает возможности и эффективность их применения [1].

Для повышения прочностных показателей перечисленных бетонов применяются различные способы: дисперсное армирование бетона волокнами (фиброй) – стальными, стеклянными, базальтовыми, целлюлозными, синтетическими, углеродными и др. [2 – 12].

Ценность волокон состоит в том, что они не только придают бетону новые свойства, но и открывают путь принципиально новой технологии изготовления строительных изделий. Армирование производится непосредственно в бетономесительных агрегатах, т.е. в бетономешалку загружают цемент, песок, щебень и сами волокна, перемешивают их и получают готовую к применению армированную бетонную смесь, которую заливают в форму. Время изготовления изделий сокращается практически вдвое. В связи со значительным повышением физико-механических свойств снижается материалоемкость элементов конструкций, что приводит к уменьшению веса зданий и сооружений [2–5].

Эффективность применения фибробетонных конструкций в этих случаях может быть достигнута за счет снижения трудозатрат на арматурные работы, сокращения расхода стали и бетона (за счет уменьшения толщины конструкций), совмещения технологических операций приготовления – бетонной смеси и ее армирования, что, в конечном итоге, приводит к снижению трудоемкости изготовления конструкций на 25–35% и экономии строительных материалов на 1 м<sup>3</sup> готового изделия. Кроме того, эффективность использования фибробетона может выражаться в увеличении долговечности конструкций и снижении затрат на текущий ремонт.

Исследования, посвященные дисперсно-армированному бетону были выполнены Российским инженером В.П. Некрасовым в начале XX в. В России основу знаний о сталефибробетоне сформировали ученые: Ю.М. Баженов, И.В. Волков, В.П. Вылекжанин, Л.Г. Курбатов, И.А. Лобанов, А.П. Павлов, Ю.В. Пухаренко, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, К.В. Талантова, Г.К. Хайдуков, О.Н. Хегай и др. [7–12].

В развитие науки о сталефибробетоне большой вклад внесли ученые Австрии, Австралии, Бельгии, Германии, Голландии, Испании, Канады, Китая, Польши, США, Франции, Чехии, Швейцарии, ЮАР, Японии, и других стран, из них необходимо отметить J.P. Romualdi, B. Gordon, G.B. Batson, M. Jeffrey, I.A. Mandel, I.L. Carson, W.F. Chen, D.I. Hannant, B. Kelly, P.S. Mangat, A.E. Naaman, R.N. Swamy, D. Colin Johnston, D.R. Lankard, V. Ramakrishnan, G. Ruffert, K. Kordina, W.A. Marsden, J. Vodichka и др. [13 – 20].

Однако вышеперечисленные исследования были проведены на цементе и кварцевом песке. В данной работе в качестве основного заполнителя предлагается использовать техногенные пески Курской магнитной аномалии – отсев дробления кварцитопесчанника (отсев дробления КВП), а в качестве вяжущего – вяжущее низкой водопотребности (ВНВ-70) и тонкомолотый цемент (ТМЦ-70).

Основной задачей данной работы является разработка принципов проектирования и технологий производства дисперсно-армированного мелкозернистого бетона с учетом особенностей минералогического состава, строения и свойств техногенных песков.

Свойства техногенных песков, бетонных смесей и бетонов на их основе зависят от многих факторов, обусловленных свойствами исходных пород, способами их измельчения и методами обогащения полученного продукта. Наиболее существенное влияние оказывают прочность, структура и состав породы. При сопоставлении свойств природных и техногенных песков обращают на себя внимание основные принципиальные различия этих материалов. Если первые являются в основном кварцевыми, с округлой формой зерен и гладкой поверхностью, то вторые имеют существенные

Лесовик Р.В., Ключев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций

различия по составу и свойствам исходных пород, форме зерен и шероховатости их поверхности (рис. 1).

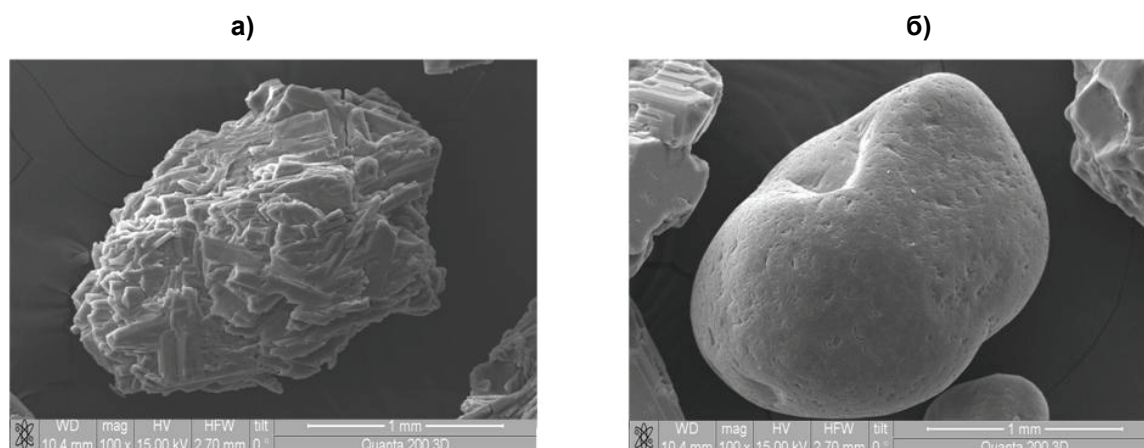


Рисунок 1. Зерно: а) техногенного песка; б) природного песка

Основные физико-механические свойства заполнителей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики заполнителя

| Наименование показателя               | Отсев дробления КВП | Таволжанский песок |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Модуль крупности                      | 3,50                | 1,38               |
| Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> | 1490                | 1448               |
| Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup> | 2710                | 2630               |
| Пустотность, %                        | 47,8                | 44,9               |
| Водопоглощаемость, %                  | 5,5                 | 7                  |

Основной задачей при получении мелкозернистых бетонов, в том числе дисперсно-армированных, является снижение расхода клинкерной составляющей, т.к. из-за отсутствия крупного заполнителя идет перерасход цемента. Наиболее существенными факторами снижения содержания цемента в мелкозернистых бетонах являются уменьшение водопоглощаемости бетонной смеси и повышение активности вяжущего. Поэтому перспективным направлением повышения эффективности мелкозернистого бетона является применение композиционных вяжущих.

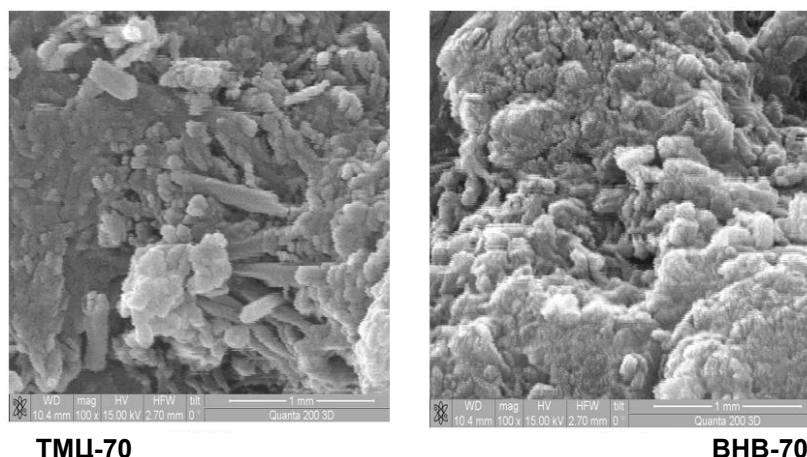
Вяжущее тонкомолотый цемент (ТМЦ-70) получали путем домолота до удельной поверхности  $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{г}$  портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н. Вяжущее низкой водопоглощаемости (ВНВ-70) получали путем совместного помола до удельной поверхности  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  портландцемента и пластифицирующей добавки СП-1 в оптимальной дозировке.

Были определены основные характеристики разработанных вяжущих (табл. 2). Как видно из результатов исследований, вяжущее ВНВ-70 характеризуется более высокой активностью по сравнению с цементом ЦЕМ I 42,5 Н и ТМЦ-70.

Таблица 2. Физико-механические характеристики композиционных вяжущих

| Наименование вяжущего | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг | НГ, % | Начало схватывания, час. | Конец схватывания, час. | Активность      |                 |
|-----------------------|------------------------------------------|-------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
|                       |                                          |       |                          |                         | при изгибе, МПа | при сжатии, МПа |
| ЦЕМ I 42,5Н           | 320                                      | 25,2  | 2,30                     | 3,30                    | 7,8             | 49,3            |
| ТМЦ – 70              | 504                                      | 23,8  | 2,15                     | 3,15                    | 10,2            | 57,4            |
| ВНВ-70                | 520                                      | 22,5  | 1,50                     | 2,50                    | 11,1            | 68,9            |

На РЭМ-изображениях (растрового электронного микроскопа) четко различаются границы между частицами и пора́ми (рис. 2), что благоприятствует проведению количественного анализа микроструктуры.

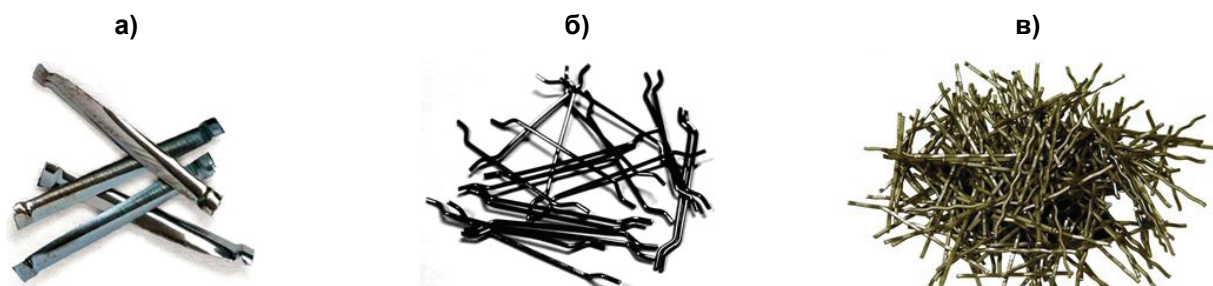


**Рисунок 2. Изменение морфологии новообразований в зависимости от состава вяжущего**

Для оценки целесообразности применения конкретного вида фибры при производстве высококачественного мелкозернистого сталефибробетона были разработаны составы, в которых в качестве заполнителя был применен отсев дробления кварцитопесчаника. Для оптимизации структуры матрицы и получения высокоплотной упаковки зерен заполнителя в состав бетона был введен Таволжанский песок. В качестве вяжущего были применены ЦЕМ I 42,5 Н, ТМЦ-70 и ВНВ-70.

Также в составы были введены три вида фибры (рис. 3):

- фибра стальная волнообразная длина 30 мм, диаметр 0,8 мм;
- фибра стальная анкерная длина 50 мм, диаметр 0,8 мм;
- фибра стальная плоская длина 32 мм, ширина 3,2 мм.



**Рисунок 3. Виды стальной фибры: а) плоская фрезерованная; б) анкерная; в) волновая**

Экспериментальные исследования были связаны с изучением поведения бетонных элементов, дисперсно-армированных стальной фиброй, при определении прочностных и деформативных характеристик.

Фибробетонную смесь готовили в два этапа. Сначала в растворосмесителе получали бетонную смесь. Производилось сухое смешивание компонентов, затем небольшими порциями затворялась вода. Перемешивание длилось 5 – 10 минут в зависимости от консистенции смеси.

На втором этапе выполнялось армирование. Для этого экспериментальным путем определяли количество бетонной смеси, необходимое для формирования одного образца. Далее в приготовленную бетонную смесь добавлялась фибра, заранее отмеренная согласно проценту армирования.

После этого смесь перемешивалась механизированным способом и в ручную укладывалась в очищенные формы, тщательно смазанные маслом. Уплотнение фибробетонной смеси выполнялось на вибростоле до появления цементного молока. После формирования и уплотнения образцы в течение 24 часов находились при температуре не ниже 15°C. Затем формы были сняты, и бетонные образцы находились в камере твердения с температурой 20°C и влажностью более 90%, что соответствует требованиям ГОСТ.

Испытание образцов для определения вышеперечисленных характеристик проводились на универсальной испытательной машине по стандартной методике. Бетонная матрица для всех типов фибры изготавливалась из мелкозернистого бетона одного состава. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 3.

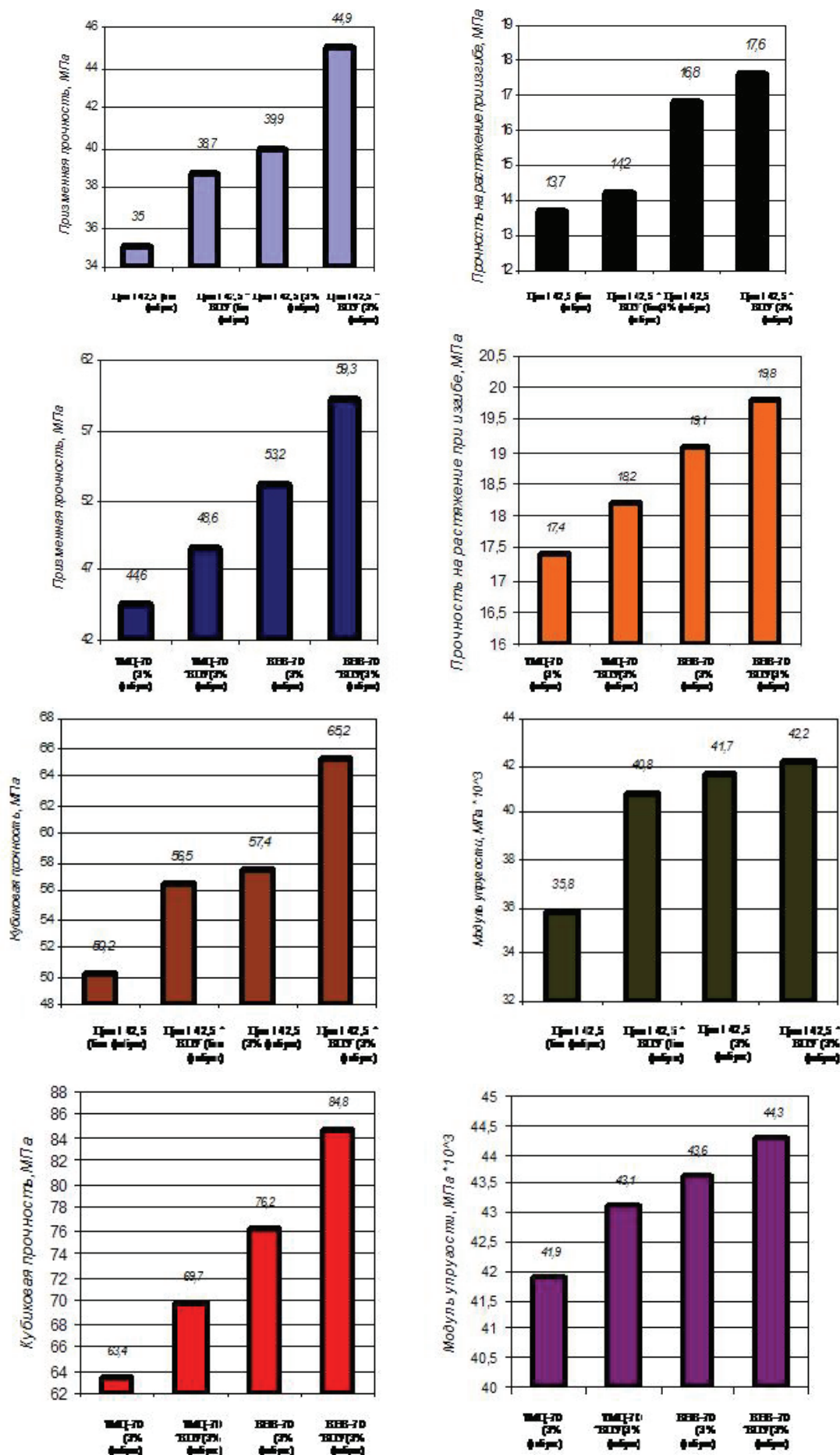


Рисунок 4. Результаты экспериментальных исследований сталефибробетона

Лесовик Р.В., Клюев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций

**Таблица 3. Результаты испытаний мелкозернистых бетонных образцов, в том числе дисперсно армированных стальной фиброй**

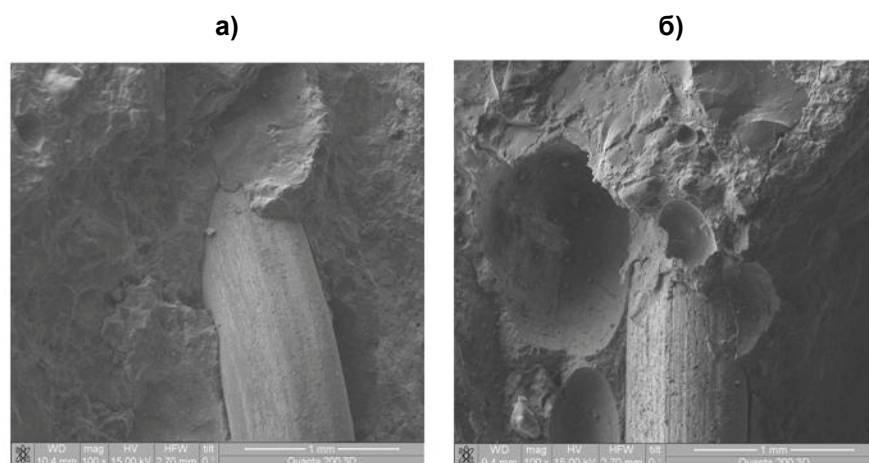
| Определяемая характеристика        | Размерность | Без фибры         | Виды фибр             |                   |                   |
|------------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
|                                    |             |                   | плоская фрезерованная | анкерная          | волновая          |
| Кубиковая прочность                | МПа         | 50,2              | 56,3                  | 55,8              | 57,4              |
| Призменная прочность               | МПа         | 35,0              | 39,2                  | 38,7              | 39,9              |
| Прочность на растяжение при изгибе | МПа         | 13,7              | 15,9                  | 16,6              | 16,8              |
| Модуль упругости                   | МПа         | $35,8 \cdot 10^3$ | $41,1 \cdot 10^3$     | $39,8 \cdot 10^3$ | $41,7 \cdot 10^3$ |

Для трех видов фибр было испытано 36 образцов. Анализ табл. 3 показывает, что сталефибробетон с использованием волновой фибры в качестве армирующего материала обладает наилучшими прочностными характеристиками. Для дальнейшего исследования дисперсного армирования мелкозернистого бетона рекомендуется применять волновую фибру [3].

Перспективным направлением повышения эффективности мелкозернистого сталефибробетона является применение композиционных вяжущих. В данной работе в качестве композиционного вяжущего применяется ТМЦ-70 и ВНВ-70 (рис. 4).

Исследования показали целесообразность использования высокоплотной упаковки зерен мелкозернистого бетона и дисперсного армирования для получения высокопрочного сталефибробетона. Несмотря на достижения более высоких физико-механических характеристик целесообразно применение таких композиционных вяжущих как ТМЦ-70 и ВНВ-70.

Для изучения микроструктуры контактной зоны стальной волновой фибры и цементного камня были проведены исследования с помощью РЭМ (рис. 5).



**Рисунок 5. Микроструктура контактной зоны цементный камень – фибра:**  
а) на ВНВ-70; б) на Цем I 42,5Н

Как видно из исследований микроструктуры, а также исходя из результатов испытаний и визуального осмотра образцов после испытаний, контактная зона «композиционное вяжущее – фибра» имеет более плотную связь и прочность сцепления. Фибра в образцах после испытаний имела более ровный вид.

Микроструктура «цементный камень – фибра» имеет менее прочную взаимосвязь. Структура контактной зоны рыхлая, чешуйчатая. Фибра в образцах после испытаний на Цем I 42,5Н, заметно отличалась от фибры в образцах, выполненных с применением ВНВ-70.

На следующем этапе исследования изучалось влияние вида вяжущего и генетических особенностей основного заполнителя на долговечность и прочностные характеристики сталефибробетона (рис. 6).

Степень гидратации исследуемых составов оценивали по изменению интенсивности отражений алита и белита ( $2,76$  и  $2,78 \text{ \AA}$ ) в области межплоскостных расстояний  $20\text{--}32\text{--}33^\circ$ , являющихся наиболее информативными для данных систем.

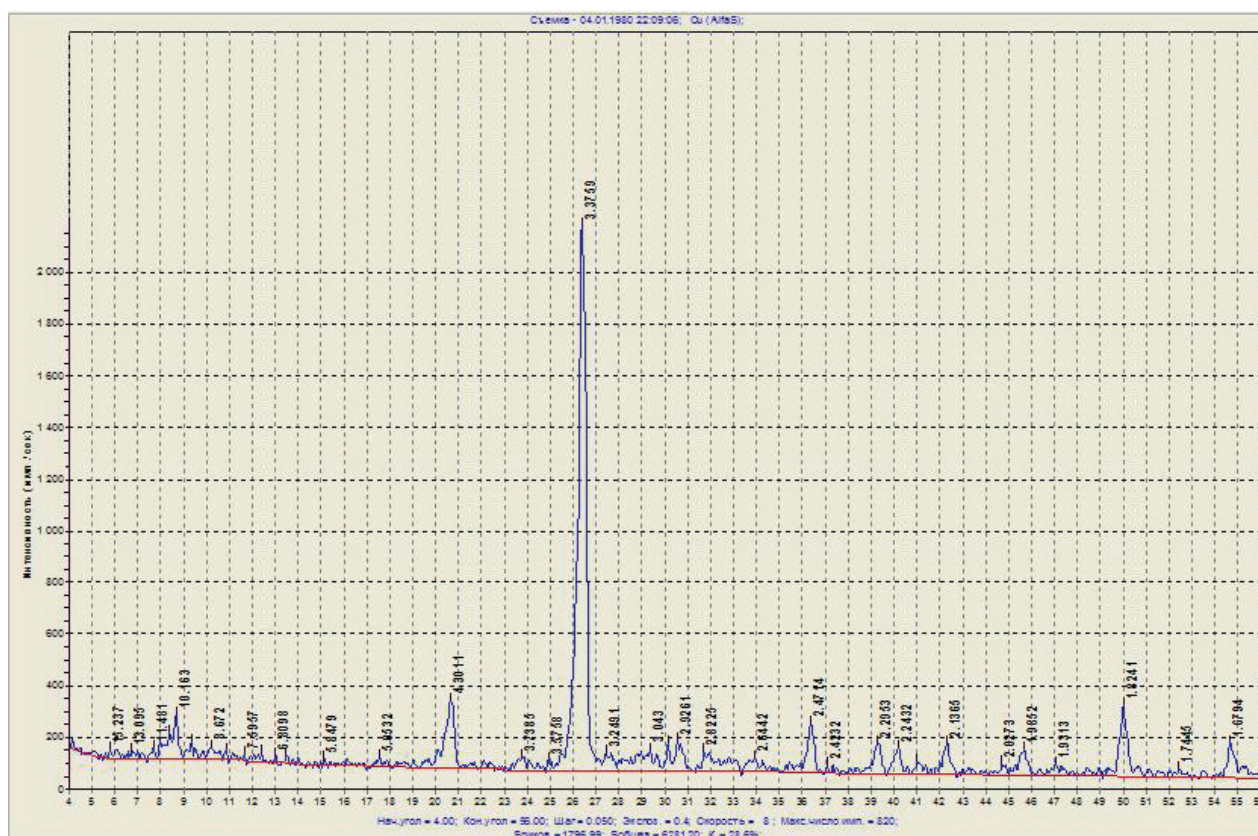


Рисунок 6. Дифрактограмма образца на ВНВ-70 + высокоплотная упаковка зерен

### Выводы

Анализ образцов мелкозернистого сталефибробетона на ЦЕМ I 42,5 показал, что в нем сохраняется больше клинкерных минералов по сравнению с образцом на ВНВ-70 мелкозернистого сталефибробетона. В мелкозернистом сталефибробетоне с высокоплотной упаковкой на ВНВ-70 по сравнению с остальными образцами произошла более полная гидратация исходных клинкерных минералов. Это позволило получить бетон с максимальной прочностью вследствие наиболее оптимального распределения минералов в теле образца.

Экспериментально установлена возможность повышения эффективности дисперсно-армированного мелкозернистого бетона за счет использования высокоплотной упаковки зерен мелкозернистого бетона и применения композиционных вяжущих. Рациональный подбор заполнителя позволил получить на техногенных песках Курской магнитной аномалии сталефибробетон с пределом прочности при сжатии 84,8 МПа, при изгибе 19,8 МПа для изгибаемых конструкций.

Ранее авторами разработан алгоритм расчета многофункциональной системы «клинкер – наполнитель – заполнитель – органическая добавка – вода», позволяющий варьировать параметры при оптимизации состава мелкозернистого бетона с целью повышения прочностных, деформативных и эксплуатационных характеристик композита. Его реализация в экспериментальных условиях позволила увеличить вышеперечисленные характеристики на 20–30% [6].

Выявлен микроармирующий эффект наполнителя композиционного вяжущего за счет кремнеземсодержащих компонентов матрицы, что объясняется удлинением габитуса частиц, микрошероховатостью поверхности и высокой адгезией частиц наполнителя к цементному камню, которая и предопределяет наилучшее сцепление цементного камня с фиброй. Внешним проявлением этого сцепления является выпрямление волновой фибры в зоне растяжения.

Разработанные составы дисперсно-армированного мелкозернистого бетона были внесены в проект строительства торгово-оздоровительного комплекса в г. Белгороде по ул. К. Заслонова, 173 (ООО «Элит-А»).

Данная работа выполнена при финансовой поддержке в виде гранта президента Российской Федерации МК-2715.2012.8 по теме: «Разработка научных и практических основ повышения эффективности мелкозернистого фибробетона на основе техногенного песка и композиционного вяжущего для промышленного и гражданского строительства».

Лесовик Р.В., Клюев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций

## Литература

1. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: АСВ, 2003. 500 с.
2. Ключев А. В. Отходы горнодобывающих предприятий как сырье для производства мелкозернистого бетона армированного фибрами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 81–84.
3. Ключев А. В. Сталефибробетон для сборно-монолитного строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 60–63.
4. Ключев С. В., Лесовик Р. В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна // Бетон и железобетон. 2011. № 3. С. 7–9.
5. Ключев С. В., Лесовик Р. В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон стекловолокном // Бетон и железобетон. 2011. № 6. С. 4–6.
6. Ключев С. В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 4. С. 71–74.
7. Коротышевский О. В. Расчет сталефибробетона по прочности на осевое растяжение и на растяжение при изгибе // Строительные материалы. 2003. №8. С. 31–33.
8. Пухаренко Ю. В. Принцип формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 10. С. 47–50.
9. Рабинович Ф. Н. Дисперсно армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 174 с.
10. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологи, конструкции. М.: АСВ, 2004. 560 с.
11. Талантова К. В. Основы создания сталефибробетонных конструкций с заданными свойствами // Бетон и железобетон. 2003. № 5. С. 4–8.
12. Талантова К. В. Создание элементов конструкций с заданными свойствами на основе сталефибробетона // Известия вузов. Строительство. Новосибирск. 2008. № 10. С. 4–9.
13. Brandt A. M. Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance // Spon Press; 2 edition. 2009. March. 544 p.
14. Fernandes G. R. La influencia de algunas caracteristicas de las aridas finos (arenas) en la propiedades des hormogon de cemento portland // Cemento e Hormigon. 1976. Vol.47., № 506. Pp. 415–428.
15. Herr O. Les materiaux autocompactants essorables de structure (MACES). Etude de faisabilite d'une nouvelle gamme de materiaux hydrauliques pour les assises de chaussees // Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussees. 2001. № 232. Pp. 99–103.
16. Jeffrey M. Lemm HB Fiber-Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science) // William Andrew; illustrated edition. 1990. Feb. 194 p.
17. Maidl B. Steel Fibre Reinforced Concrete. Wiley-VCH, 1995. 292 p.
18. Piasta J. Rheological Properties of Concretes with Fine Aggregate // Cement and Concrete Research. 1985. Vol. 15. №2. Pp. 253–260.
19. Steopoe A. Sur la structure des suspensions aqueuses des ciments purs ou mélanges et sur les propriestes techniques de ces suspensions durcies // Revue des Materiaux de constructions. 1981. №508. Pp. 1–9.
20. Takemura K. Some Properties of Concrete Using Crushed Stone Pust as Fine Aggregate // The Cement Association of Japan. 13-th General Meeting Technical Session. Tokyo: 1976, YI Review. Pp. 95–97.

*\* Сергей Васильевич Ключев, Белгород, Россия*

*Тел. моб.: +7(951)139-63-27; эл. почта: Klyuyev@yandex.ru*

# Применение быстротвердеющих веществ для формирования противофильтрационных элементов в плотинах из каменных материалов

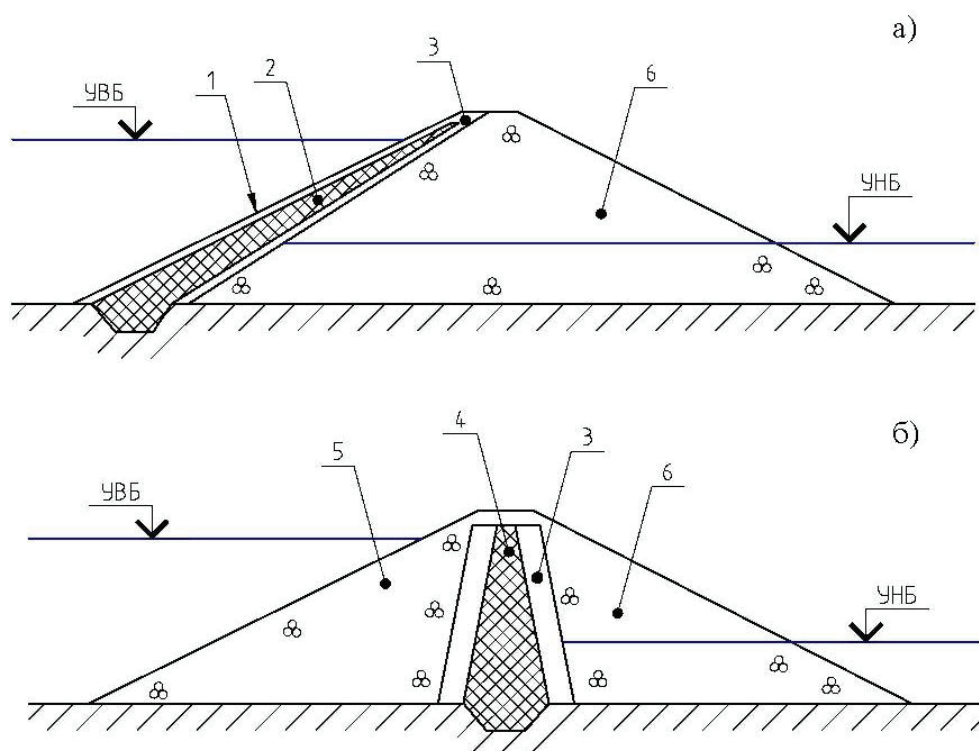
*Д.т.н., профессор М.И. Бальзанников;  
к.т.н., доцент А.А. Михасек\*,*

*ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»*

**Ключевые слова:** гидротехническое строительство; плотины из каменных материалов; противофильтрационный элемент; экспериментальные модельные исследования

В гидротехническом строительстве для создания сосредоточенного напора и образования водохранилищ часто используются плотины из каменных материалов. В сравнении с бетонными плотинами такие сооружения имеют существенные преимущества: при возведении используются местные строительные материалы, добыча которых обходится многократно дешевле, чем приготовление бетона. Кроме того, в большинстве случаев, они имеются в достаточном количестве в непосредственной близости от места строительства. Укладка каменных материалов в тело плотины значительно технологичнее – не требуется устройство опалубки, не возникают сложности в обеспечении требуемого температурного режима и т.п. Все это обуславливает низкую стоимость гидротехнического сооружения.

Вместе с тем, плотины из каменных материалов обладают и существенными недостатками – для уменьшения фильтрации воды непосредственно через тело плотины в их конструкции необходимо предусматривать противофильтрационные устройства. На рис. 1 приведены примеры конструкций таких плотин с противофильтрационным элементом соответственно в виде экрана и ядра.



**Рисунок 1. Схемы поперечного разреза плотин из каменных материалов: а) с экраном; б) с ядром; 1 – крепление верхового откоса; 2 – экран; 3 – переходные слои (обратные фильтры); 4 – ядро (диафрагма); 5 – верховая призма; 6 – низовая призма**

Устройство противофильтрационного элемента является наиболее трудоемким и дорогим видом работ при строительстве плотин из каменных материалов [1-12]. Кроме того, и материал, укладываемый в экран или ядро, имеет значительную стоимость. Все это свидетельствует о необходимости проведения тщательного анализа и обоснования принимаемых конструктивных решений по плотине и, особенно, по противофильтрационному элементу с целью снижения общих затрат на возведение гидротехнического сооружения. Следует отметить, что важно производить взаимную увязку конструктивных решений и технологических особенностей выполнения работ. При этом наиболее целесообразным является создание противофильтрационного элемента совместно с современными конструкциями водосбросных сооружений [13, 14], что значительно повысит надежность гидроузла и позволит снизить стоимость его строительства.

На основе выполненного авторами анализа существующих способов создания противофильтрационных элементов в плотинах из местных строительных материалов [1, 8, 9, 15, 10-12] была разработана новая эффективная технология, предусматривающая введение в каждый уложенный слой плотины раствора быстротвердеющего вещества [16]. Предлагаемая технология возведения плотины и создания противофильтрационного элемента предусматривает: послойную укладку, разравнивание и уплотнение каменного материала в тело плотины; подачу жидкого быстротвердеющего вещества в зону формирования противофильтрационного элемента плотины; проникновение вещества в тело плотины за счет действия гравитации и последующее затвердевание вещества в пористом теле плотины.

В качестве быстротвердеющего вещества могут быть рекомендованы синтетические материалы [1-3]: быстротвердеющие пластмассы, бетонные смеси типа EMACO Nanocrete R4 Fluid. Нами предлагается использовать наиболее доступный и относительно дешевый материал – битум.

Поскольку противофильтрационный элемент по предлагаемой технологии может быть выполнен как в виде экрана, так и в виде ядра, необходимо выполнить сопоставление этих конструктивных вариантов и обосновать наиболее экономичный для практического применения. Анализа затрат по реализации таких конструктивных решений при их выполнении по предлагаемой технологии ранее не проводилось.

Для сравнения вариантов устройства противофильтрационного элемента в виде экрана и ядра целесообразно выполнить три этапа анализа: первый – определить форму области растекания быстротвердеющего вещества в теле плотины, второй – оценить объем этого вещества, расходуемого на формирование противофильтрационного элемента и третий – рассчитать общие затраты по вариантам конструктивных решений устройства противофильтрационного элемента в плотине.

Очевидно, что первый этап является наиболее важным и ответственным. Именно формой области растекания быстротвердеющего вещества в теле плотины определяется и объем вещества и затраты на 1 пог. м противофильтрационного элемента. Для выявления формы области растекания быстротвердеющего вещества потребовалось проведение экспериментальных исследований.

Исследования проникновения и растекания быстротвердеющего вещества проводились в составе нескольких серий. В первой и второй сериях физическая плоская фрагментарная модель тела плотины была выполнена соответственно из песчаного и щебеночного материала. В качестве быстротвердеющего вещества использовался подогретый битум. В модель тела плотины битум проникал под воздействием гравитации из специально выполненной на верхней поверхности модели фрагмента плотины канавки треугольного поперечного сечения. В этих сериях изучался процесс проникновения битума в тело плотины, а также форма битумного пятна, формирующаяся после его затвердевания [17].

Результаты выполненных исследований показали, что форма битумного пятна во фрагменте тела плотины, после его растекания и затвердевания оказывалась близкой к кругу. Такая форма достаточно хорошо подходит для устройства противофильтрационного элемента в виде ядра, поскольку в этом случае послойная укладка каменного материала в тело плотины, устройство канавок друг над другом и подача в них подогретого битума позволит сформировать послойные взаимно перекрывающиеся круговые пятна из затвердевшего битума. Следовательно, будет обеспечено устройство необходимого по толщине надежного противофильтрационного ядра. Однако если каждую выше располагаемую канавку рассмотренной формы устраивать с некоторым смещением относительно ниже расположенной, то есть использовать канавки треугольного поперечного сечения для устройства противофильтрационного элемента в виде наклонного экрана, то сплошной зоны требуемой толщины из битумных пятен добиться практически невозможно. Исключение составляют случаи, когда многократно увеличивают объем подаваемого битума или возведение плотины предусматривают слоями весьма малой высоты. Такие варианты материалоемки и явно неэкономичны.

На основе данных первых двух серий эксперимента сделан вывод о том, что растекание быстротвердеющего вещества для формирования противофильтрационного экрана должно осуществляться из канавки трапецидальной формы.

Более подробные и разноплановые исследования растекания быстротвердеющего вещества были проведены в третьей и четвертой сериях модельных экспериментов. В них была использована щелевая малогабаритная модель тела плотины, которая позволяла достаточно быстро выполнить многочисленные экспериментальные опыты.

Для обеспечения достоверности получаемых опытных данных были проанализированы условия обеспечения подобия изучаемых явлений, разработана методика проведения исследований и выполнено сопоставление результатов с данными исследования на фрагментарной модели.

Методические основы моделирования фильтрационного потока в щелевом лотке освещены в работе В.И. Аравина и С.Н. Нумерова [18]. Метод исследования течения жидкости в щелевой модели основан на аналогии между ламинарным движением жидкости между двумя параллельными пластинками и плоской фильтрацией потока воды в грунте.

Используем формулу коэффициента фильтрации потока в щели [18]:

$$k_m = \frac{ga^2}{3\nu}, \quad (1)$$

где  $k_m$  – коэффициент фильтрации для модели;  $a$  – полуширина щели лотка;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

Тогда для конкретной жидкости с известным коэффициентом кинематической вязкости, можно определить требуемую полуширину щели:

$$a = \sqrt{\frac{3\nu \cdot k_m}{g}}. \quad (2)$$

Коэффициент фильтрации модельного потока определен в соответствии с масштабным коэффициентом моделирования, принятым по основному критерию подобия явлений – числу Рейнольдса:

$$\alpha_k = \alpha_V = \frac{k_n}{k_m} = \frac{V_n}{V_m} = \alpha_l^{-1}, \quad (3)$$

где  $\alpha_l$  – линейный масштаб модели.

Коэффициент фильтрации потока в натурном объекте определен в результате проведения экспериментальных опытов по проникновению битума на фрагментарной модели (первые две серии). Принято среднее значение коэффициента, соответствующее щебеночному материалу 20–40 мм, равное 0.005 м/с. Линейный масштаб модели был принят равным  $\alpha_l = 10$ . Таким образом, коэффициент фильтрации щелевой модели должен соответствовать величине 0.0005 м/с.

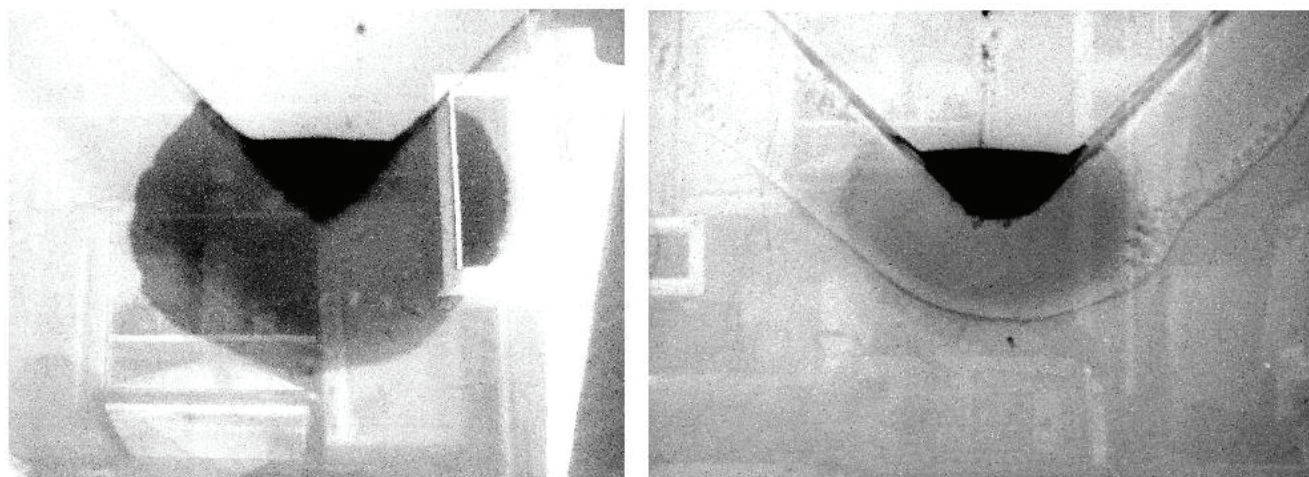
В исследованиях в качестве рабочей жидкости для щелевой модели был использован глицерин с коэффициентом кинематической вязкости равным  $1,5 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$  при температуре 20°C. Для этих условий, принимая во внимание (2), определена величина  $a$ , составившая 0,48 мм. Соответственно ширина щели составила 0,96 мм.

Плоская модель была выполнена из съемных пластин, изготовленных из стеклопластика размерами 200×200 мм, две из которых были склеены силиконом, а третья прижималась с помощью зажимов. Ширина щели определялась и выставлялась при помощи щупов.

Общий вид растекания жидкости приведен на рис. 2.

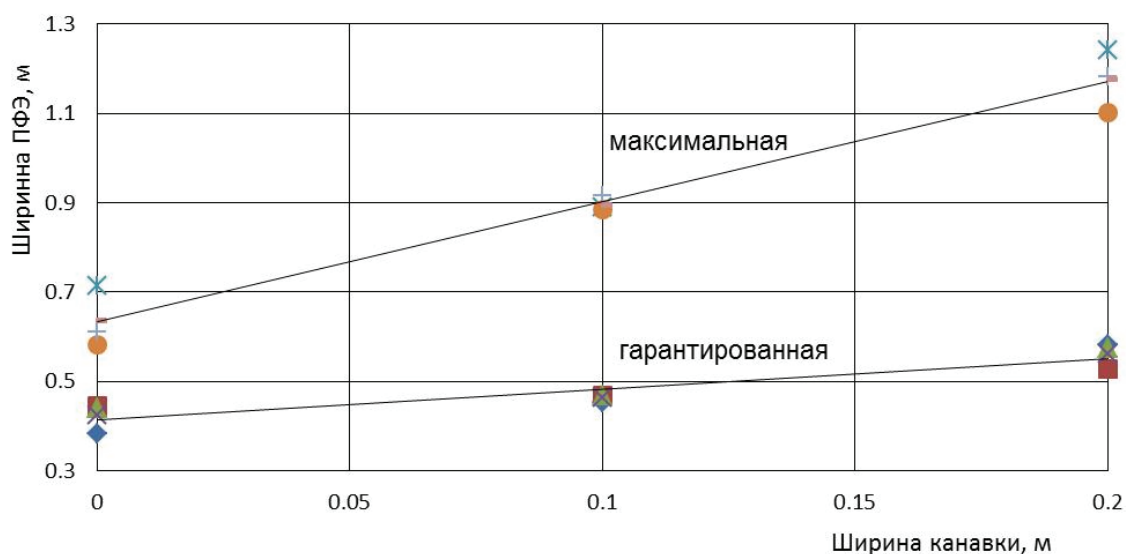
Третья серия опытов была проведена на модели с канавкой треугольной формы. Предварительно объем жидкости в опытах принимался равным 0,5 мл, 0,7 мл и 1,0 мл. Форма и скорость растекания жидкости в щелевой модели определялись с помощью фотофиксирования. Результаты были сопоставлены с данными исследования проникновения битума на фрагментарной модели. Сравнение показало хорошее совпадение по форме и глубине проникновения жидкости.

Канавки трапецевидальной формы были использованы в четвертой серии экспериментальных опытов.



**Рисунок 2. Общий вид растекания жидкости в щелевой модели соответственно для канавки: а) треугольной; б) трапецевидальной**

В результате проведенных исследований на щелевой модели установлено влияние ширины трапецевидальной канавки на гарантированную ширину создаваемого противофльтрационного элемента, обеспечивающую его целостность, и на ширину растекания быстротвердеющего вещества. Соответствующие зависимости представлены в виде графиков на рис. 3.



**Рисунок 3. Зависимость ширины противофльтрационного элемента и ширины растекания быстротвердеющего вещества от ширины канавки (при пересчете модельных данных на натурные условия)**

В результате аппроксимации опытных данных были получены соответствующие аналитические зависимости влияния ширины канавки трапецевидальной форма на гарантированную ширину противофльтрационного элемента (4) и общую ширину растекания вещества (5):

$$T_1 = 0.7b + h, \quad (4)$$

$$T_2 = 2.7b + h, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина канавки;  $h$  – высота слоя, определяемая по методике [17].

Полученные аналитические зависимости позволили определить объемы расходуемого быстротвердеющего вещества на создание противофильтрационного элемента в виде экрана и ядра. Расчеты были выполнены для различных конструктивных параметров противофильтрационного элемента. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

**Таблица 1. Объемы расходуемого вещества на создание 1 пог. м противофильтрационного элемента**

| Нормируемая толщина | Ядро, $b = 0$           |          | Экран с заложением 1:2, $b = 0.4$ |          | Увеличение, % |
|---------------------|-------------------------|----------|-----------------------------------|----------|---------------|
|                     | Гарантированная толщина | Объем, л | Гарантированная толщина           | Объем, л |               |
| 0,2                 | 0.33                    | 71       | 0.61                              | 249      | 72            |
| 0,4                 | 0.67                    | 301      | 0.94                              | 621      | 52            |
| 0,5                 | 0.83                    | 480      | 1.11                              | 873      | 45            |
| 0,8                 | 1.33                    | 1282     | 1.61                              | 1900     | 33            |
| 1,0                 | 1.67                    | 2045     | 1.94                              | 2816     | 27            |

Из таблицы 1 следует, что объем быстротвердеющего вещества, расходуемого на создание экрана, на 27-72% превышает объем вещества, требуемого для создания ядра. Поскольку технология создания противофильтрационного элемента в виде экрана и ядра практически не отличается по набору технологических операций и используемому строительному оборудованию, то и величины затрат на их устройство можно считать прямо пропорциональными объемам вводимого в тело плотины вещества.

Если долю затрат на создание противофильтрационного элемента плотины принять равной 30% общей стоимости возведения плотины, то экономический эффект может быть оценен в размере 9-24%.

### Выводы

1. В практике гидротехнического строительства большое распространение получили плотины из каменных материалов. Это связано с их существенными преимуществами по сравнению с бетонными: использование местных строительных материалов, технологичность, низкая стоимость. Вместе с тем, для плотин из каменных материалов необходимо предусматривать противофильтрационные элементы в виде экрана или ядра.

2. Устройство противофильтрационного элемента является наиболее трудоемким и дорогим видом работ при строительстве плотин из каменных материалов. К тому же и сам материал, укладываемый в экран или ядро, имеет значительную стоимость. Это свидетельствует о существенном резерве по дальнейшему снижению стоимости таких плотин за счет удешевления работ по возведению противофильтрационного элемента.

3. Авторами разработана новая эффективная технология возведения плотины из каменных материалов, предусматривающая для формирования противофильтрационного элемента введение в каждый уложенный слой плотины раствора быстротвердеющего вещества.

4. Выполнены экспериментальные исследования предложенной технологии возведения плотин на фрагментарной и щелевой моделях. Результаты выявили влияние формы и параметров исходной канавки для пролива жидкости на параметры проникновения модельной жидкости в модель тела плотины.

5. Проведены сопоставительные расчеты требуемого объема быстротвердеющего вещества для формирования противофильтрационного элемента в виде экрана или ядра. Их анализ показал, что при устройстве экрана потребуется быстротвердеющее вещество в значительно большем объеме – на 27-72%, чем при устройстве ядра. Снижение общей стоимости возведения плотины в соответствии с разработанной технологией и реализацией противофильтрационного элемента в виде ядра может составить 9-24%.

## Литература

1. Айрапетян Р. А. Проектирование каменно-земляных и каменно-набросных плотин. М.: Энергия, 1975. 327 с.
2. Виззер И. У., Шоениан Е., Поскит Ф. Ф. Анализ применения битумных материалов в строительстве плотин из грунтовых материалов // «Технический прогресс в проектировании и строительстве высоких плотин». Материалы X Международного конгресса по большим плотинам. М.: Энергия, 1975. С. 102-114.
3. Wang W., Höeg K. Method of Compaction Has Significant Effects on Stress-Strain Behavior of Hydraulic Asphalt Concrete // Journal of Testing and Evaluation. 2009. Vol. 37, No. 3. Pp. 264-274.
4. Pinto N. de S. The Design and Construction of Extra High CFRDs // The International Journal on Hydropower and Dams. 2009. Vol.16, Iss. 3. Pp. 41-44.
5. Johannesson P. Slab Performance on a Few CFRDs and Suggested Improvements in Slab Design // Proc. International Symposium on Key Techniques for Dam Construction. Yichang, P.R. of China: 2007. Pp. 322-353.
6. Höeg K., Valstad T., Kjaernsli B., Ruud, A. M. Asphalt Core Embankment Dams: Recent Case Studies and Research // International Journal on Hydropower and Dams. 2007. Vol.13, Issue 5. Pp. 112-119.
7. Hao Y. L., He S. B. Design of the Yele Asphalt Core Rockfill Dam // Dam Construction in China – State of the Art. 2008. Pp. 226-233.
8. Saxegaard H. Asphalt Core Dams: Increased Productivity to Improve Speed of Construction // International Journal on Hydropower and Dams. 2002. Vol. 9, Issue 6. Pp. 72-74.
9. Breth H. Measurements on a rockfill dam with bituminous concrete diaphragm // Transactions of 8th Int. Congress on Large Dams. Paris: ICOLD Press, 1964. Pp. 305-315.
10. Feizi-Khankandi S., Ghalandarzadeh A., Mirghasemi A. A., Höeg K. Seismic Analysis of the Garmrood Embankment Dam with Asphaltic Concrete Core // Soils and Foundations. Japanese Geotechnical Society. 2009. Vol. 49(2). Pp.153-166.
11. Alicescu V., Tournier J. P., Yannobel P. Design and construction of Nemiscau-1 Dam, the first asphalt core rockfill dam in North America // Proceedings of CDA 2008 Annual Conference, Canadian Dam Association. MB, Canada: 2008. Pp. 1-11.
12. Pircher W., Schwab H. Design, construction, and behavior of the asphaltic concrete core wall of the Finstertal Dam // Transactions, 16th Int. Congress on Large Dams. Paris: ICOLD Press, 1988. Pp. 901-924.
13. Патент РФ 2432432, МПК E02B7/06. Переливная грунтовая плотина / Бальзанников М. И., Родионов М. В. Заявка № 2010126843. Опубл. 2011. Бюл. № 30.
14. Бальзанников М. И., Родионов М. В. Результаты исследования грунтовой переливной плотины со ступенчато-криволинейным низовым откосом // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. 2012. № 2. С 70-76.
15. Мещерякова З. В., Вундер Н. Я., Михасек А. А. Перспективы развития малой гидроэнергетики в Самарской области // Międzynarodowa konferencja naukowa II Okrągły stół Hydroenergetyki Wisła – Wołga. Włocławek: 2004. С. 112-114.
16. Патент РФ 2330140, В 09 В 7/00. Способ возведения плотины / Бальзанников М. И., Шабанов В. А., Михасек А. А. 2008. Бюлл. № 21.
17. Шабанов В. А., Михасек А. А. Экспериментальное исследование проникновения вязкой жидкости в пористую среду // Известия вузов. Строительство. 2006. № 11-12. С. 52-56.
18. Аравин В. И., Нумеров С. Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. М.: Гостехиздат, 1953. 616 с.

*\* Андрей Александрович Михасек, г. Самара, Россия*

*Тел. раб.: (846) 242-21-71; эл. почта: sgasu@sgasu.smr.ru*

## Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения

**Советник генерального директора Г.П. Петраков\*,**  
*Группа компаний «Сто Третий Трест»*

**Ключевые слова:** тепловые сети; полимерные трубы; термостойкий полиэтилен; сшитый полиэтилен; долгосрочная гидростатическая устойчивость; срок службы

Повышенная аварийность российских систем теплоснабжения, которая наблюдается в настоящее время, обусловлена применением в 1980-1990-х годах канальной прокладки трубопроводов и использованием недолговечных теплоизоляционных материалов. Плохая гидроизоляция и гидрофобизация волокнистых материалов при длительной эксплуатации не защищают теплоизоляцию от увлажнения, а стальные теплопроводы – от коррозии. Повышение надежности эксплуатации тепловых сетей может быть достигнуто посредством применения более коррозионностойких труб (из нержавеющей стали) или антикоррозионных труб (из пластика), нанесения пенополиуретановой (ППУ) теплоизоляции и полиэтиленовой гидрозащитной оболочки в заводских условиях [1].

В последнее десятилетие в России возрос интерес к полимерным (пластиковым) трубам с точки зрения их применения в тепловых сетях районных поселений и кварталов крупных городов. Эксплуатационные свойства пластиковых труб позволяют производить их укладку в грунт практически без учета теплового расширения, с небольшими радиусами изгиба, при этом отсутствует необходимость установки неподвижных опор (кроме мест установки запорной арматуры, отводов, тройников и вводов в здания и сооружения). Анализ имеющихся на рынке труб из полимерных материалов показывает, что их можно использовать при температуре до 95 °С и рабочем давлении до 1,0 МПа [2-18].

Наиболее перспективными пластиковыми трубами являются трубы из PE-RT (polyethylene of raised temperature resistance – полиэтилен с повышенным температурным сопротивлением и устойчивостью к старению) и PE-X (cross-linked polyethylene – сшитый полиэтилен или полиэтилен высокой плотности с перекрестными связями) [8-18].

Трубы из PE-RT обладают долгосрочной гидростатической устойчивостью (способностью препятствовать проникновению жидкости сквозь материал под влиянием давления) при высоких температурах, не имея при этом молекулярной сшивки. Это выражается в значительных технологических преимуществах (возможность сварки) по сравнению со сшиваемыми системами (PE-X), а также в снижении стоимости труб.

В настоящее время для производства пластика PE-RT тип II в компании «The Dow Chemical Company» разработана уникальная двухреакторная технология сополимеризации октена с этиленом с использованием металлоценовых катализаторов, которая позволила поднять на новый уровень гидростатическую устойчивость термостойкого полиэтилена.

Применение стеклопластиковых (композитных) труб типа GRE (glassfiber reinforced epoxy – стеклопластик на эпоксидном связующем) и GRP (glassfiber reinforced plastics – стеклопластик на винилполиэфирном связующем) в тепловых сетях нецелесообразно, так как для них требуется установка неподвижных опор и оборудования, компенсирующего тепловое расширение. Стеклопластиковые трубы могут использоваться в качестве футляров для прокладки полиэтиленовых труб под автомобильными и железными дорогами [19].

Надежность систем теплоснабжения напрямую зависит от срока службы теплопроводов, который в среднем по стране пока не превышает 15-ти лет. Применение пластиковых труб позволяет увеличивать срок службы до 30-ти лет и более [19], поэтому определение нормативного срока службы пластиковых труб представляет большой практический интерес.

Целью этой статьи является определение срока службы полимерных теплопроводов из PE-RT и PE-X при температуре до 110 °С на основании методик, приведенных в отечественных и зарубежных стандартах.

## Срок службы пластиковых труб

Быстрота износа теплопровода зависит от интенсивности воздействия механических напряжений и химических веществ из внутренней и внешней среды. Напряжение в трубе может возникать из-за внутреннего давления среды или под действием внешних факторов (изгиб, сдвиг и пр.). Эти напряжения могут быть постоянными или переменными. Воздействие внешних или внутренних химических веществ, изменения температуры и напряжений в совокупности влияют на срок службы теплопровода.

Полимерные трубы имеют жесткие ограничения по рабочему давлению, напрямую зависящему от средней температуры всего срока эксплуатации и от максимального диаметра трубы. Расчет эксплуатационных характеристик (кольцевое напряжение, максимальное давление) производится по методу расчета накопленных повреждений с помощью правила Майнера, разработанному в рамках DIN EN ISO 13760 [20].

Один из критериев срока службы – это устойчивость к напряжению от постоянного внутреннего давления при заданном температурном профиле. Она может быть исследована с помощью гидростатического и термического стресс-тестирования.

Определение зависимостей напряжения от времени разрыва трубы, их применение для оценки срока службы пластиковой трубы разработаны в рамках стандартов ANSI/ASTM D 2837 [21] и ISO 9080 [22].

Пример расчета срока службы по правилу Майнера можно найти в Приложении А к ГОСТ Р 52134 [23].

Испытания образцов пластиковой трубы на гидростатическую устойчивость при различных внутренних давлениях и температурах в лабораторных условиях позволяют получить данные о времени разрыва трубы. Однако эти данные не образуют прямой линии при построении графика в декартовых координатах. Представление напряжения и времени разрыва в логарифмических координатах привело к линеаризации графика и возможности использования регрессионного анализа для прогнозирования срока службы пластиковой трубы.

При анализе результатов испытаний по ISO 9080 [22] получают четыре коэффициента, описывающие скорость регрессии кольцевого напряжения, которые необходимы для расчета максимального рабочего давления при заданном SDR (standard dimensional ratio – стандартное размерное отношение, численно равное отношению номинального наружного диаметра трубы к номинальной толщине стенки). Максимальное рабочее давление для пластиковой трубы определяется после расчета максимального срока службы при заданном температурном профиле.

Действительным обоснованием по ISO 9080 [22] максимального срока службы пластиковой трубы в 50 лет могут служить данные, полученные в течение установленного испытательного периода и при определенной максимальной температуре (см. таблицу 1).

**Таблица 1. Период и температура испытаний по ISO 9080 [22]**

| Период и температура испытаний по ISO 9080 |                           | Эксплуатационные параметры |                         |
|--------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| период испытаний, год/час                  | температура испытаний, °C | срок службы, лет           | рабочая температура, °C |
| 0,1 / 1000                                 | 95                        | 11                         | 45                      |
| 1,0 / 8760                                 | 95                        | 50                         | 55                      |
| 1,8 / 15786                                | 95                        | 50                         | 60                      |
| 2,7 / 23652                                | 95                        | 50                         | 65                      |
| 1,0 / 8760                                 | 110                       | 50                         | 70                      |
| 1,8 / 15786                                | 110                       | 50                         | 75                      |
| 2,7 / 23652                                | 110                       | 50                         | 80                      |
| 12,5 / 109500                              | 110                       | 50                         | 95                      |

Для пластиковых труб, применяемых в российских системах теплоснабжения, определение максимального срока службы должно выполняться согласно методике, приведенной в Приложении А ГОСТ Р 52134 [23], с помощью правила Майнера (см. DIN EN ISO 13760 [20]). Качество ППУ изоляции пластиковых труб регламентируется ГОСТ Р 54468 [24] и DIN EN 15632 [25, 26].

Значения срока службы при непрерывном действии определенных параметров теплоносителя для пластиковых труб, применяемых в тепловых сетях, должно соответствовать 5-му классу эксплуатации по ГОСТ Р 52134 [23] и DIN EN 15632 [25, 26] (см. таблицу 2).

Таблица 2. Характеристики 5-го класса эксплуатации по ГОСТ Р 52134 [23]

| Класс эксплуатации | $T_{\text{раб.}}, ^\circ\text{C}$ | Время при $T_{\text{раб.}}, \text{год}$ | $T_{\text{макс.}}, ^\circ\text{C}$ | Время при $T_{\text{макс.}}, \text{год}$ | $T_{\text{авар.}}, ^\circ\text{C}$ | Время при $T_{\text{авар.}}, \text{ч}$ | Область применения             |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| 5                  | 20                                | 14                                      | 90                                 | 1                                        | 100                                | 100                                    | Высоко-температурное отопление |
|                    | 60                                | 25                                      |                                    |                                          |                                    |                                        |                                |
|                    | 80                                | 10                                      |                                    |                                          |                                    |                                        |                                |

Возможный вариант режима работы тепловых сетей по графику температур 105/70 °C для Санкт-Петербурга (Россия) представлен в таблице 3.

Таблица 3. Вариант режима работы для Санкт-Петербурга (Россия)

| Температура наружного воздуха $T_{\text{н.в.}}, ^\circ\text{C}$ | Рабочая температура для подающего трубопровода $T_{1\text{раб.}}, ^\circ\text{C}$ | Рабочая температура для обратного трубопровода $T_{2\text{раб.}}, ^\circ\text{C}$ | Время работы (в год) при $T_{\text{раб.}}, \text{ч}$ | Доля времени работы при $T_{\text{раб.}}$ от общего времени, % |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| -26,0                                                           | 105                                                                               | 70                                                                                | 9                                                    | 0,10                                                           |
| -25,0                                                           | 103                                                                               | 69                                                                                | 26                                                   | 0,30                                                           |
| -24,0                                                           | 101                                                                               | 68                                                                                |                                                      |                                                                |
| -23,0                                                           | 100                                                                               | 67                                                                                | 44                                                   | 0,50                                                           |
| -22,0                                                           | 98                                                                                | 66                                                                                |                                                      |                                                                |
| -21,0                                                           | 96                                                                                | 65                                                                                | 53                                                   | 0,60                                                           |
| -20,0                                                           | 94                                                                                | 64                                                                                |                                                      |                                                                |
| -19,0                                                           | 92                                                                                | 63                                                                                | 61                                                   | 0,70                                                           |
| -18,0                                                           | 90                                                                                | 62                                                                                |                                                      |                                                                |
| -17,0                                                           | 89                                                                                | 61                                                                                | 79                                                   | 0,90                                                           |
| -16,0                                                           | 87                                                                                | 60                                                                                |                                                      |                                                                |
| -15,0                                                           | 85                                                                                | 59                                                                                | 123                                                  | 1,40                                                           |
| -14,0                                                           | 83                                                                                | 58                                                                                |                                                      |                                                                |
| -13,0                                                           | 81                                                                                | 57                                                                                | 140                                                  | 1,60                                                           |
| -12,0                                                           | 79                                                                                | 56                                                                                |                                                      |                                                                |
| -11,0                                                           | 77                                                                                | 55                                                                                | 193                                                  | 2,20                                                           |
| -10,0                                                           | 75                                                                                | 54                                                                                |                                                      |                                                                |
| -9,0                                                            | 73                                                                                | 52                                                                                | 219                                                  | 2,50                                                           |
| -8,0                                                            | 71                                                                                | 51                                                                                |                                                      |                                                                |
| -7,0                                                            | 69                                                                                | 50                                                                                | 316                                                  | 3,60                                                           |
| -6,67                                                           | 69                                                                                | 50                                                                                |                                                      |                                                                |
| -6,33                                                           | 68                                                                                | 49                                                                                |                                                      |                                                                |
| -6,0                                                            | 67                                                                                | 49                                                                                |                                                      |                                                                |
| -5,67                                                           | 67                                                                                | 49                                                                                | 376                                                  | 4,29                                                           |
| -5,33                                                           | 66                                                                                | 48                                                                                |                                                      |                                                                |
| -5,0                                                            | 65                                                                                | 48                                                                                |                                                      |                                                                |
| -4,50                                                           | 64                                                                                | 47                                                                                |                                                      |                                                                |
| -4,0                                                            | 63                                                                                | 47                                                                                |                                                      |                                                                |
| -3,67                                                           | 63                                                                                | 46                                                                                | 438                                                  | 5,00                                                           |
| -3,33                                                           | 62                                                                                | 46                                                                                |                                                      |                                                                |
| -3,0                                                            | 61                                                                                | 46                                                                                |                                                      |                                                                |
| -2,50                                                           | 60                                                                                | 45                                                                                |                                                      |                                                                |
| -2,0                                                            | 59                                                                                | 44                                                                                | 587                                                  | 6,69                                                           |
| -1,67                                                           | 59                                                                                | 44                                                                                |                                                      |                                                                |
| -1,33                                                           | 58                                                                                | 44                                                                                |                                                      |                                                                |
| -1,0                                                            | 57                                                                                | 43                                                                                |                                                      |                                                                |
| -0,67                                                           | 57                                                                                | 43                                                                                |                                                      |                                                                |
| -0,33                                                           | 56                                                                                | 42                                                                                |                                                      |                                                                |
| 0,0                                                             | 55                                                                                | 42                                                                                | 879                                                  | 10,03                                                          |

Петраков Г.П. Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения

| Температура наружного воздуха $T_{н.в.}, ^\circ\text{C}$ | Рабочая температура для подающего трубопровода $T_{1\text{раб.}}, ^\circ\text{C}$ | Рабочая температура для обратного трубопровода $T_{2\text{раб.}}, ^\circ\text{C}$ | Время работы (в год) при $T_{\text{раб.}}, \text{ч}$ | Доля времени работы при $T_{\text{раб.}}$ от общего времени, % |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0,50                                                     | 54                                                                                | 41                                                                                |                                                      |                                                                |
| 1,0                                                      | 53                                                                                | 41                                                                                |                                                      |                                                                |
| 1,33                                                     | 53                                                                                | 40                                                                                |                                                      |                                                                |
| 1,67                                                     | 52                                                                                | 40                                                                                |                                                      |                                                                |
| 2,0                                                      | 51                                                                                | 39                                                                                |                                                      |                                                                |
| 2,33                                                     | 50                                                                                | 39                                                                                | 719                                                  | 8,20                                                           |
| 2,67                                                     | 50                                                                                | 39                                                                                |                                                      |                                                                |
| 3,0                                                      | 49                                                                                | 38                                                                                |                                                      |                                                                |
| 3,50                                                     | 48                                                                                | 38                                                                                |                                                      |                                                                |
| 4,0                                                      | 47                                                                                | 37                                                                                |                                                      |                                                                |
| 4,33                                                     | 46                                                                                | 36                                                                                | 535                                                  | 6,10                                                           |
| 4,67                                                     | 45                                                                                | 36                                                                                |                                                      |                                                                |
| 5,0                                                      | 45                                                                                | 35                                                                                |                                                      |                                                                |
| 6,0                                                      | 42                                                                                | 34                                                                                | 456                                                  | 5,20                                                           |
| 7,0                                                      | 40                                                                                | 33                                                                                |                                                      |                                                                |
| 8,0                                                      | 38                                                                                | 31                                                                                | 465                                                  | 5,30                                                           |
| 9,0                                                      | 36                                                                                | 30                                                                                |                                                      |                                                                |
| $\geq 10,0$                                              | $\leq 33$                                                                         | $\leq 28$                                                                         | 3050                                                 | 34,79                                                          |

Для примера выполнения расчета в качестве технических характеристик пластиковой трубы в ППУ изоляции рассмотрим характеристики трубы ПЛАСТФЛЕКС SDR 7,4 из Dowlex™ PE-RT тип II по ТУ 2248-017-70629337-2010 ООО «Изосталь» (г. Санкт-Петербург). Расчет выполним для подающего трубопровода тепловой сети согласно Приложению А ГОСТ Р 52134 [23] и РТП 02-01 [27].

Рабочее кольцевое напряжение в стенке трубы определяется по формуле:

$$\sigma_s = P_{\text{раб}} (SDR - 1) / 2, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{раб}}$  – максимальное рабочее давление в первом приближении, МПа;

$SDR = D / S$  – стандартное размерное отношение ( $D$  – наружный диаметр,  $S$  – толщина стенки).

Для каждой группы температур определяется минимальная длительная прочность (кольцевое напряжение с учетом запаса прочности) при рабочей температуре по формуле:

$$\sigma = C \sigma_s, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где  $C$  – коэффициент запаса прочности:

$C = 1,5$  – при рабочей температуре (время действия температуры в течение года – около 98 %);

$C = 1,3$  – при максимальной температуре (время действия температуры в течение года – 2 %);

$C = 1,0$  – при аварийной температуре.

Для каждой температуры и кольцевого напряжения при помощи логарифмической зависимости определяется время, которое труба может выдержать без разрушения (см. DIN EN ISO 22391-2 [28]):

$$\lg(t_i) = -219 - \frac{62600,752 \cdot \lg(\sigma_i)}{T_i} + \frac{90635,353}{T_i} + 126,387 \cdot \lg(\sigma_i), \text{ т.е. } t_i = 10^{\lg(t_i)}, \text{ ч}, \quad (3)$$

где  $T_i$  – температура в градусах Кельвина ( $0^\circ\text{C} = 273,15^\circ\text{K}$ ).

Определяется процентная доля воздействия каждой температуры в течение года по формуле:

$$a_i = \tau_i / \tau_2, \quad (4)$$

где  $\tau_i$  – длительность воздействия данной температуры в течение года, ч;

$\tau_2$  – длительность года, ч.

Определяется максимальный срок службы трубы (расчет выполняется в часах, а окончательный результат переводится в годы) по формуле:

$$t_x = \frac{1}{8766 \cdot \sum_i (a_i / t_i)}, \text{ лет.} \quad (5)$$

Методом последовательных приближений, изменяя максимальное рабочее давление, по формулам (1)-(5) находим вариант, при котором максимальный срок службы трубы ПЛАСТФЛЕКС SDR 7,4 из PE-RT тип II по ТУ 2248-017-70629337-2010 составляет 50 лет (см. таблицу 3).

Если в качестве технических характеристик пластиковой трубы в ППУ изоляции рассмотреть характеристики трубы ПЛАСТФЛЕКС SDR 7,4 из PE-RT тип II DOWLEX™ 2388, то время, которое труба может выдержать без разрушения, вычисляется через логарифмическую зависимость (см. рисунок 1, Report EXOVA/P-11/73 [29]):

$$\lg(t_i) = -224,36 - \frac{67711,171 \cdot \lg(\sigma_i)}{T_i} + \frac{92752,63}{T_i} - 144,766 \cdot \lg(\sigma_i), \text{ т.е. } t_i = 10^{\lg(t_i)}, \text{ ч.} \quad (6)$$

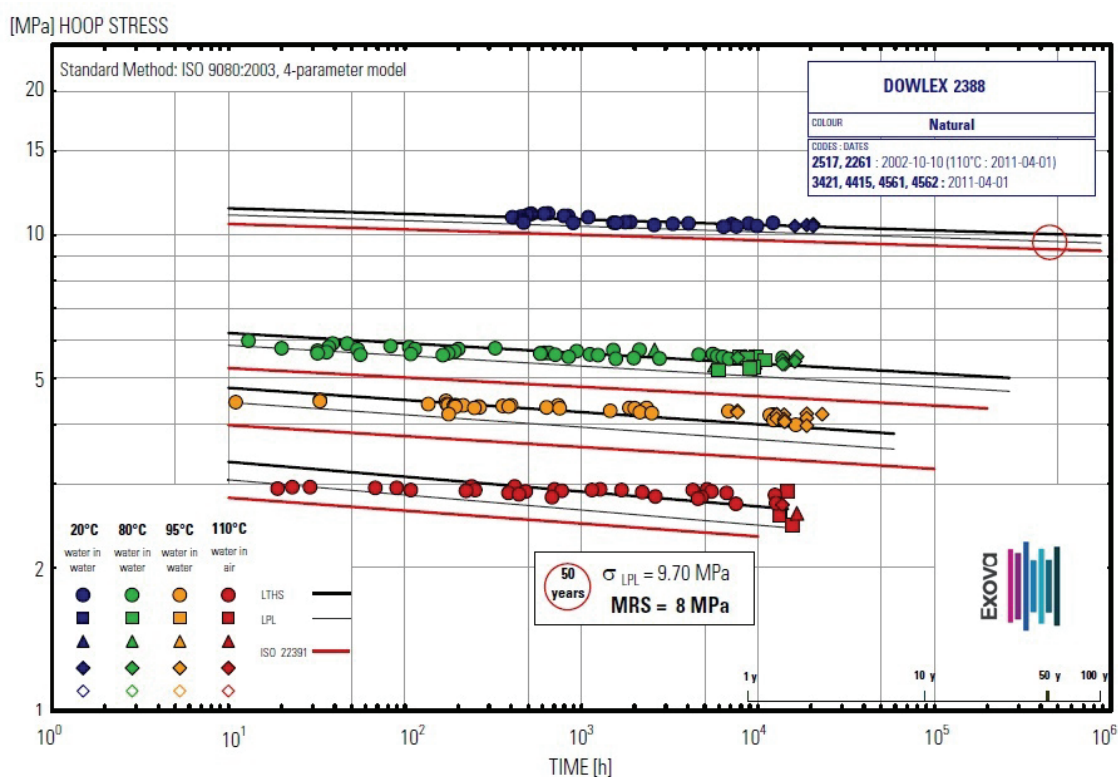


Рисунок 1. График длительной прочности трубы из PE-RT тип II DOWLEX™ 2388

Аналогичные действия выполняем для трубы ПЛАСТФЛЕКС SDR 7,4 из DOWLEX™ 2388. Методом последовательных приближений, изменяя максимальное рабочее давление, по формулам (1), (2), (4)-(6) находим вариант, при котором ее максимальный срок службы составляет 50 лет (см. таблицу 3).

Если в качестве технических характеристик пластиковой трубы в ППУ изоляции рассмотреть характеристики трубы ИЗОПРОФЛЕКС SDR 7,4 из PE-X по ТУ 2248-021-40270293-2005 (для температуры до 95 °С) либо по ТУ 2248-001-48532278-2011 (для температуры до 115 °С, без учета армирующей сетки Kevlar) ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт» (г. Москва), то время, которое труба может выдержать без разрушения, вычисляется через следующие логарифмические зависимости:

$$\lg(t_i) = -105,8618 - \frac{18506,15 \cdot \lg(\sigma_i)}{T_i} + \frac{57895,49}{T_i} - 24,7997 \cdot \lg(\sigma_i), \text{ т.е. } t_i = 10^{\lg(t_i)}, \text{ ч.} \quad (7)$$

$$\lg(t_i) = 37,4958 - 84,0336 \cdot \lg(\sigma_i), \text{ т.е. } t_i = 10^{\lg(t_i)}, \text{ ч.} \quad (8)$$

Формула (7) применима для температур 10-95 °С (см. ГОСТ Р 52134 [23], DIN EN ISO 15875-2 [30]), формула (8) – для температур от 95-110 °С (coefficients of reference curve for expected strength from program of «EXOVA» according to Figure 1 of DIN EN ISO 15875-2 [30]).

Петраков Г.П. Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения

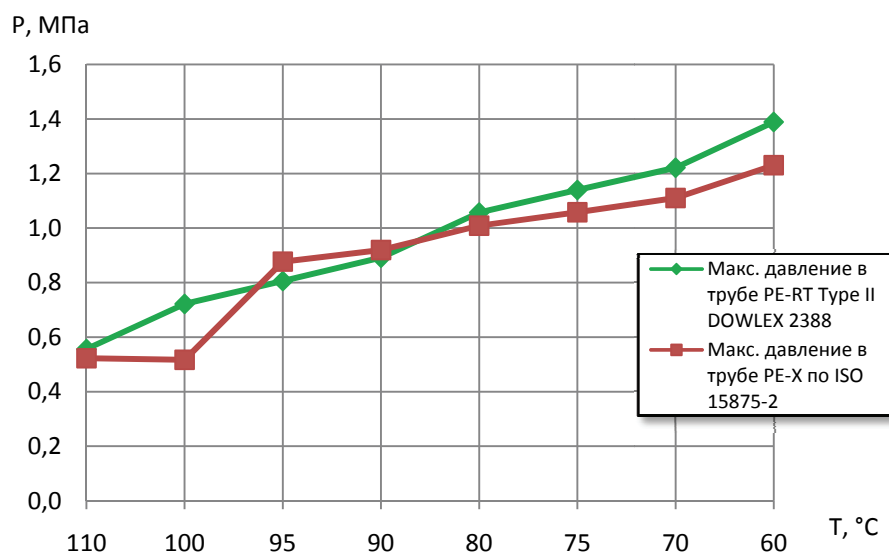
Методом последовательных приближений, изменяя максимальное рабочее давление, по формулам (1), (2), (4), (5), (7), (8) находим вариант, при котором максимальный срок службы пластиковой трубы из PE-X составляет 50 лет (см. таблицу 4).

**Таблица 4. Расчетные характеристики пластиковых труб**

| Температура наружного воздуха $T_{н.в.}, ^\circ\text{C}$ | Рабочая температура, $^\circ\text{C}$ | Доля воздействия каждой температуры, % | Коэффициент запаса прочности | Значение $(a/t_i)$ для трубы SDR 7,4 из PE-RT тип II DOWLEX™ 2388, $\text{ч}^{-1}$ | Значение $(a/t_i)$ для трубы SDR 7,4 из PE-X, $\text{ч}^{-1}$ |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| -26,0                                                    | 105                                   | 0,1                                    | 1,3                          | 1,70E-06                                                                           | 1,95E-07                                                      |
| -25,0                                                    | 103                                   | 0,1                                    | 1,3                          | 4,63E-07                                                                           | 2,81E-07                                                      |
| -24,0                                                    | 101                                   | 0,1                                    | 1,3                          | 8,59E-08                                                                           | 2,81E-07                                                      |
| -23,0                                                    | 100                                   | 0,3                                    | 1,3                          | 2,63E-08                                                                           | 4,76E-07                                                      |
| -22,0                                                    | 98                                    | 0,3                                    | 1,3                          | 4,68E-09                                                                           | 4,76E-07                                                      |
| -21,0                                                    | 96                                    | 0,3                                    | 1,3                          | 9,77E-10                                                                           | 5,73E-07                                                      |
| -20,0                                                    | 94                                    | 0,3                                    | 1,3                          | 1,65E-10                                                                           | 8,10E-25                                                      |
| -19,0                                                    | 92                                    | 0,3                                    | 1,3                          | 3,11E-11                                                                           | 1,88E-25                                                      |
| -18,0                                                    | 90                                    | 0,3                                    | 1,5                          | 1,90E-09                                                                           | 1,89E-21                                                      |
| -17,0                                                    | 89                                    | 0,5                                    | 1,5                          | 4,41E-10                                                                           | 4,91E-22                                                      |
| -16,0                                                    | 87                                    | 0,5                                    | 1,5                          | 7,71E-11                                                                           | 9,60E-23                                                      |
| -15,0                                                    | 85                                    | 0,7                                    | 1,5                          | 2,04E-11                                                                           | 2,85E-23                                                      |
| -14,0                                                    | 83                                    | 0,7                                    | 1,5                          | 3,40E-12                                                                           | 5,34E-24                                                      |
| -13,0                                                    | 81                                    | 0,8                                    | 1,5                          | 6,20E-13                                                                           | 1,10E-24                                                      |
| -12,0                                                    | 79                                    | 0,8                                    | 1,5                          | 9,76E-14                                                                           | 1,95E-25                                                      |
| -11,0                                                    | 77                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 2,03E-14                                                                           | 4,59E-26                                                      |
| -10,0                                                    | 75                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 3,01E-15                                                                           | 7,69E-27                                                      |
| -9,0                                                     | 73                                    | 1,2                                    | 1,5                          | 4,85E-16                                                                           | 1,41E-27                                                      |
| -8,0                                                     | 71                                    | 1,2                                    | 1,5                          | 6,74E-17                                                                           | 2,22E-28                                                      |
| -7,0                                                     | 69                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 6,47E-18                                                                           | 2,43E-29                                                      |
| -6,7                                                     | 69                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 3,30E-18                                                                           | 1,30E-29                                                      |
| -6,3                                                     | 68                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 1,64E-18                                                                           | 6,75E-30                                                      |
| -6,0                                                     | 67                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 8,33E-19                                                                           | 3,58E-30                                                      |
| -5,7                                                     | 67                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 3,97E-19                                                                           | 1,78E-30                                                      |
| -5,3                                                     | 66                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 1,96E-19                                                                           | 9,22E-31                                                      |
| -5,0                                                     | 65                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 9,76E-20                                                                           | 4,80E-31                                                      |
| -4,5                                                     | 64                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 3,41E-20                                                                           | 1,80E-31                                                      |
| -4,0                                                     | 63                                    | 0,9                                    | 1,5                          | 1,17E-20                                                                           | 6,62E-32                                                      |
| -3,7                                                     | 63                                    | 1,2                                    | 1,5                          | 8,30E-21                                                                           | 4,92E-32                                                      |
| -3,3                                                     | 62                                    | 1,2                                    | 1,5                          | 3,99E-21                                                                           | 2,48E-32                                                      |
| -3,0                                                     | 61                                    | 1,2                                    | 1,5                          | 1,93E-21                                                                           | 1,26E-32                                                      |
| -2,5                                                     | 60                                    | 1,2                                    | 1,5                          | 6,43E-22                                                                           | 4,50E-33                                                      |
| -2,0                                                     | 59                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 1,90E-22                                                                           | 1,43E-33                                                      |
| -1,7                                                     | 59                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 9,01E-23                                                                           | 7,11E-34                                                      |
| -1,3                                                     | 58                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 4,20E-23                                                                           | 3,48E-34                                                      |
| -1,0                                                     | 57                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 1,98E-23                                                                           | 1,72E-34                                                      |
| -0,7                                                     | 57                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 9,27E-24                                                                           | 8,48E-35                                                      |
| -0,3                                                     | 56                                    | 1,1                                    | 1,5                          | 4,24E-24                                                                           | 4,08E-35                                                      |
| 0,0                                                      | 55                                    | 2,0                                    | 1,5                          | 3,55E-24                                                                           | 3,59E-35                                                      |
| 0,5                                                      | 54                                    | 2,0                                    | 1,5                          | 1,10E-24                                                                           | 1,20E-35                                                      |
| 1,0                                                      | 53                                    | 2,0                                    | 1,5                          | 3,36E-25                                                                           | 3,96E-36                                                      |
| 1,3                                                      | 53                                    | 2,0                                    | 1,5                          | 1,51E-25                                                                           | 1,88E-36                                                      |
| 1,7                                                      | 52                                    | 2,0                                    | 1,5                          | 6,69E-26                                                                           | 8,76E-37                                                      |

| Температура<br>наружного<br>воздуха $T_{н.в.},$<br>°C | Рабочая<br>температура,<br>°C | Доля<br>воздействия<br>каждой<br>температуры, % | Коэффициент<br>запаса<br>прочности | Значение ( $a_i/t_i$ )<br>для трубы SDR 7,4<br>из PE-RT тип II<br>DOWLEX™ 2388, ч <sup>-1</sup> | Значение ( $a_i/t_i$ )<br>для трубы<br>SDR 7,4<br>из PE-X, ч <sup>-1</sup> |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 2,0                                                   | 51                            | 1,6                                             | 1,5                                | 2,44E-26                                                                                        | 3,37E-37                                                                   |
| 2,3                                                   | 50                            | 1,6                                             | 1,5                                | 1,09E-26                                                                                        | 1,58E-37                                                                   |
| 2,7                                                   | 50                            | 1,6                                             | 1,5                                | 4,70E-27                                                                                        | 7,23E-38                                                                   |
| 3,0                                                   | 49                            | 1,6                                             | 1,5                                | 2,08E-27                                                                                        | 3,37E-38                                                                   |
| 3,5                                                   | 48                            | 1,6                                             | 1,5                                | 5,92E-28                                                                                        | 1,04E-38                                                                   |
| 4,0                                                   | 47                            | 1,5                                             | 1,5                                | 1,54E-28                                                                                        | 2,93E-39                                                                   |
| 4,3                                                   | 46                            | 1,5                                             | 1,5                                | 6,52E-29                                                                                        | 1,32E-39                                                                   |
| 4,7                                                   | 45                            | 1,5                                             | 1,5                                | 2,70E-29                                                                                        | 5,77E-40                                                                   |
| 5,0                                                   | 45                            | 1,5                                             | 1,5                                | 1,14E-29                                                                                        | 2,57E-40                                                                   |
| 6,0                                                   | 42                            | 2,6                                             | 1,5                                | 1,33E-30                                                                                        | 3,59E-41                                                                   |
| 7,0                                                   | 40                            | 2,6                                             | 1,5                                | 8,53E-32                                                                                        | 2,75E-42                                                                   |
| 8,0                                                   | 38                            | 2,7                                             | 1,5                                | 5,08E-33                                                                                        | 1,97E-43                                                                   |
| 9,0                                                   | 36                            | 2,7                                             | 1,5                                | 2,71E-34                                                                                        | 1,27E-44                                                                   |
| ≥10,0                                                 | ≤33                           | 34,8                                            | 1,5                                | 1,67E-34                                                                                        | 9,56E-45                                                                   |
| Максимальное рабочее давление, МПа                    |                               |                                                 |                                    | 0,8                                                                                             | 0,6                                                                        |
| Рабочее кольцевое напряжение, МПа                     |                               |                                                 |                                    | 2,6                                                                                             | 1,9                                                                        |
| Максимальный срок службы трубы, лет                   |                               |                                                 |                                    | 50                                                                                              | 50                                                                         |

В приведенном выше расчете (по правилу Майнера) время, которое труба может выдержать без разрушения, может превышать 100 лет (см. таблицу 3, начиная с температуры 96 °C), что недопустимо в рамках регрессионного анализа по ISO 9080 [22]. Если учесть это ограничение по времени (до 100 лет) и вычислить максимально допустимое рабочее давление при разных температурах до 110 °C, можно выполнить корректное сравнение прочностных характеристик рассматриваемых пластиковых труб (см. рис. 2).



**Рисунок 2. График максимально допустимого рабочего давления для пластиковых труб SDR 7,4**

Для многослойной пластиковой трубы (например, пластиковая труба – армирующая сетка Kevlar – пластиковая оболочка; пластиковая труба – алюминиевая труба – пластиковая оболочка) в расчете необходимо использовать логарифмические зависимости длительной прочности, подтвержденные результатами тестирования по ISO 21003-2 [31] и ISO 9080 [22] Ганновским институтом централизованного теплоснабжения FFI (Fernwärme Forschungsinstitut Hannover) или другой независимой аккредитованной испытательной лабораторией. В России пока не имеется аккредитованных лабораторий, которые могли бы проводить испытания при температуре более 95 °C.

Если система однослойная, то такие испытания можно провести один раз и в дальнейшем проводить только краткосрочные испытания для контроля качества труб. Максимальное рабочее давление для многослойной пластиковой трубы определяется согласно ISO 21003-2 [31].

В расчете термической стабильности при действии постоянного внутреннего давления многослойной пластиковой трубы нельзя использовать данные теплостойкости отдельных компонентов, а только данные, полученные при тестировании всей конструкции целиком. Это замечание касается трубы ИЗОПРОФЛЕКС-А по ТУ 2248-001-48532278-2011 ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт» (для температуры до 115 °С).

Для каждого типоразмера многослойной трубы должны быть представлены свои логарифмические зависимости длительной прочности, полученные при проведении испытаний по ISO 9080 [22].

Основной отечественный стандарт на напорные трубы из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления (ГОСТ Р 52134 [23]) хотя и разработан с учетом ISO 9080 [22], но при этом не соответствует международному стандарту в части требований к испытательному периоду. Так время испытаний по ГОСТ Р 52134 [23] на термическую стабильность при действии постоянного внутреннего давления составляет всего 8760 часов (1 год) при температуре 110 °С.

Основанием для этого, вероятно, послужил тот факт, что в международных стандартах на пластиковые трубы (см. DIN EN ISO 15875-2 [30], DIN EN ISO 22391-2 [28]) приводятся логарифмические зависимости времени, полученные при обосновании по ISO 9080 [22] максимального срока службы в 30 лет при температуре до 75 °С или в 50 лет при температуре до 70 °С.

Требования в DIN EN ISO 15875-2 [30] и DIN EN ISO 22391-2 [28] к периоду тестирования при испытаниях являются недостаточными, так как согласно DIN EN 15632 [25, 26] планируемый срок службы пластикового трубопровода в ППУ изоляции должен быть не менее 30 лет при температуре до 95 °С, соответственно, период тестирования на длительную прочность по ISO 9080 [22] должен составлять не менее 7,5 лет, а не 1 год, как заявлено в DIN EN ISO 15875-2 [30] и DIN EN ISO 22391-2 [28].

В другом отечественном стандарте СТО РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА 10.001 [32] в п. 10.2.4 декларируется формула (8) допустимого рабочего давления армированной трубы из сшитого полиэтилена ИЗОПРОФЛЕКС-А (ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт»):

$$\lg(P) = 1,6599 - 0,0037(T + 273) + 0,03176 \lg(t_c) - 0,0001482(T + 273) \lg(t_c), \text{ МПа.} \quad (8)$$

Интересно заметить, что в «Библиографии» СТО РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА 10.001 [32] дана ссылка на DIN EN ISO 15875-2 [30] (это стандарт для однослойной трубы из РЕ-Х, хотя ИЗОПРОФЛЕКС-А является многослойной трубой). Никаких других обоснований авторы СТО не приводят.

### Заключение

1. Достижение безаварийного времени эксплуатации тепловых сетей сроком в 50 лет – важнейшая задача программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности для российских систем теплоснабжения.

2. Анализ эксплуатационных характеристик теплопроводов из РЕ-RT и РЕ-Х, а также расчет срока службы пластиковых труб при температуре до 110 °С показывают очевидные преимущества материала РЕ-RT тип II DOWLEX™ 2388.

3. В следующей редакции ГОСТ Р 52134 [23] разработчикам стандарта следует учесть основополагающие требования ISO 9080 [22], ISO 21003-2 [31] и DIN EN 15632 [25, 26] в части длительной прочности пластиковых труб при максимальном сроке службы в 50 лет при температуре до 95 °С.

### Литература

1. Умеркин Г. Х. Надежность систем теплоснабжения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Б.м. 2003. 52 с.
2. Бухин В. Е. Теплопроводы из полипропиленовых труб с заводской теплогидроизоляцией // Трубопроводы и экология. 2002. № 3. С. 19-24.
3. Бухин В. Е. Трубопроводы из полимерных материалов для тепловых сетей // Трубопроводы и экология. 2003. № 1. С. 18-19.
4. Бухин В. Е. Предварительно изолированные трубопроводы для систем теплоснабжения Ecoflex // Трубопроводы и экология. 2005. № 1. С. 15-20.

5. Бухин В. Е. О проектах прокладки тепловых сетей и экономических аспектах реконструкции систем теплоснабжения // Трубопроводы и экология. 2007. № 1. С. 17-19.
6. Бухин В. Е. Теплоизолированные трубы для локальных тепловых сетей Uponor // Трубопроводы и экология. 2009. № 4. С. 25-30.
7. Бухин В. Е. Полипропиленовые напорные трубопроводы в инженерных системах зданий. АВОК-Пресс, 2010. 112 с.
8. Шрамм Д., Василенко А. В семействе Dowlex™ PE-RT – пополнение // Хим-Курьер. 2011. № 7(338). С. 24.
9. Шмелев А. Ю., Горюховский М. И. Периодическая система труб Изопрофлекс // Полимерные трубы. 2010. № 2(28). С. 16-22.
10. Lustiger A., Markham R. Importance of tie molecules in preventing polyethylene fracture under long-term loading conditions // Polymer. 1983. Vol. 24. Pp. 1647-1649.
11. Venkatraman S., Kleiner L. Properties of three types of crosslinked polyethylene // Advances in Polymer Technology. 1989. Vol. 9, Iss. 3. Pp. 265-270.
12. Rossignol J., Seguela R., Rietsch F. A mechanical model for fibres of linear polyethylenes over a wide range of crystallinities // Polymer. 1990. Vol. 31, Iss. 8. Pp. 1449-1455.
13. Darras O., Seguela R. Surface free energy of the chain-folding crystal faces of ethylene-butene random copolymers // Polymer. 1993. Vol. 34, Iss. 14. Pp. 2946-2950.
14. Elkoun S., Gaucher-Miri V., Seguela R. Tensile yield and strain hardening of homogeneous ethylene copolymers compared with heterogeneous copolymers // Materials Science and Engineering. 1997. Vol. 234-236. Pp. 83-86.
15. Seguela R. On the natural draw ratio of semi-crystalline polymers: review of the mechanical, physical and molecular aspects // Macromolecular Materials and Engineering. 2007. Vol. 292, Iss. 3. Pp. 235-244.
16. Fallatah G., Dobbs N., Gibson A. Long term creep and stress rupture of aramid fibre // Plastics, Rubber and Composites. 2007. Vol. 36, № 9. Pp. 403-412.
17. Boros S. Long-term hydrostatic strength and design of thermoplastic piping compounds // Journal of ASTM International. 2011. Vol. 8, Iss. 9. Pp. 57-72.
18. Montes J. Castillo, Cadoux D., Creus J. Ageing of polyethylene at raised temperature in contact with chlorinated sanitary hot water. Part I – Chemical aspects // Polymer Degradation and Stability. 2012. Vol. 97, Iss. 2. Pp. 149-157.
19. РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург. Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге.
20. DIN EN ISO 13760:1998. Plastics pipes for the conveyance of fluids under pressure – Miner's rule – Calculation method for cumulative damage.
21. ANSI/ASTM D 2837. Test method for obtaining hydrostatic design basis for thermoplastic pipe materials or pressure design basis for thermoplastic pipe products.
22. ISO 9080:2003. Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation.
23. ГОСТ Р 52134-2003. Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия (с Изменением № 1 от 01.06.2010).
24. ГОСТ Р 54468-2011. Трубы гибкие с тепловой изоляцией для систем теплоснабжения, горячего и холодного водоснабжения. Общие технические условия (утвержден приказом Росстандарта от 13.10.2011 № 451-ст, вводится в действие с 01.05.2012).
25. DIN EN 15632-1:2009. District heating pipes – Pre-insulated flexible pipe systems – Part 1: Classification, general requirements and test methods.
26. DIN EN 15632-2:2010. District heating pipes – Pre-insulated flexible pipe systems – Part 2: Bonded plastic service pipes – Requirements and test methods.
27. РТП 02-01-2010. Технические рекомендации по проектированию и бесканальной прокладке трубопроводов из труб ПЛАСТФЛЕКС, ООО «Изоляционные технологии», Санкт-Петербург.
28. DIN EN ISO 22391-2:2010. Plastics piping systems for hot and cold water installations – Polyethylene of raised temperature resistance (PE-RT) – Part 2: Pipes.
29. Report EXOVA/P-11/73. Determination of the long-term hydrostatic strength ISO 9080:2003 – evaluation of the PE-RT pipe grade DOWLEX™ 2388 from DOW Europe GmbH, 2011.
30. DIN EN ISO 15875-2:2004. Plastics piping systems for hot and cold water installations – Crosslinked polyethylene (PE-X) – Part 2: Pipes.
31. ISO 21003-2:2008. Multilayer piping systems for hot and cold water installations inside buildings – Part 2: Pipes.
32. СТО РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА 10.001-2009. Тепловые сети. Нормы и методы расчета на прочность (согласован письмом Ростехнадзора от 21.04.2009 № 0908-09/985).

*\*Геннадий Петрович Петраков, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. раб.: +7(812)784-20-38; эл. почта: p@103trest.ru*

Петраков Г.П. Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения

## Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих

*К. т. н., доцент З.А. Мантуров\*,*

*ФГБОУ ВПО Дагестанский государственный технический университет*

**Ключевые слова:** безводный силикат натрия; силикат-глыба; силикат-натриевое композиционное вяжущее; жаростойкий бетон

Одним из эффективных огнеупорных материалов, отвечающих возросшим требованиям индустриализации, является жаростойкий бетон, изделия и конструкции из него, которые находят в последние годы все большее применение в различных отраслях промышленности [1–18]. Преимущества их перед штучными огнеупорными изделиями заключаются в том, что использование жаростойких бетонов позволяет сократить срок строительства в 3–4 раза, уменьшить трудовые затраты при строительстве тепловых агрегатов в 2–3 раза, повысить срок службы теплового агрегата и, тем самым, уменьшить затраты на текущие и капитальные ремонты и др. [4].

Жаростойкие бетоны на основе жидкого стекла нашли широкое применение при эксплуатации не только в условиях высоких температур, но и в различных агрессивных средах. Эти бетоны по сравнению с жаростойкими бетонами на основе клинкерных вяжущих долговечны, экономичны и обладают лучшими физико-механическими свойствами [3, 4, 17]. Кроме того, в отличие от бетонов клинкерных вяжущих жаростойкий бетон на жидком стекле при нагревании почти не снижает прочности [4].

Однако жаростойкие бетоны на жидком стекле содержат большое количество жидкого стекла (300–500 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона), соответственно, и оксида натрия Na<sub>2</sub>O, что сопряжено с достаточно высоким содержанием воды в бетонной смеси (300 и более литров) и необходимостью введения в шихту значительного количества тонкомолотых добавок-отвердителей и огнеупорных добавок (более 500 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона). Следует отметить, что оксид натрия Na<sub>2</sub>O, являясь сильным плавнем, снижает огнеупорность, прочность в нагретом состоянии и другие свойства жаростойкого бетона.

Актуальными в этом плане являются научные исследования, направленные на разработку новых видов бесклинкерных жаростойких бетонов с высокими термомеханическими свойствами на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих [1–2, 6–7, 14, 16–17, 19–20]. В настоящее время уже накоплен достаточно большой опыт проектирования жаростойких бетонов на силикат-натриевых композициях с учетом различных технологических и эксплуатационных факторов. Такие бетоны рассчитаны на температуру до 1000–1600°C при использовании в качестве заполнителя различных огнеупорных материалов.

Использование вместо жидкого стекла в исследуемых нами жаростойких бетонах тонкоизмельченной силикат-натриевой композиции с последующим ее твердением при низкотемпературной тепловой обработке (90–180°C) позволяет значительно снизить концентрацию силиката натрия, исключить энергоемкую операцию получения из силикат-глыбы жидкого стекла, повысить однородность бетонной смеси, улучшить условия формования, снизить количество воды затворения. Это обеспечивает также существенное повышение когезионной прочности вяжущего и, в конечном счете, приводит к повышению огнеупорности жаростойкого бетона на безводном силикате натрия и значительному улучшению его термомеханических свойств [1–2, 6–7, 16, 19–20].

Жаростойкие бетоны на силикатах натрия также отличаются от аналогичных по составу штучных огнеупоров [8–13, 21–25] меньшим значением модуля упругости и теплового расширения при высоких температурах и, как следствие, большей термостойкостью, меньшей примерно на 20% теплопроводностью, более высокой прочностью конструкций из них. Следует отметить, что уже накоплено много примеров, демонстрирующих более длительный срок службы и высокую эффективность исследуемых жаростойких бетонов по сравнению со штучными огнеупорами [1, 2, 14, 16].

Объектом исследования в данной статье является жаростойкий бетон на карборунд-шамот-силикат-натриевом композиционном вяжущем и низкоожженном шамотном заполнителе из местных сланцевых глин. Для разработки технологии и состава исследуемого нами в статье жаростойкого бетона с повышенными по сравнению с бетонами на жидком стекле термомеханическими свойствами требовалось решения нескольких частных задач: выявить возможность получения карборунд-шамот-силикат-натриевого композиционного вяжущего и жаростойкого бетона на его основе с высокими термомеханическими свойствами; изучить основные закономерности протекания физико-химических

Мантуров З.А. Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих

процессов в композиционном вяжущем и жаростойком бетоне на его основе в период сушки, обжига и эксплуатации; выбрать сырьевые материалы для производства жаростойкого бетона, не уступающего по своим эксплуатационным характеристикам шамотным огнеупорам и подобрать рациональный состав бетонной смеси; исследовать основные термомеханические, теплофизические и другие свойства жаростойкого бетона; выявить и выбрать основные рациональные технологические параметры производства жаростойкого бетона; провести проверку результатов исследований в производственных условиях и оценить технико-экономическую эффективность применения разработанного жаростойкого бетона.

В связи с ограниченностью объема статьи нами из перечисленных задач рассмотрена лишь задача по выявлению и выбору основных технологических параметров, а другие задачи описаны в различных публикациях автора [19, 20 и др.].

Структура жаростойкого бетона, определяющая его важнейшие свойства, обусловлена не только составом его компонентов, но и технологическими факторами – качеством перемешивания бетонной смеси и эффективностью ее уплотнения при формовании [1–5].

Процесс смешивания бетонной смеси зависит от многих факторов. На эффективность и интенсивность смешивания влияет, в частности, конструкция смесителя, определяющая скорость и траекторию перемещения частиц, порядок загрузки компонентов и др.

С целью выявления влияния способов и режимов приготовления бетонной смеси на его однородность на основе результатов предварительных исследований был принят следующий состав жаростойкого бетона, % по массе: низкоожженный шамотный заполнитель на основе местных сланцевых глин – 80; силикат-натриевое композиционное вяжущее – 20. Состав силикат-натриевого композиционного вяжущего удельной поверхностью 2900–3100 см<sup>2</sup>/г, % по массе: тонкоизмельченная смесь карборунда и шамота (1:1) – 85; безводный силикат натрия (силикат-глыба) – 15. При этом за косвенный показатель однородности бетонной смеси была принята прочность при сжатии образцов жаростойкого бетона после сушки.

Смешивание жаростойкой бетонной смеси оптимального состава производили в различных типах смесителей: лопастном, гравитационном и вибросмесителе. В каждом типе этих смесителей исследовались по четыре режима смешивания компонентов:

- режим 1 – загрузка всех компонентов и воды одновременно, смешивание в течение 8-10 мин;
- режим 2 – подача 30% воды, загрузка всех компонентов, смешивание в течение 2-3 мин, подача остального количества воды и смешивание 5-6 мин;
- режим 3 – загрузка всех компонентов одновременно – сухое перемешивание 3-4 мин, затворение водой и смешивание 5-6 мин;
- режим 4 – загрузка и смешивание мелкой фракции и вяжущего в течение 3 мин, загрузка остальной части заполнителя и смешивание 3-4 мин и, наконец, затворение водой и смешивание 5-6 мин.

Из бетонных смесей при различных режимах смешивания компонентов виброформованием изготавливались образцы размером 10×10×10 см и определялась прочность на сжатие после термообработки. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Наилучшее распределение вяжущего и равномерность структуры, по полученным данным, достигается при тщательном сухом перемешивании компонентов, последующем затворении их водой и продолжении смешивания (см. табл. 1., режим 4). При этом вначале достигается равномерное распределение вяжущего среди мелкой фракции, а затем полученная смесь перемешивается с крупной фракцией. Поэтому для приготовления бетонной смеси был принят режим 4, который является наиболее рациональным.

**Таблица 1. Влияние типа смесителя и режимов смешивания на прочность при сжатии исследуемого жаростойкого бетона**

| Тип смесителя  | Прочность на сжатие после сушки, МПа, в зависимости от режимов смешивания компонентов |         |         |         |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                | режим 1                                                                               | режим 2 | режим 3 | режим 4 |
| Лопастной      | 9,4                                                                                   | 10,2    | 13,5    | 20,7    |
| Гравитационный | 6,3                                                                                   | 9,3     | 10,6    | 16,1    |
| Вибросмеситель | 9,0                                                                                   | 12,4    | 18,2    | 23,4    |

Мантуров З.А. Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих

Результаты экспериментальных исследований, приведенные в табл. 1., показывают, что определенное влияние на прочностные характеристики образцов из исследуемого жаростойкого бетона оказывают и способы смешивания, т.е. тип смесителя. При этом наилучшие результаты были получены при вибросмешивании, а наихудшие – при гравитационном смешивании компонентов бетонной смеси. Однако использование вибросмесительного оборудования приводит к более быстрому выходу ее из строя и несколько ухудшает условия труда (создается большой шум и вибрация). Поэтому в качестве смесительного оборудования был выбран лопастной бетоносмеситель принудительного действия.

Были проведены также исследования по выявлению влияния продолжительности смешивания бетонной смеси после загрузки всех компонентов для выбранного способа (лопастной смеситель принудительного действия) и режима смешивания (см. табл. 1., режим 4) на прочность при сжатии и среднюю плотность жаростойкого бетона, результаты которых приведены на рис. 1.

Анализ кривых на рис. 1 свидетельствует о том, что лучшие результаты достигаются при смешивании в течение 5-7 мин. Дальнейшее увеличение продолжительности смешивания не улучшает физико-механические свойства бетона, по всей вероятности, из-за расслоения смеси. Результаты этих исследований еще раз подтверждают правильность выбранного режима 4 для смешивания исследуемой жаростойкой бетонной смеси на силикат-натриевом композиционном вяжущем.

Другим важным переделом в технологии жаростойких бетонов является формование изделий из них. Из известных приемов формования жаростойких бетонов наиболее распространены прессование, трамбование и виброформование.

Исходя из вышеизложенного, нами была проведена также серия опытов для выявления рациональных методов и режимов формования из жаростойкого бетона, результаты которых приведены в табл. 2.

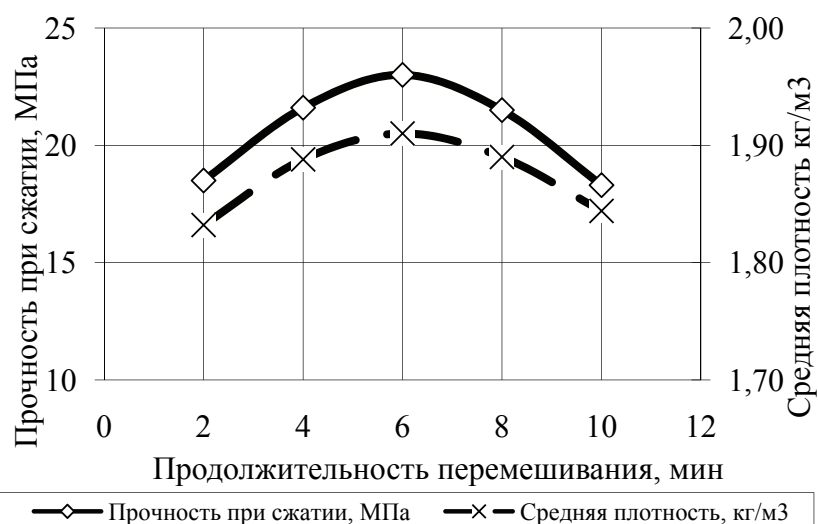


Рисунок 1. Зависимость прочности при сжатии и средней плотности жаростойкого бетона от продолжительности перемешивания после загрузки всех компонентов

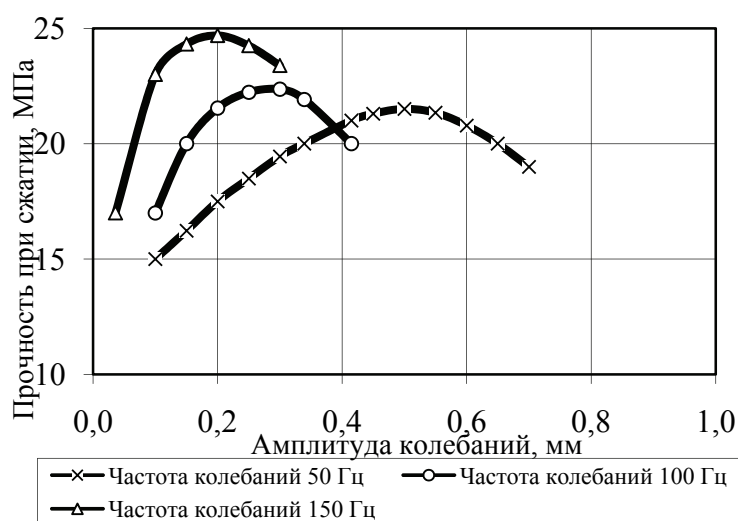
Таблица 2. Влияние различных режимов формования на прочность жаростойкого бетона

| Режим формования | Метод формования                         | Параметры режима формования                                                                   | Прочность при изгибе, МПа | Прочность при сжатии, МПа |
|------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Режим 1          | Виброформование                          | $f = 50 \text{ Гц}$<br>$A = 0,6 \text{ мм}$<br>$t = 90 \text{ с}$                             | 3,6                       | 19,8                      |
| Режим 2          | Виброформование с пригрузом              | $f = 50 \text{ Гц}$<br>$A = 0,6 \text{ мм}$<br>$t = 90 \text{ с}$<br>$P = 0,0015 \text{ МПа}$ | 6,3                       | 24,3                      |
| Режим 3          | Прессование одноступенчатое в прессформе | $P = 5 \text{ МПа}$                                                                           | 9,0                       | 36,0                      |
| Режим 4          | Прессование двухступенчатое в прессформе | $P_1 = 2 \text{ МПа}$<br>$P_2 = 5 \text{ МПа}$                                                | 9,9                       | 39,6                      |

Результаты этих опытов показывают эффективность уплотнения формовочных смесей методом прессования. Повышение степени уплотнения способствует сближению частиц вяжущего и заполнителя, а также увеличению числа связей за счет большой площади контакта. Эти контакты во время тепловой обработки увеличиваются и после обезвоживания закрепляются. Однако уплотнение бетонной смеси методом прессования применяют редко, хотя по технологическим показателям этот способ высокоэффективен и позволяет получать бетон высокой плотности и прочности при минимальном расходе вяжущего. Прессование широко применяется только при формировании мелкоштучных фасонных изделий.

Наиболее распространенным является способ уплотнения бетонной смеси вибрированием. Вибрируемый бетон, как известно, характеризуется коэффициентом пластической вязкости, который является функцией состава бетона (гранулометрии, природы заполнителя, водосодержания и др.) и параметров вибрации (частоты  $f$ , Гц; амплитуды колебаний  $A$ , мм; интенсивности уплотнения  $I = A^2 8\pi^3 f^3$ ,  $\text{см}^2/\text{с}^3$ , и времени вибрирования  $t$ , мин).

Для выявления влияния указанных выше факторов на прочностные показатели исследуемого жаростойкого бетона нами были проведены соответствующие экспериментальные исследования, результаты которых приведены на рис. 2. Анализ этих графических зависимостей показывает, что при постоянных значениях интенсивности виброуплотнения с увеличением частоты возрастают прочностные показатели жаростойкого бетона. Следовательно, для эффективного уплотнения исследуемых жаростойких бетонов способом вибрирования рационально применять высокие частоты вибрационного воздействия. Однако в промышленности, за редким исключением, такие частоты вибрирования бетона не применяются, поэтому нами для вибрирования жаростойкого бетона выбрана промышленная частота 50 Гц.



**Рисунок 2. Зависимость прочности жаростойкого бетона после сушки от амплитуды колебаний**

Кроме того, возрастание прочности при сжатии образцов исследуемого жаростойкого бетона после сушки отмечалось также с увеличением интенсивности вибрационного воздействия  $I$  до значений 260–320  $\text{см}^2/\text{с}^3$ . Дальнейшее увеличение интенсивности виброуплотнения приводит к небольшому ухудшению свойств исследуемого бетона за счет снижения однородности смеси в результате некоторого ее расслоения.

Как показывают результаты экспериментов (см. рис. 2.), вибрирование исследуемых жестких бетонных смесей вызывает разрыхление смеси и, тем самым, ухудшает прочностные показатели бетона при амплитудах колебаний более 0,5 мм. В этом случае эффективность виброуплотнения жестких бетонных смесей существенно повышается при применении пригруза в процессе вибрации. Под действием давления, вызываемого пригрузом (величина пригруза нами принята равным 0,0015 МПа), исключается разрыхление верхней части бетонной смеси и быстрее уплотняется вся смесь, становится компактнее ее структура и, следовательно, повышаются прочностные показатели бетона.

Следует также учитывать, что для каждого вида бетонной смеси при принятых параметрах колебаний есть своя оптимальная продолжительность вибрирования. При недостаточной продолжительности вибрирования наблюдается недоуплотнение бетона и снижение его прочности, а слишком длительное вибрирование не приводит к заметному повышению плотности и прочности бетона [1–3, 5]. Оптимальная продолжительность вибрирования нами принята равным 1,5 мин (90 сек) на основании данных предварительных экспериментальных исследований. При более длительном вибрировании затраты энергии возрастают в значительно большей степени, чем повышается плотность смеси и, как следствие, прочность образцов жаростойкого бетона.

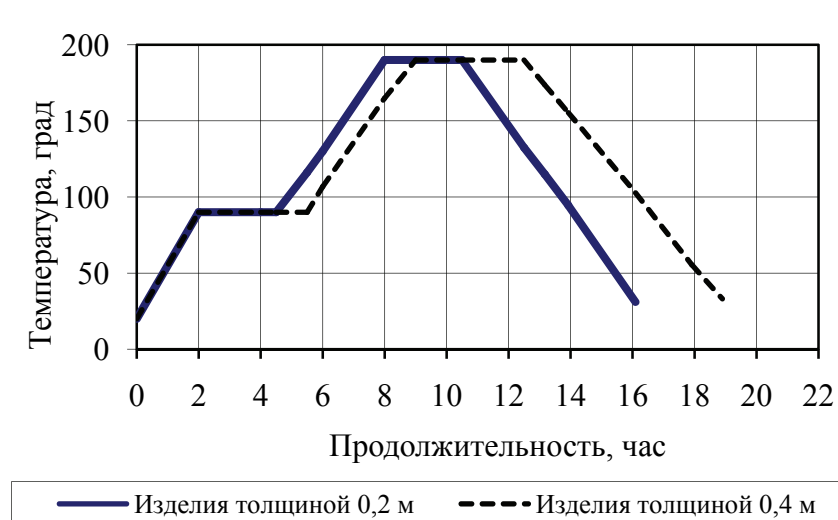
На основе проведенных нами в данной работе экспериментальных исследований формирование изделий из рассматриваемого жаростойкого бетона рекомендуется производить по режиму 2, параметры которого приведены в табл. 2.

Мантуров З.А. Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих

При изучении влияния режима тепловой обработки на физико-механические свойства карборунд-силикат-натриевого композиционного вяжущего было выявлено, что наиболее интенсивное растворение силикат-глыбы происходит при температуре 90–95°C. При подъеме температуры до 180–200°C достигается практически полное обезвоживание системы, в результате которого клеевые контакты упрочняются вследствие повышения их когезионной прочности.

Опыты по выявлению оптимальных технологических параметров проводились на образцах размером 10×10×10 см из разрабатываемого жаростойкого бетона. Однако на практике при изготовлении крупноразмерных изделий режим тепловой обработки следует выбрать с учетом масштабного фактора изделий, т.е. толщины изготавливаемых изделий. Для этого предварительно определялось время достижения температур 90–95°C и 180–200°C в массе бетона в зависимости от толщины изделий.

С целью выявления режима тепловой обработки с учетом толщины изготавливаемых изделий были изготовлены блоки размером 100×100×50 см из исследуемого жаростойкого бетона. При бетонировании этих блоков в них были установлены хромель-алюмелевые термодпары на поверхности и по сечению блока на расстояниях 5, 10, 15, 20, 25 см. Сушка блоков производилась всесторонне в опытно-промышленной сушильной камере. Температуру в соответствующих точках блока фиксировали потенциометром ПП-63. При этом выдержка осуществлялась поэтапно при температурах 90–95°C и 180–200°C до выравнивания температур в сечении блока. Отсчет времени достижения указанных температур в сечении бетонного блока в зависимости от толщины производился после установления этих температур на поверхности изделий.



**Рисунок 3. Рекомендуемые режимы сушки изделий из жаростойкого бетона**

Анализ результатов экспериментальных исследований по тепловой обработке (сушке) блоков из жаростойкого бетона позволил установить рациональные режимы сушки в зависимости от толщины изготавливаемых изделий, приведенные на рис. 3. в виде графических зависимостей.

Таким образом, в результате проведенных комплексных исследований нами были разработаны технологические режимы приготовления, формирования и тепловой обработки жаростойкого бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем.

1. Выбран способ приготовления бетонной смеси: перемешивание в лопастном смесителе мелкой фракции заполнителя и композиционного вяжущего в течение 2–3 мин.; загрузка остальных компонентов и перемешивание 3–4 мин.; подача воды затворения и 5–6 минутное перемешивание. Такой порядок приготовления бетонной смеси обеспечивает наиболее равномерное распределение вяжущего в нем.

2. Установлен способ и режим формирования изделий – виброформование с пригрузом 0,0015 МПа со следующими параметрами: частота вибрации – 50 Гц; амплитуда колебаний – 0,4...0,5 мм; продолжительность вибрации – 90 с.

3. Определен режим тепловой обработки (сушки) – подъем температуры до 90...95°C с последующей изотермической выдержкой в течение 2,5 ч (толщина изделий  $\delta=0,2$  м) и 3,5 ч ( $\delta=0,4$  м), затем подъем температуры до 180...200°C с последующей выдержкой – 3,5 ч ( $\delta=0,2$  м) и 4,0 ч ( $\delta=0,4$  м).

Следует также отметить, что результаты проведенных нами комплексных научных исследований прошли опытно-промышленную апробацию в условиях действующего цеха ЗАО «Опытное научно-производственное предприятие», по результатам которой была выявлена технико-экономическая эффективность разработанного жаростойкого бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем.

## Литература

1. Горлов Ю. П., Меркин А. П., Зейфман М. И., Тотурбиев Б. Д. Жаростойкий бетон на основе композиций из природных и техногенных стекол. М.: Стройиздат, 1986. 144с.
2. Тотурбиев Б. Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций. М.: Стройиздат, 1988. 208 с.
3. Тарасова А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. М.: Стройиздат, 1982. 133 с.
4. Некрасов К. Д. Новое в технологии жаростойких бетонов. М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1981. 110 с.
5. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: АСВ, 2007. 528 с.
6. Тотурбиев Б. Д., Порсуков А. А. Корундовый жаростойкий бетон с повышенными эксплуатационными свойствами // Бетон и железобетон. 2006. №4. С. 13–15.
7. Тотурбиев Б. Д., Порсуков А. А. Жаростойкое композиционное вяжущее // Бетон и железобетон. 2006. №3. С. 12–16.
8. Ruelle I., Richez G. Refractory Supplier plays a key roll in furnace construction // 7 Glass. 2000. V. 77. No. 5. Pp. 144-145.
9. Nishikawa A. Technology of monolithic refractories. Plibrico Japan Comp. Ltd. Tokyo, 1996. 598 p.
10. Jshikawa M., Taoka K. Energy and Resource Saving and Dusty Environment in Monolithic Refractories // Taikabutsu– Refractories. 2000. V.52. No. 4. Pp. 234–239.
11. Petzold A., Ulbricht J. Feuerbeton und betonartige feuerfeste Masse und Materialien. Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie. Leipzig–Stuttgart: 1994. 322 p.
12. Banerjee S. Monolithic refractories. Singapore–New Jersey–London–Hong-Kong: World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., 1998. 311 p.
13. Nahashi H., Tsuno M., Hayaishi M. Used refractories recycle technology in melting shop // Taikabutsu–Refractories. 2000. V. 52. No. 4. Pp. 178–184.
14. Хлыстов А. И., Коренькова С. Ф., Шеина Т. В. Применение жаростойкого бетона на основе силикатно-натриевого композиционного вяжущего // Бетон и железобетон. 1992. № 9. С.17-19.
15. Хлыстов А. И., Божко А. В., Соколова С. В., Рязов Р. Т. Повышение эффективности и улучшение качества футеровочных конструкций из жаростойкого бетона // Огнеупоры и техническая керамика. 2004. № 3. С. 26-31.
16. Буров В. Ю. Жаростойкие бетоны для футеровки зоны спекания цементных вращающихся печей: Автореф. дис. д-ра техн. наук. М., 1994. 31 с.
17. Комиссаренко Б. С., Мизюряев С. А., Жигулина А. Ю. Модифицированные жидкостекольные системы как основа для жаростойкого заполнителя // Строительные материалы. 2001. №10. С. 27-28.
18. Хежев Т. А., Хежев Х. А. Эффективные огнезащитные составы на пористых заполнителях // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2010. Вып. 17 (36). С. 70–73.
19. Мантуров З. А. Подбор состава и исследование влияния технологических факторов на свойства безобжигового жаростойкого перлитового теплоизоляционного материала // Вестник Дагестанского государственного технического университета. 2010. №18. С. 129–136.
20. Мантуров З. А. Исследования дилатометрических и основных теплофизических свойств безобжигового жаростойкого теплоизоляционного материала на силикат-натриевых композициях // Вестник Дагестанского государственного технического университета. 2010. №19. С. 50–58.
21. Кащеев И. Д. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок: Справочное издание: В двух книгах. Кн. 1. Производство огнеупоров. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. 663 с.
22. Кащеев И. Д., Гришенкова Е. Е. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок: Справочное издание: В двух книгах. Кн. 2. Служба огнеупоров. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. 656 с.
23. Кащеев И. Д. Огнеупоры: материалы, изделия, свойства и применение: Каталог-справочник. В 2-х книгах. Книга 1. М: Теплоэнергетик, 2003. 336 с.
24. Кащеев И. Д. Огнеупоры: материалы, изделия, свойства и применение: Каталог-справочник: В 2-х книгах. Книга 2. М.: Теплоэнергетик, 2003. 320 с.
25. Пивинский Ю. Е. Неформованные огнеупоры: Справочное издание в 2-х томах. Т. 1 Книга 1. Общие вопросы технологии. М.: Теплотехник, 2004. 448 с.

*\*Загир Абдулнасирович Мантуров, г. Махачкала, Россия  
Тел. моб.: +7(928)594-64-09; эл. почта: Zagir9@mail.ru*

Мантуров З.А. Выбор рациональных технологических параметров жаростойкого бетона на основе силикат-натриевых композиционных вяжущих

## Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей

*К.т.н., доцент А.С. Горшков\*;*

*д.т.н., профессор Н.И. Ватин;*

*магистрант А.И. Урустимов,*

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;*

*к.ф.-м.н., профессор П.П. Рымкевич,*

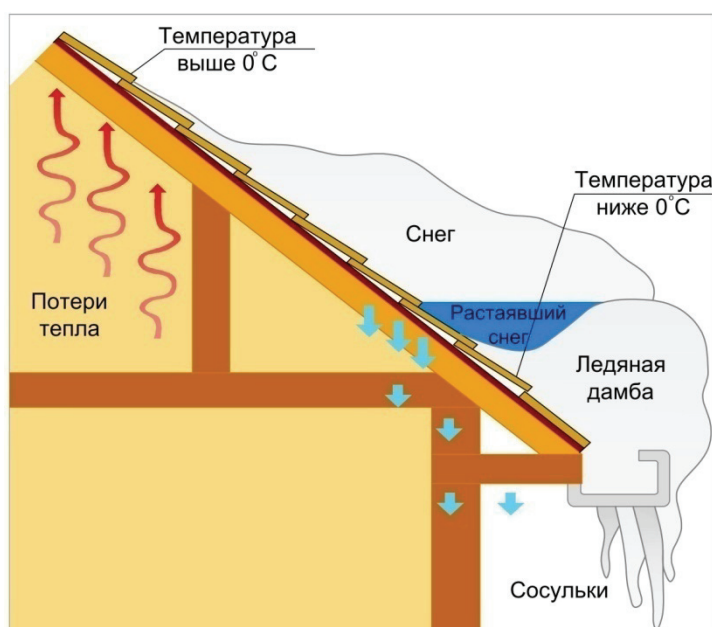
*ФВГОУ ВПО Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского*

**Ключевые слова:** энергоэффективность; уравнение теплового баланса; холодный чердак; крыши зданий; наледи

Настоящая работа посвящена проблеме образования наледей (сосулек) на крышах зданий и способам борьбы с ними. Особенно сильно подвержены такому негативному явлению чердачные крыши зданий со скатной кровлей. Данному вопросу и способам его решения посвящен ряд российских [1-11] и иностранных публикаций [12-20].

Следует отметить, что сосульки являются лишь видимой частью обозначенной выше проблемы, которая заключается в образовании на кровле так называемой ледяной плотины или дамбы (ice dam). Ледяная дамба (рис. 1) в виде гребня льда обычно образуется на кровле параллельно линии ее свеса, предотвращает сход тающего снега с кровли. Ледяные дамбы в виде наледей могут образовываться вокруг световых фонарей, вентиляционных каналов, ендов, разжелобков.

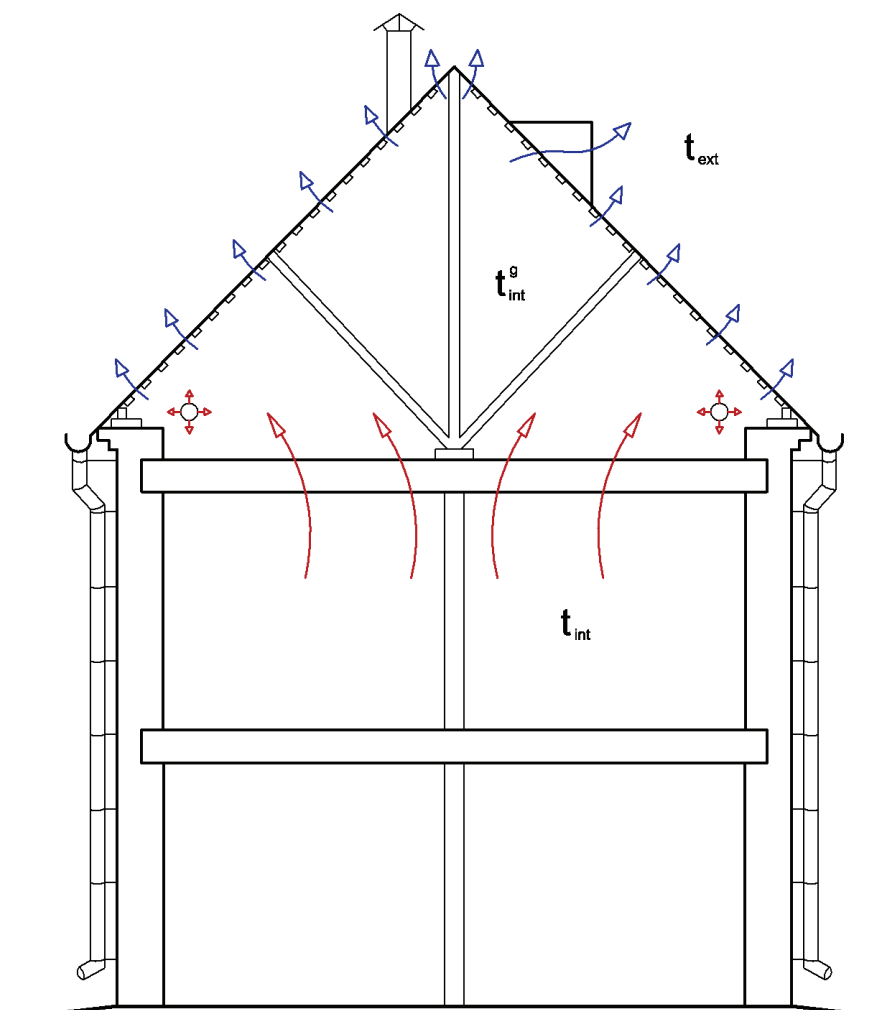
Недостаточная теплоизоляция и отсутствие надлежащей вентиляции чердачного помещения (а в конце зимы и солнечная радиация) вызывают нагрев кровельного покрытия до плюсовой температуры и расплавление снега выше дамбы, в то время как температура на кровельном свесе остается ниже нуля. В этом случае вода стекает по кровле и накапливается за гребнем дамбы.



**Рисунок 1. Схема образования ледяной дамбы**

Дальнейшие пути накопленной воды в рамках внутрисуточного колебания наружной температуры — это наращивание тела ледяной дамбы, перелив или просачивание через дамбу с формированием сосулек, просачивание сквозь кровельное покрытие в виде протечек.

Целью настоящей работы является разработка научно-технического обоснования технологических условий и инженерных мероприятий, обеспечивающих защиту от образования наледей на крышах зданий с неотапливаемым (так называемым «холодным») чердаком в периоды времени, характеризующиеся наиболее низкими температурами наружного воздуха. Предлагаемая в работе методика основана на составлении уравнения теплового баланса чердачных помещений здания.



**Рисунок 2. Схема баланса тепlopоступлений и тепlopотерь холодных чердаков зданий**

Схема баланса тепlopотерь и тепlopоступлений чердачных помещений здания с холодным чердаком и скатной кровлей представлена на рисунке 2.

Из представленной на рисунке 2 схемы теплового баланса помещений холодного чердака видно, что тепlopоступления в них формируются за счет притока тепла через чердачное перекрытие из помещений верхнего этажа эксплуатируемого здания, а также за счет теплоотдачи проложенных на чердаке трубопроводов системы отопления. Тепlopотери складываются из утечек тепла через наружные ограждающие конструкции чердака (стены и покрытие) и потерь за счет вентиляции чердачных помещений наружным воздухом.

Аналитически представленную на рисунке 2 схему теплового баланса чердачных помещений здания можно выразить следующим уравнением:

$$(t_{\text{int}} - t_{\text{int}}^g) \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + \sum_{j=1}^n (q_{pj} \cdot l_{pj}) = (t_{\text{int}}^g - t_{\text{ext}}) \cdot \sum_{k=1}^n \left( \frac{A_k^-}{R_k^-} \right) + 0,28 \cdot V_g \cdot n_{\alpha} \cdot t_{\text{ext}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{int}}$  – температура внутреннего воздуха в помещениях верхнего этажа здания, принимаемая согласно требованиям ГОСТ 30494 [21] для жилых и общественных зданий, ГОСТ 12.1.005 [22] для производственных зданий, °С, или определяемая инструментально в процессе натурных измерений параметров микроклимата в помещениях здания;

$t_{\text{int}}^g$  – температура воздуха в помещениях холодного чердака здания, °С;

$A_i^+$ ,  $R_i^+$  – соответственно площадь,  $\text{м}^2$ , и приведенное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ,  $i$ -го участка ограждения между отапливаемыми в здании помещениями и помещениями холодного чердака (чердачное перекрытие, стены вентканалов, перегородки между чердачными помещениями и помещениями лестничных маршей и др.);

$q_{pj}$  – линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящаяся на 1 п.м. длины трубопровода  $j$ -го диаметра с учетом тепlopотерь через изолированные опоры, фланцевые соединения и арматуру,  $\text{Вт}/\text{м}$  (для чердаков и подвалов значения  $q_{pj}$  в зависимости от условного диаметра трубопровода и средней температуре теплоносителя приведены в табл. 12 СП 23–101 [23]);

$l_{pj}$  – длина трубопровода  $j$ -го диаметра, м (для эксплуатируемых зданий принимается по фактическим данным);

$t_{\text{ext}}$  – температура наружного воздуха, °С, принимаемая для соответствующего населенного пункта по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 согласно СНиП 23-01 [24];

$A_k^-, R_k^-$  – соответственно площадь,  $m^2$ , и приведенное сопротивление теплопередаче,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ,  $k$ -го участка наружных ограждающих конструкций чердачных помещений (покрытие, наружные стены, заполнения оконных проемов при наличии);

$V_g$  – объем воздуха, заполняющего пространство холодного чердака,  $m^3$ ;

$n_\alpha$  – кратность воздухообмена в помещениях холодного чердака,  $ч^{-1}$ .

Левая часть уравнения (1) показывает суммарное количество тепловой энергии, поступающей в помещения холодного чердака, правая часть – потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, а также за счет вентиляции чердачного пространства наружным воздухом.

Для предотвращения образования наледей на крышах зданий с холодным чердаком в период наиболее низких температур наружного воздуха необходимо, чтобы температура воздуха в чердачных помещениях не более чем на  $4^\circ C$  превышала температуру наружного воздуха [25]. Разности температур в  $2-4^\circ C$  в подавляющем большинстве случаев оказывается недостаточно для разогрева нижнего слоя снежного покрова, лежащего на кровельном покрытии. Аналитически данное условие может быть выражено в следующем виде:

$$t_{int}^g - t_{ext} \leq 4^\circ C, \quad (2)$$

где  $t_{int}^g$ ,  $t_{ext}$  – то же, что и в уравнении (1).

Климат Санкт-Петербурга в отопительный период эксплуатации зданий характеризуется значительным разбросом температур наружного воздуха. Для климатических условий Санкт-Петербурга температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 составляет  $-26^\circ C$ . Выполнение условия (2) при температуре наружного воздуха  $-26^\circ C$  автоматически означает выполнение условия (2) при более высоких температурах наружного воздуха (т.е. при температурах  $t_{ext} \geq -26^\circ C$ ).

Из уравнения (1) можно рассчитать температуру воздуха на холодном чердаке здания  $t_{int}^g$ :

$$t_{int}^g = \frac{t_{int} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + t_{ext} \cdot \sum_{k=1}^n \left( \frac{A_k^-}{R_k^-} \right) + \sum_{j=1}^n (q_{pj} \cdot l_{pj}) - 0,28 \cdot V_g \cdot n_\alpha \cdot t_{ext}}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i^+}{R_i^+} \right) + \sum_{k=1}^n \left( \frac{A_k^-}{R_k^-} \right)}. \quad (3)$$

Все обозначения в формуле (3) те же, что и в формуле (1).

Анализ формул (1) и (3) позволяет сделать следующие заключения. Для того чтобы уменьшить тепловой поток через наружные ограждающие конструкции помещений холодного чердака, необходимо снизить температуру воздуха на чердаке. При заданных значениях температур наружного ( $t_{ext}$ ) и внутреннего ( $t_{int}$ ) воздуха, неизменных геометрических размерах ограждающих конструкций холодного чердака ( $A_i^+$ ,  $A_k^-$ ,  $V_g$ ) и постоянной длине трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения ( $l_{pj}$ ) снижение температуры воздуха в помещениях холодного чердака обеспечивается уменьшением теплопоступлений. Добиться уменьшения теплопоступлений в помещения холодного чердака можно путем проведения следующих инженерных мероприятий:

- утепления чердачного перекрытия (увеличением величины  $R_i^+$ );
- теплоизоляции трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения (уменьшением величины  $q_{pj}$ );
- увеличения воздухообмена в чердачных помещениях (увеличением численного значения  $n_\alpha$ ).

Перечисленные выше мероприятия по предотвращению образования ледяных дамб и наледей (сосулек) на свесах кровли достаточно хорошо известны. Преимущество предложенного расчетного метода заключается, в частности, в точном определении требуемых толщин утеплителя для изоляции трубопроводов и утепления чердачных перекрытий.

Утепление чердачного перекрытия уменьшает приток тепла из помещений верхнего эксплуатируемого этажа здания, изоляция трубопроводов снижает их теплоотдачу. Тем самым уменьшается количество поступающего на чердак тепла. Соответственно, на чердаке снижается температура воздуха. При определенной толщине слоя утеплителя, которую можно рассчитать по уравнению теплового баланса, достигается такое снижение температуры воздуха в чердачном пространстве ( $t_{int}^g$ ), при котором энергии теплового потока становится недостаточно для разогрева покрова снега, лежащего на кровельном покрытии здания. Если снег на кровле не будет таять над помещениями чердака, значит, не будут образовываться наледы на свесах кровельного покрытия.

Следует отметить, что только при совокупном и одновременном выполнении перечисленных выше мероприятий можно достигнуть положительного результата. Утепление только чердачного перекрытия без соответствующей изоляции трубопроводов может привести к размораживанию системы отопления, проложенной на чердаке.

Помимо решения проблемы образования наледей на крышах зданий с холодным чердаком, перечисленный выше комплекс мероприятий приводит к уменьшению потерь тепловой энергии на отопление, к улучшению параметров микроклимата в эксплуатируемых помещениях верхних этажей.

Для реализации перечисленных мероприятий могут быть использованы любые материалы и технологии, обеспечивающие необходимый уровень теплоизоляции для конкретного здания и удовлетворяющие действующим на территории Российской Федерации противопожарным и санитарно-гигиеническим требованиям.

Анализ формулы (3) приводит также к другому немаловажному выводу. При увеличении сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций холодного чердака ( $R_k^-$ ), например, кровельного покрытия, температура воздуха в чердачных помещениях ( $t_{int}^g$ ) возрастает. Это автоматически приводит к нарушению условия (2). Тем самым создаются условия для образования наледей на кровельном покрытии. Слой снега определенной толщины на кровельном покрытии увеличивает его сопротивление теплопередаче  $R_k^-$ , т.е. является противовесом для описанных ранее мероприятий по предотвращению образования наледей на крышах зданий. Это, в частности, означает, что одним из условий предотвращения образования наледей на крышах является периодическая уборка снега с кровельных покрытий зданий с холодным чердаком. Т.е. убирать снег с кровельных покрытий зданий в любом случае необходимо, даже при совокупной реализации предлагаемых выше мероприятий.

Наличие наледей на крышах зданий после их механического удаления в процессе уборки и сброса снега с крыш часто приводит к протечкам кровельного покрытия, которое повреждается в результате ударных воздействий острых металлических предметов. Таким образом, отсутствие наледей на крышах обеспечивает, в том числе, лучшую сохранность кровельного покрытия после уборки и сброса снега, увеличивает эксплуатационный срок службы покрытия, уменьшает вероятность образования протечек.

## Литература

1. Гусев Н. И., Кубасов Е. А. Конструктивные решения по предотвращению образования наледей на крышах // Региональная архитектура и строительство. 2011. №1. С. 100-107.
2. Гусев Н. И., Кубасов Е. А., Кочеткова М. В. Средства для удаления наледей с крыш // Региональная архитектура и строительство. 2011. №2. С. 104-108.
3. Петров К. В., Золотарева Е. А., Володин В. В., Ватин Н. И., Жмарин Е. Н. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2. С. 59-64.
4. Дружинин П. В., Бараш А. Л., Савчук А. Д., Юрчик Е. Ю. Способы недопущения льдообразования на крышах зданий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2007. Т.4. №14. С. 6-13.

Горшков А.С., Ватин Н.И., Урустимов А.И., Рымкевич П.П. Расчетный метод обоснования технологических мероприятий по предотвращению образования ледяных дамб на крышах зданий со скатной кровлей

5. Гурьянова О. Н. Энергосберегающая технология борьбы с сосульками // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2007. №12. С. 213-215.
6. Бугаев А. С., Лапшин В. Б., Палей А. А. Почему возникла проблема сосулек? // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 3. С. 14-25.
7. Васин А. П. Тепловизионное обследование зданий и анализ причин образования наледей // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 2. С. 92-98.
8. Лукинский О. А. Проблемы скатных кровель // Жилищное строительство. 2008. № 2. С. 46-47.
9. Москвитин В. А. Устройство теплоизоляции чердачных перекрытий монолитной укладки из композиционного материала «ПОРОПЛАСТ CF 02» // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 6. С. 53-54.
10. Порывай Г. А. Техническая эксплуатация зданий. М.: Стройиздат, 1974. 254 с.
11. Сокова С. Д. Основы создания методики оценки состояния и прогнозирования долговечности кровель в условиях эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 542-544.
12. Tobiasson W., Buska J., Grotorex A. Вентиляция чердаков для ликвидации сосулек на карнизах кровли // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 3. С. 20-25.
13. Antonio Colantonio. Thermal Performance Patterns on Solid Masonry Exterior Walls of Historic Buildings // Journal of Building Physics. 1997. Vol. 21, 2. Pp. 185-201.
14. Jokisalo Juha, Kurnitski Jarek, Korpi Minna, Kalamees Targo, Vinha Juha. Building leakage, infiltration and energy performance analyses for Finnish detached houses // Building and Environment. 2009. Vol. 44, Iss. 2. Pp. 377-387.
15. Dyrbol S., Svendsen S., Elmroth A. Experimental Investigation of the Effect of Natural Convection on Heat Transfer in Mineral Wool // Journal of Thermal Envelope and Building Science. 2002. Vol. 26(2). Pp. 153-164.
16. Haese P. M., Teubner M. D. Heat exchange in an attic space // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2002. Vol. 45, Iss. 25. Pp. 4925-4936.
17. Paula Wahlgren. Overview and Literature Survey of Natural and Forced Convection in Attic Insulation // Journal of Building Physics. 2007. Vol. 30, 4. Pp. 351-370.
18. Paula Wahlgren. Measurements and Simulations of Natural and Forced Convection in Loose-Fill Attic Insulation // Journal of Building Physics. 2002. Vol. 26. Pp. 93-109.
19. Peter Blom. Venting of Attics and Pitched, Insulated Roofs // Journal of Building Physics. 2001. Vol. 25, 1. Pp. 32-50.
20. Shimin Wang, Zhigang Shen, Linxia Gu. Numerical simulation of buoyancy-driven turbulent ventilation in attic space under winter conditions // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. Pp. 360-368.
21. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
22. ГОСТ 12.1.005–88\*. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
23. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
24. СНиП 23–01–99\*. Строительная климатология.
25. Правила и нормы технической эксплуатации жилищного фонда / Минюст РФ. 2003. Регистрационный №5176).

*\*Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. моб.: +7(921) 388-43-15; эл. почта: alsgor@yandex.ru*

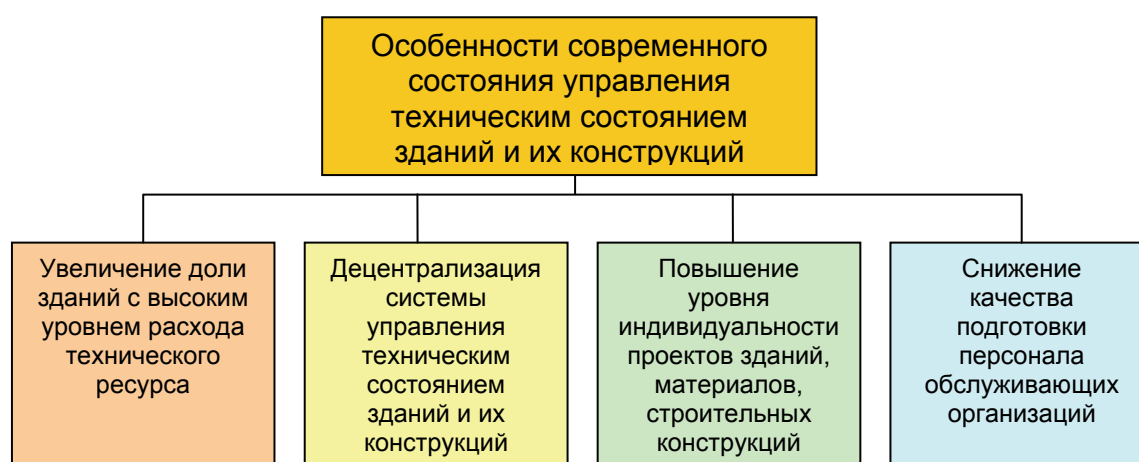
## Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

*Д.т.н., профессор В.З. Величкин;  
старший преподаватель Т.Н. Солдатенко\*,*

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** состояние строительных конструкций; функция принадлежности; нечеткая логика; интеллектуальная поддержка принятия решений

Задачи управления техническим состоянием зданий и их строительных конструкций претерпевают в настоящее время существенное изменение. Для ремонтно-строительного производства, осуществляемого управляющими организациями, наблюдаются тенденции, основные из которых приведены на схеме рис. 1.



**Рисунок 1. Основные особенности состояния системы управления техническим состоянием зданий и их строительных конструкций**

Указанные на рис. 1 особенности являются причинами того, что растет уровень неопределенности принятия соответствующих решений по управлению техническим состоянием строительных конструкций. Также это явление обусловлено [1, 2]:

- неполным соответствием учитываемых на этапе проектирования расчетных схем и расчетных ситуаций реальной работе строительных конструкций;
- неоднородностью прочностных, деформационных, структурных, теплозащитных, акустических, химических и других свойств материалов, используемых в строительных конструкциях, а также свойств, определяющих их стойкость к внешним воздействиям и долговечность;
- неопределенностью и возможной изменчивостью условий эксплуатации здания, зависящих от технологических процессов, которые в нем осуществляются, а также от внешних факторов (недостатки тепло- и энергоснабжения, погодные аномалии и т.п.);
- отсутствием достаточного объема статистических данных о свойствах новых материалов и строительных конструкций здания, проявляющихся в процессе строительства и последующей эксплуатации здания;
- неопределенной результативностью применяемых методов противодействия негативным факторам.

Эти особенности необходимо учитывать при планировании работы управляющих организаций, отвечающих за состояние зданий, в том числе при определении фактического технического состояния зданий [3, 4]. Для снятия неопределенности ситуации разработано несколько подходов [5, 6, 7]. Одним из наиболее перспективных направлений в повышении эффективности управления техническим состоянием строительных конструкций в условиях неопределенности является применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений управляющей организации [8, 9]. Под интеллектуальными системами поддержки принятия решений в статье понимается такая система Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

поддержки принятия решений, в которой используются методы искусственного интеллекта [10, 11, 12]. В статье рассматривается вариант построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, в рамках которого применяются методы поддержки принятия решений, основанные на применении методов нечеткой логики при оценивании состояния строительных конструкций [13, 14]. Основными отличиями рассмотренного подхода от известных является совместный учет двух факторов неопределенности – нечеткости принятия решения по управлению на основе ретроспективных данных о состоянии строительной конструкции здания и нечеткости получения текущей информации при применении инструментальных и экспертных методов оценок текущего технического состояния конструкций. Это позволяет снизить общий уровень неопределенности ситуации, получить более точные управляющие решения.

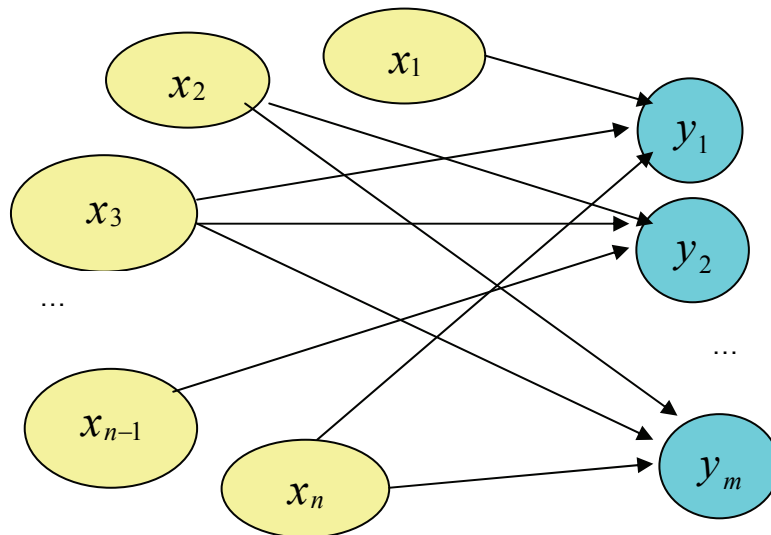
Такой подход является актуальным для современного состояния системы эксплуатации зданий, поскольку позволяет существенно повысить эффективность процесса принятия решений о проведении необходимых управляющих воздействий по сравнению с другими известными методами [15, 16]. Объектом рассмотрения в настоящей статье выступают строительные конструкции зданий. Предметом исследования является процесс формирования решений управляющей организации по управлению техническим состоянием строительных конструкций зданий с применением интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Практическая значимость получаемых результатов состоит в том, что при рассмотренном подходе создаются предпосылки к автоматизации процесса подготовки и принятия решений по управляющим воздействиям, адекватным целям деятельности управляющей организации по обеспечению необходимой долговечности строительных конструкций. Перейдем к изложению существа предлагаемого подхода.

### *Математическая модель принятия решения в обслуживающей организации по управлению состоянием строительных конструкций зданий*

Повысить точность формирования управляющих воздействий (достаточно дорогостоящих и трудоемких) возможно при совместном использовании накопленной (ретроспективной) информации, результатов текущего контроля и мониторинга состояния строительных конструкций, а также результатов экспертного заключения по эффективности применяемых мероприятий по обеспечению долговечности строительных конструкций [17, 18]. Обобщение разнородной информации и получение сложных логических выводов возможно на основе применения интеллектуальных систем поддержки принятия решений [10, 16, 19]. Однако их широкому распространению и внедрению в практику деятельности управляющих организаций препятствует недостаточная проработка вопросов моделирования принимаемых решений в условиях существенной неопределенности. На преодоление этого недостатка и нацелена данная статья. Рассмотрим модель принятия решения по выбору управляющего решения по управлению техническим состоянием строительной конструкции.

Предположим, что состояние строительной конструкции характеризует один параметр (показатель некоторого свойства). Обозначим его через  $x$ . В случае нескольких параметров состояния можно осуществить их свертку. Один из возможных способов свертки множества параметров состояния в скалярную величину рассмотрен в работе [13]. Полагается, что параметр состояния  $x$  строительной конструкции доступен для наблюдения и измерения инструментальными и экспертными методами. Предположим, что для параметра  $x$  установлено некоторое множество его состояний, которые составляют вектор  $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ . Например, для строительных конструкций нормативными документами вводится пять уровней состояния – от работоспособного (исправного) до аварийного (согласно ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», СП 13-102-2003. «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», ВСН 57-88(р). Положение по техническому обследованию жилых зданий). Пусть также возможные мероприятия по воздействию на исследуемую строительную конструкцию представляют собой вектор  $Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_m \rangle$ . Каждому из состояний  $x_i$  ( $i = 1(1)n$ ) должно быть заранее сопоставлено одно или несколько возможных управляющих воздействий  $y_j$ ,  $y_j \in Y$  ( $j = 1(1)m$ ). Соответствие состояний строительной конструкции возможным управляющим мероприятиям  $y_j$  ( $j = 1(1)m$ ) должно быть задано некоторым правилом  $P$ . Это можно пояснить схемой на рис. 2.



**Рисунок 2. Экспертно установленные правила соответствия управляющих воздействий на строительную конструкцию возможным ее состояниям**

Таким образом, можно сформировать множество управляющих воздействий  $U = \langle u_1, u_2, \dots, u_K \rangle$ , в состав которого входят элементы структуры выбора конкретного воздействия при зафиксированном в ходе контроля состоянии  $x_f$  строительной конструкции. Решения по управлению  $u_i$  ( $i = 1(1)n$ ) должны формироваться системой поддержки принятия решений управляющей организации. Будем полагать, что неизвестность ситуации управления характеризуется вектором  $\Omega = \langle \omega_1, \omega_2 \rangle$  частных условий неопределенности. Условие  $\omega_1$  характеризует неопределенность соответствия каждого  $u_i$  ( $i = 1(1)K$ ) конкретному состоянию  $x$  из-за ограниченности исходных данных для описания изменения состояния строительной конструкции, особенно нового типа, в условиях эксплуатации здания и его реакции на возможные управляющие воздействия. Условие  $\omega_2$  характеризует неопределенность определения фактического состояния  $x_f$  параметра  $x$  при выполнении инструментального или экспертного контроля строительной конструкции при мониторинге состояния здания специалистами управляющей организации. Учтем неопределенность типа  $\omega_1$  введением нечеткого описания состояния строительной конструкции здания с помощью лингвистической переменной  $\tilde{x}$ . В этом случае можно записать [13,20,21]:

$$\tilde{x} = \{x, \mu_x\}, \quad (1)$$

где  $\mu_x$  – функция принадлежности лингвистической переменной  $\tilde{x}$ .

В данной работе с учетом соотношения (1) предлагается соответствие  $P$  характеризовать знанием, определяемым продукционным правилом типа «ЕСЛИ ..., ТО» [15, 21]. Таким образом, интеллектуальное принятие решения по управлению состоянием строительной конструкции представляет собой операцию импликации

$$u^* : (\tilde{x} \rightarrow \tilde{y}) / P. \quad (2)$$

Рассмотрим теперь ситуацию, связанную с фактором  $\omega_2$ . Предположим, что из-за особенностей системы контроля получить точную количественную оценку  $x_f$  текущего состояния строительной конструкции здания нет возможности. При этом результат контроля  $q_f$  строительной конструкции представляет собой один из термов  $q$  множества  $Q$  термов значения контролируемого параметра. Например, если нечеткое значение  $\tilde{x}$  контролируемого параметра  $x$  имеет значение «высокий», то термы  $q$  указанного значения могут иметь вид «умеренно высокий», «сравнительно высокий», «не очень высокий», «очень высокий» и т.д. В этом случае параметр  $x$  строительной конструкции может быть оценен по косвенным признакам, например, в виде: «значение параметра довольно высокое», при этом

указывается уровень принадлежности результата контроля к одному из термов. Поэтому для каждого термина  $q$  лингвистической переменной  $x$  необходимо по результатам ретроспективной информации построить его функцию принадлежности (ФП). При сделанных допущениях модель принятия решения по использованию мероприятия  $y_f$  по управлению состоянием строительной конструкции здания можно представить следующим образом:

$$u^*(y_f) = W(q_f, P, y_f / \omega_1, \omega_2), \quad (3)$$

где  $P$  – правило соответствия воздействия  $y_f$  фактическому состоянию  $q_f$  строительной конструкции с учетом неопределенностей двух типов.

В этом случае результат оценки  $z_f$  технического состояния строительной конструкции по контролируемому параметру  $x$  с учетом двух видов неопределенности представляет собой результат пересечения двух функций принадлежности – ФП параметра  $x_f$ , характеризующей продукционное правило (2), и ФП результата  $\tilde{q}_f$  текущего контроля технического состояния строительной конструкции. Максимальное значение полученной в ходе этого объединения ФП нечеткой переменной  $\tilde{z}_f$  будет представлять собой значение итоговой ФП оценки фактического состояния строительной конструкции. Это заключение представлено соотношением [15, 16]:

$$\mu(\tilde{z}_f) = \text{height}(\tilde{q}_f \cap \tilde{x}_f) = \sup_{\substack{x_f \in X \\ q_f \in Q}} \min(\mu(q_f), \mu(x_f)). \quad (4)$$

Значение показателя, представленное в выражении (4), будем называть  $\alpha$ -уровнем результата  $\tilde{z}_f$  контроля состояния строительной конструкции. После этого в соответствии с продукционным правилом (2) и управлением  $u^*$  следует определить предполагаемый вид управляющего воздействия  $y_f$  на строительную конструкцию по параметру  $x$ . Управление  $u^*$  для строительной конструкции должно наиболее полно соответствовать фактическому состоянию  $x_f$  исследуемой строительной конструкции здания.

Последовательность действий по принятию решения об управляющем воздействии на состояние строительной конструкции, характеризующее параметром  $x$ , для рассматриваемого случая представлена на схеме рис. 3.

Таким образом, при получении решения по управлению состоянием строительной конструкции используются элементы искусственного интеллекта, поэтому система, реализующая эту процедуру, может быть отнесена к классу интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Рассмотрим расчетный пример, характеризующий применимость разработанной в статье методики.

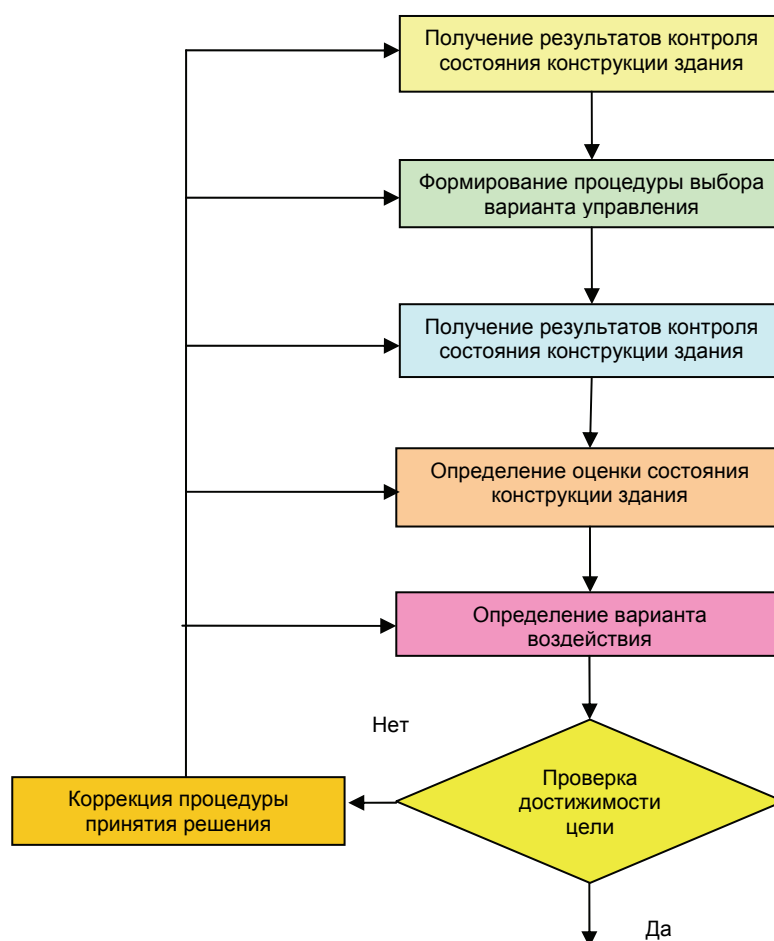


Рисунок 3. Этапы подготовки и принятия решения по выбору управляющего воздействия на состояние строительной конструкции здания

## Расчетный пример

### Постановка задачи.

Данное здание является примером нарушения правил эксплуатации, выражающегося в несвоевременной защите стены здания от повышенного увлажнения, вызванного повреждениями кровли (рис. 4). Параметром  $x$  ее состояния является остаточный ресурс надежности в годах эксплуатации [22]. К множеству возможных управляющих воздействий относятся укрепление конструкции, разборка части стены здания; снос здания и т.д. [23]. Предполагается, что по результатам анализа ретроспективной информации определено, что предусмотренные пределы изменения параметра  $x$  находятся в пределах интервала  $[0; 4]$  (лет). При этом эксперт описывает данный параметр как лингвистическую переменную: «остаточный ресурс».



Рисунок 4. Фото поврежденной стены здания

Для числового описания данного параметра используется колоколообразная функция принадлежности с показателями:  $b = 2, 2$  (года) и  $c = 0, 4$ .

Экспертный вывод предполагает возможное для данной нечеткой величины управляющее воздействие, имеющее также колоколообразную функцию принадлежности с параметрами  $b = 100$  и  $c = 50$ . Уровень воздействий в данном случае может определяться стоимостью проводимых мероприятий, например, в долях процентов от стоимости полной замены строительной конструкции. Тогда значения нечеткой переменной, характеризующей управление состоянием строительной конструкции, может иметь пределы изменения  $[0; 100]$ .

Особенности системы контроля строительной конструкции здания не позволяют получить точное значение параметра  $x$ . Текущее значение параметра строительной конструкции оценивается экспертно по косвенным признакам. Для каждого из возможных состояний строительной конструкции вводятся термы  $q$ , имеющие вид: «остаточный ресурс очень низкий», «остаточный ресурс низкий», «остаточный ресурс удовлетворительный» и т.д. Для каждого из указанных термов экспертным способом определена на основе ретроспективной информации соответствующая ФП. При исследовании текущего состояния стены эксперты получили вывод о том, что  $q_f = 1, 8$  (года), где  $q_f$  – оценка значения остаточного ресурса строительной конструкции. Для расчетов используется допущение о том, что терму «остаточный ресурс низкий» соответствует колоколообразная ФП со следующими показателями: координата максимального значения ФП равна 1,8 года; коэффициент концентрации равен 0,1.

### Необходимо:

подготовить обоснованный вариант решения по интеллектуальному управлению состоянием строительной конструкции (поврежденной стены здания).

### Решение задачи.

Рассмотрим два варианта постановки задачи.

Первый вариант задачи состоит в том, что результат  $q_f$  контроля строительной конструкции рассматривается как четкое число. Принятие решения для этого результата приведено на графике рис. 5. Синяя стрелка показывает способ реализации продукционного правила  $P$  для данного результата контроля.

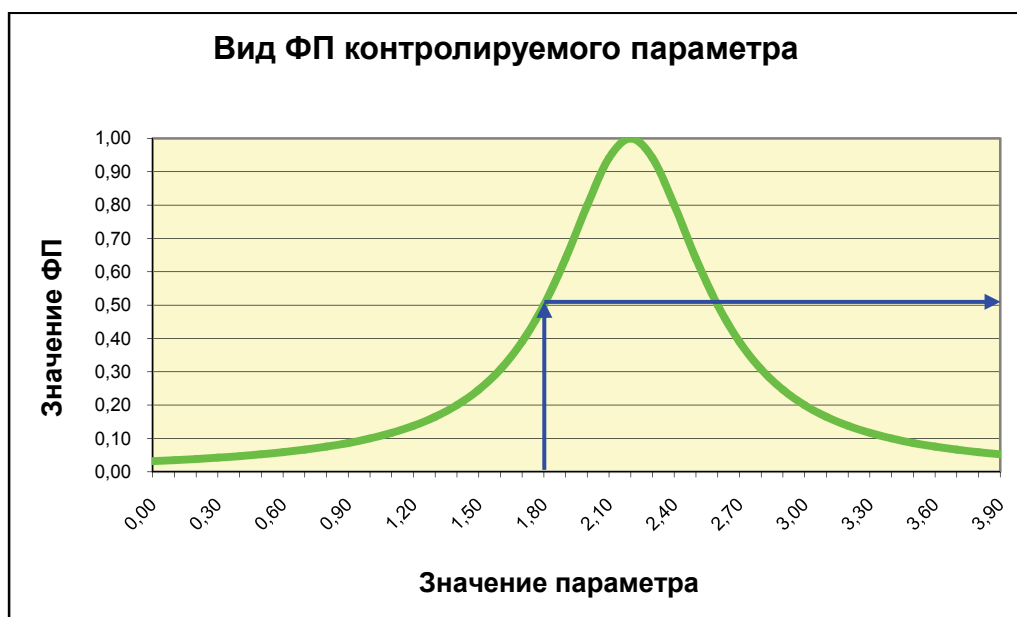


Рисунок 5. Вид ФП для значения параметра состояния «остаточный ресурс»

Идея осуществления процедуры интеллектуального выбора управляющего решения представлена на графике рис. 6.

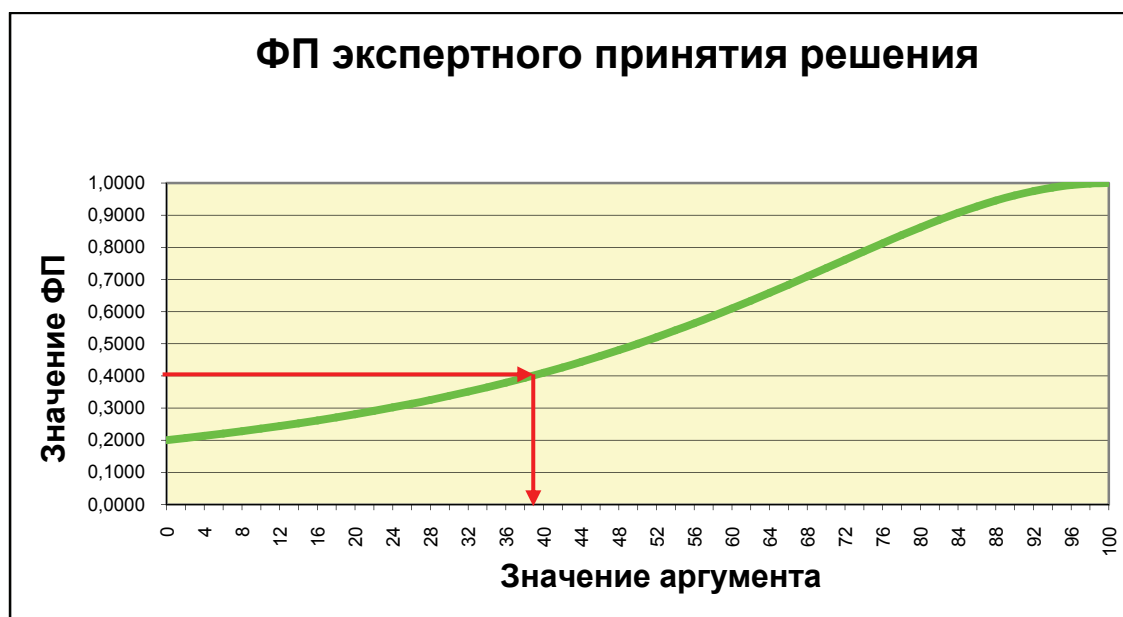


Рисунок 6. Вид ФП для возможных управляющих воздействий

Красная стрелка на графике рис. 6 определяет управляющее воздействие с экспертно установленным приемлемым уровнем затрат на осуществление управления при зафиксированном текущем состоянии строительной конструкции. Это состояние выражено четким значением  $q_f$  параметра, равным 1,8 года.

Рассмотрим теперь второй вариант решения задачи. Параметр состояния стены представляет собой нечеткую величину с несколькими термами. Как и в первом примере, изменение параметра  $x$  «остаточный ресурс» находится в пределах интервала  $[0; 4]$  года. Однако теперь результат  $\tilde{q}_f$  оценивания состояния строительной конструкции характеризуется термом «Остаточный ресурс низкий», имеющим соответствующую ФП. Этот результат представлен на графике рис. 7.

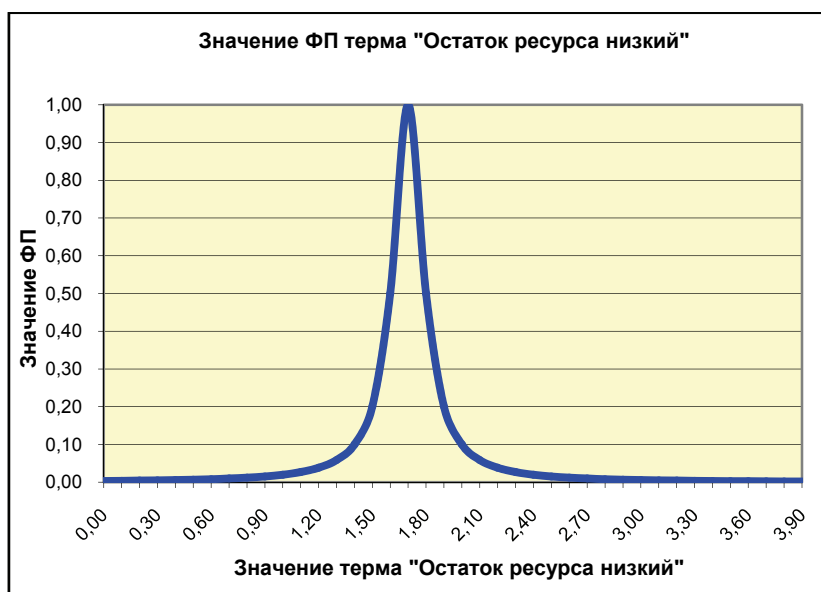


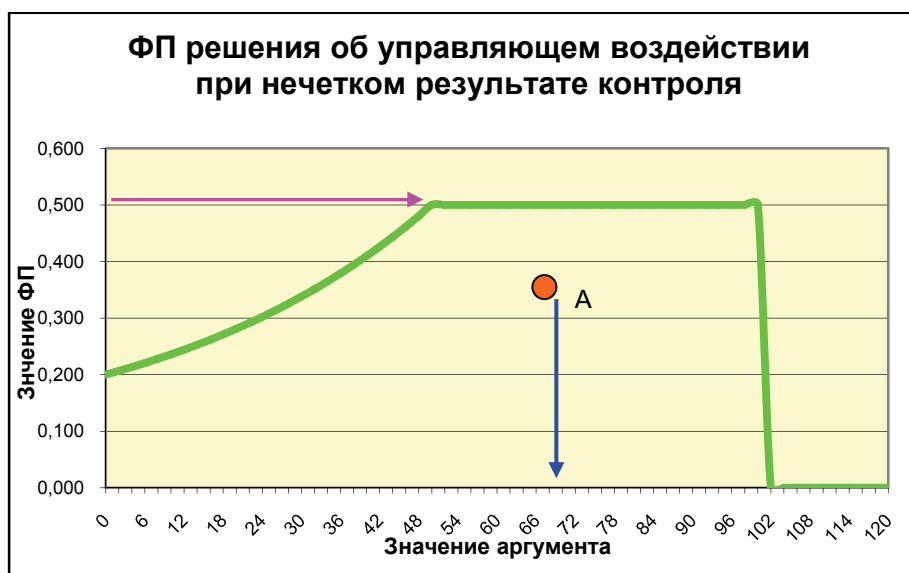
Рисунок 7. Вид ФП для значения  $\tilde{q}_f$  терма «Остаточный ресурс низкий»

Получим теперь оценку  $z_f$  на основе реализации правила пересечения двух нечетких множеств в соответствии с выражением (4). Данное действие отражено на рис. 8.



Рисунок 8. Вид ФП для оценки состояния конструкции при нечетком контроле

Значения ФП результата контроля представляют собой минимальные значения для двух рассматриваемых ФП при одних и тех же числовых значениях параметра состояния конструкции. Итоговая ФП имеет на рис. 8 вид зависимости, представленной графиком красного цвета. Максимальное значение этой итоговой ФП соответствует уровню  $\alpha$ . Для выбора управляющего воздействия исходная ФП (см. рис. 6) отсекается на уровне  $\alpha$  [16, 21]. Итоговая ФП интеллектуального решения представлена на рис. 8 (график зеленого цвета).



**Рисунок 8. Вид итоговой ФП для принятия решения об управлении состоянием конструкции при нечетком контроле**

Для определения четкого аргумента управления состоянием конструкции можно воспользоваться методом «центра тяжести» [16, 21]. В данном случае точка «А» на рис. 8 соответствует «центру тяжести» ФП принятия решения. Синяя стрелка, начало которой находится в «центре тяжести», определяет целесообразное решение по управлению состоянием конструкции. Сравнение ФП получаемых решений для двух вариантов задачи по управлению состоянием строительной конструкции (рис. 6 и рис. 8) показывает, что снижение уровня определенности контроля состояния приводит к повышению цены необходимых воздействий. Это соответствует реальной ситуации экспертного оценивания состояния строительной конструкции, когда снижается уверенность эксперта в формулировании вывода при «размывании» условий получения экспертного заключения и он предпочитает «подстраховаться», выбирая более эффективный способ воздействия на строительную конструкцию, который является при этом более дорогим.

### Выводы

На основе представленного материала можно сделать следующие выводы. Используя аппарат нечеткой логики, можно построить модель интеллектуального принятия решения по управлению состоянием строительных конструкций зданий. Основными элементами модели являются описания нечеткого продукционного вывода и нечеткого контроля состояния строительной конструкции здания, при формировании которых используются инструментальные средства и знания экспертов. Получаемые при моделировании рекомендации позволяют более точно определять расходы на эксплуатацию зданий за счет учета существенных неопределенностей, характерных для такого типа объектов.

Анализ известных работ, посвященных управлению состоянием строительных конструкций зданий, показал, что в рассматриваемых методах и моделях не в полной мере учитывается неопределенность результатов текущего контроля фактического состояния конструкций и принятия управляющего решения, обусловленная рядом объективных факторов, включая ограниченность имеющейся ретроспективной информации. Выходом из создавшегося положения является совершенствование систем поддержки принятия решений в направлении обобщения знаний и опыта экспертов с результатами инструментального и визуального контроля строительных конструкций.

В статье обоснована актуальность разработки моделей интеллектуального принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий на основе использования математического аппарата нечеткой логики. С помощью предлагаемого подхода снижается уровень неопределенности при определении эксплуатационных воздействий на строительные конструкции зданий для обеспечения их требуемой долговечности. Кроме этого, формируются предпосылки автоматизации сложной логической обработки экспериментальных и экспертных данных. Критерием принятия решения по выбору адекватного мероприятия для обеспечения необходимого ресурса строительной конструкции здания выступает конечное заключение о фактическом состоянии исследуемой строительной конструкции здания и возможностях обеспечения ее долговечности.

Данный подход может найти практическое применение в управляющих организациях, осуществляющих поддержание работоспособного состояния зданий.

Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

## Литература

1. Рогонский В. А., Костриц А. И., Шеряков В. Ф. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб.: Стройиздат СПб, 2004. 272 с.
2. Ройтман А. Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. М.: Стройиздат, 1985. 175 с.
3. Соколов В. А., Синяков Л. Н., Страхов Д. А. Обследование и испытание зданий и сооружений. Поверочные расчеты: Метод. Указания. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 68 с.
4. Kim Y. W., Kim S. C. Cost analysis of information technology-assisted quality inspection using activity-based costing // Construction Management & Economics. 2011. Vol. 29. No. 2. Pp. 163-172.
5. Englund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis // ACJ Materials Journal. 1999. Vol. 96. No. 2. Pp. 160-166.
6. Солдатенко Т. Н. Программа обслуживания комплекса жизнеобеспечения здания, оптимальная по нескольким критериям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №2(120). С. 81-86.
7. Соколов В. А. Построение решения для оценки технического состояния конструктивных систем зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 6. С. 48-57.
8. Терелянский П. В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2009. 127 с.
9. Головина Е. Ю. Корпоративные информационные системы и методы их разработки. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 94 с.
10. Антамошин А. Н., Близнава О. В., Бобов А. В., Большаков А. А. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами. М.: Горячая линия Телеком, 2006. 160 с.
11. Eremeev A., Kurilenko I., Varshavskiy P. Application of Temporal Reasoning and Case-based Reasoning in Intelligent Decision Support Systems // Supplement to International Journal «Information technologies & knowledge». 2009. Vol. 3. Pp. 9-16.
12. Liu K. F. R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2003. Vol. 18. Pp. 426-439.
13. Солдатенко Т. Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе нечеткого анализа причин их появления // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7(25). С. 52-61.
14. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O. Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buildings // Advances in Computational Intelligence and Learning, Methods and Applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. Pp. 401-412.
15. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
16. Асаи К., Ватада Д., Иван С. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. М.: Мир, 1993. 368 с.
17. Уткин В. С., Уткин Л. В. Экспертный метод определения физического износа зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2000. № 1. С. 48.
18. Солдатенко Т. Н. Экспертно-статистический метод оценивания параметров управляющих воздействий на инженерные сети зданий в условиях неопределенности // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 60-66.
19. Averkin A. N., Titova N. V., Agrafovna T. V. Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment // Proceeding of the 5 th EUSFLAT Conference. Ostrava, Czech Republic: 2007. Vol. 1. Pp. 377-379.
20. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 167 с.
21. Алексеев А. А., Кораблев Ю. А., Шестопалов М. Ю. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 352 с.
22. Мирошниченко А. С. Обследование и оценка остаточных ресурсов строительных конструкций. Уч. Пособие. М.: МИКХиС, 2004. 65 с.
23. Гроздов В. Т. Техническое обслуживание строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: Издательство дом KN+, 2001. 140 с.

*\*Тамара Николаевна Солдатенко, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: soldatenko-tn@bk.ru*

Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

## Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

*К.т.н., доцент, декан дорожно-транспортного факультета В.Г. Еремин;  
аспирант Као Ван Лам\*,*

*ФГБОУ ВПО Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

**Ключевые слова:** автоматизация; износ; частный износ; определение износа; условие движения; мостовое полотно; эксплуатация; транспортно-эксплуатационное состояние

Одной из важнейших характеристик мостового полотна является его транспортно-эксплуатационное состояние, определяющее характер и условия движения по мостовому сооружению. Транспортно-эксплуатационное состояние оценивается в соответствии с износом отдельных элементов мостового полотна. Процесс определения износа и оценки условий движения является трудоемкой задачей, требующей высокой квалификации исследователя и неоднократного обращения к базе данных по оценке износа отдельных элементов.

Наиболее удачной интегральной эксплуатационной характеристикой, увязанной с прогнозируемым остаточным ресурсом, резервом несущей способности и надёжностью сооружения в целом, является показатель физического износа сооружения. Он необходим для оценки изменения технического состояния конструкций во времени, а также для качественной оценки состояния различных строительных конструкций и выбора метода ремонтно-восстановительных работ. Кроме того, показатель физического износа мостового полотна является базой для оценки транспортно-эксплуатационного состояния при эксплуатации мостовых сооружений. Показателями транспортно-эксплуатационного состояния являются безопасная скорость движения  $[V]$  и величина перегрузки элементов мостового сооружения, представленная значениями динамического коэффициента  $(1+\mu)$ . Величины  $[V]$  и динамический коэффициент  $(1+\mu)$  зависят от величины износа элементов мостового полотна.

В жизненном цикле мостового сооружения наиболее продолжительной является стадия эксплуатации. От режима эксплуатации моста, т.е. организации обслуживания и обеспечения своевременного проведения ремонтных работ, в значительной степени зависит срок его службы. В течение эксплуатации должна поддерживаться постоянная работоспособность сооружения независимо от воздействий движения автотранспортных средств, погодно-климатических и техногенных изменений окружающей среды, под влиянием которых происходит физический износ конструкций.

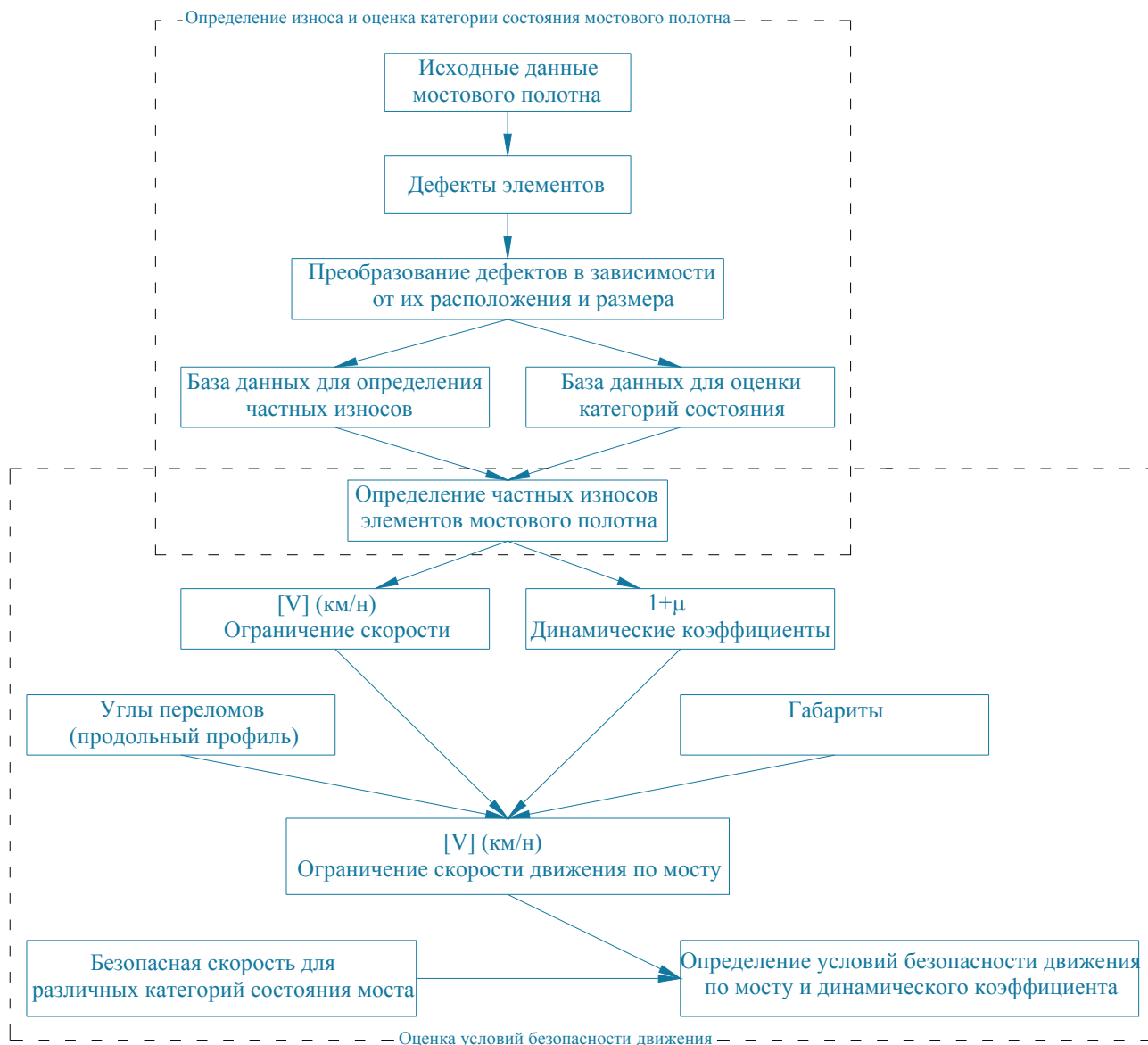
В России и за рубежом проблема содержания и эксплуатации мостовых сооружений на автомобильных дорогах многогранна, ее исследованию посвящено большое количество публикаций. Среди трудов, посвященных непосредственно эксплуатации и управлению техническим состоянием мостовых сооружений и проблемам оценки и прогнозирования их технического состояния, можно выделить работы Е.Ш. Андерсона [1], А.И. Васильева [2], Э.С. Карапетова [3], Г.Л. Ласзло [4], Н. Лукина [5], Р.К. Мамажанова [6], И.Г. Овчинникова [7], Ф.А. Пармелея [8], А.М. Рузова [9], С. Русса [10], А.В. Сыркова [11], Р.Д. Томпсона [12,13], В.И. Шестерикова [14,15] и др.

В данной статье предлагаются методика определения износа разрезных железобетонных балочных пролетных строений [16] и алгоритм программы, позволяющей оценивать степень износа элементов мостового полотна и транспортно-эксплуатационное состояние мостовых сооружений. Данный алгоритм представлен на рисунке 1.

В блоке «*Определение износа и оценка категории состояния мостового полотна*» с помощью табличного процессора Excel износ мостового полотна определен по показателям износа отдельных элементов в соответствии с его классификационным частным износом с использованием коэффициентов значимости, приведенных в [17]. При нагрузках от движения автотранспортных средств, погодно-климатических и техногенных изменений окружающей среды в элементах мостового полотна, а также в конструкциях мостовых сооружений возникают и развиваются повреждения (дефекты), зависящие от качества заводского изготовления, технологии строительства, применяемых материалов и способности их сопротивления старению [18,19]. По величине дефектов рассчитываются частные износы в процентах для 8 элементов мостового полотна (табл. 1): покрытия, гидроизоляции, системы водоотвода, тротуаров, перил, деформационных швов, ограждений безопасности и сопряжений с насыпью. Основой для определения частного износа элемента является база данных, взятая из ОДМ 218.0.018-03 [20] и помещенная в блок-схему программы. При подстановке величины дефектов в таблицу дефектов автоматически заполняются столбцы 3,4,5 таблицы 1, характеризующие износ элемента.

Еремин В.Г., Као Ван Лам. Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

Алгоритм автоматизации оценки транспортно-эксплуатационного состояния состоит из двух блоков: определение износа и оценка категории состояния мостового полотна; оценка условий безопасности движения.



**Рисунок 1. Алгоритм автоматизированной программы определения износа элементов мостового полотна и оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений**

При назначении работ по оценке износа следует ориентироваться на следующие пороговые значения износа мостового полотна и категории его состояния в соответствии методикой [17], которые помещены в отдельную базу:

- категория состояния 0 –  $I_1 \leq 2\%$  (требуется затраты только на нормативное содержание);
- категория состояния А –  $I_2 \leq 10\%$  (требуется сверхнормативные затраты на проведение профилактических работ);
- категория состояния Б –  $I_3 \leq 40\%$  (ликвидация износа осуществляется при проведении планово-предупредительных работ по восстановлению отдельных элементов);
- категория состояния В –  $I_4 \leq 70\%$  (ликвидация износа осуществляется за счет восстановления и замены большего числа элементов; работы выполняют за счет средств на ремонт мостовых сооружений);
- категория состояния Г –  $I_5 > 60-80\%$  (требуется реконструкция сооружения, так как полная замена элементов пролётного строения более выгодна, чем их восстановление).

Данные категории определяются для каждого элемента и подставляются в столбец 6 табл. 1. Общая категория мостового полотна оценивается по максимально изношенному элементу.

В рассмотренном примере категория состояния мостового полотна принята «В», что свидетельствует о необходимости восстановления и замены большего числа элементов, причем работы выполняют за счет средств на ремонт мостовых сооружений. Показатели износа мостового полотна используются для оценки общего износа мостового сооружения и его категории технического состояния.

**Таблица 1. Результат расчёта износа и категории состояния мостового полотна**

| Износ мостового полотна         |                           |                         |                              |                                                    |                                 |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
| №                               | Элемент мостового полотна | Частный износ $I_i$ , % | коэфф. значимости $\gamma_i$ | Слагаемые для определения износа мостового полотна | Категория состояния по критерию |
|                                 |                           |                         |                              |                                                    | И                               |
| 1                               | 2                         | 3                       | 4                            | 5                                                  | 6                               |
| 1                               | Покрытие                  | 20.00                   | 0.12                         | 2.40                                               | Б                               |
| 2                               | Гидроизоляция             | 40.00                   | 0.35                         | 14.00                                              | Б                               |
| 3                               | Система водоотвода        | 30.00                   | 0.10                         | 3.00                                               | Б                               |
| 4                               | Тротуары                  | 40.00                   | 0.19                         | 7.60                                               | Б                               |
| 5                               | Перила                    | 60.00                   | 0.07                         | 4.20                                               | В                               |
| 6                               | Деформационные швы        | 40.00                   | 0.05                         | 2.00                                               | Б                               |
| 7                               | Ограждения безопасности   | 34.00                   | 0.04                         | 1.36                                               | Б                               |
| 8                               | Сопряжения с насыпью      | 40.00                   | 0.08                         | 3.20                                               | Б                               |
| Итого $\sum I_i \cdot \gamma_i$ |                           |                         | 1.00                         | 37.76                                              | В                               |
| Принята категория состояния     |                           |                         |                              |                                                    | В                               |

Для блока «оценка условий безопасности движения» исходными данными являются результаты вычислений блока 1 по расчету износа отдельных элементов.

Транспортно-эксплуатационными показателями являются безопасная скорость движения  $[V]$ , величина перегрузки элементов мостовых сооружений, представленная значениями динамического коэффициента  $(1+\mu)$ . Величины  $[V]$  и  $(1+\mu)$  зависят от дефектов, т.е. износа элементов, являющегося одной из многих причин, влияющих на условия безопасности движения. К таким дефектам относятся выбоины, наплывы, колеи, просадки, сдвиги, гребенки, волны, сколы, раковины, шелушение, разрушение бетона, отсутствие защитных решеток [21,22], нарушение и повреждение деформационных швов (ДШ), коррозия, трещины (продольные и поперечные). Опираясь на оценку износа элементов мостового полотна в автоматизированном режиме, можно предложить определенную методику определения безопасной скорости движения, динамического коэффициента и категории транспортно-эксплуатационного состояния. Результаты данных определений трансформируются в числовые значения в столбцах 5,6,7 таблицы 3.

Влияние продольного профиля на условия движения выражается в появлении вертикальных ускорений автомобилей и, как следствие, в дополнительных нагрузках на несущие конструкции. Перегрузки от нарушения плавности движения при наличии углов перелома над опорами воспринимаются плитой проезжей части и несущими конструкциями. При этом с увеличением углов перелома возрастает динамический коэффициент при неизменной скорости или снижается допустимая скорость, при которой неизменной остается величина перегрузки. Исходя из результата определения динамического коэффициента в столбце 7 таблицы 3 и из требований к оценке безопасности движения, приведенной в ОДМ 218.017-2003 [17], получаем определения значений безопасных скоростей движения при различных углах перелома в столбце 3 таблицы 3.

Проблема оценки влияния габарита мостов на скорость движения автомобилей – это часть общей проблемы обеспечения единообразных условий движения на дороге. Причем для выравнивания скоростей на дороге и на мосту требуется учитывать габариты полос безопасности, ширина которых, как и размер полосы движения, зависит от расчетной интенсивности, представленной в ОДМ 218.017-2003.

По этим данным можно определить значения безопасных скоростей для различных фактических габаритов и часовой интенсивности движения автомобилей и оценивать условия движения на дороге. При этом значения  $[V]$  даны для трех случаев, отличающихся длиной мостового сооружения, а именно:  $150 \geq L \geq 50$  м,  $L > 150$  м и  $L < 50$  м. Значения безопасных скоростей движения по «узким» мостам используют для оценки состояния по критерию "безопасность"; для ограничения скоростей движения на мостовых сооружениях. Ограничение скорости при различных фактических габаритах и часовой интенсивности движения автомобилей помещается столбец 8 таблицы 3.

Из результатов определения безопасных скоростей и динамического коэффициента в соответствующем общем подходе к оценке состояния сооружений и планированию работ по содержанию и ремонту [23] транспортно-эксплуатационное состояние может быть отнесено к одной из пяти категорий состояния (табл.2). Его оценка дается с целью определения, к какой нормируемой группе транспортно-эксплуатационного состояния относится сооружение, исходя из условий безопасности движения, и решения по принятию мер для его улучшения.

**Таблица 2. Безопасная скорость для различных категорий состояния моста**

| Категория дороги                 | Расчетные скорости, км/ч | Безопасные скорости $[V]$ , км/ч, при категориях состояния |         |                      |                     |     |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|---------|----------------------|---------------------|-----|
|                                  |                          | О                                                          | А       | Б                    | В                   | Г   |
| Ia                               | 150                      | >150                                                       | 150-130 | $130 > [V] \geq 110$ | $110 > [V] \geq 40$ | <40 |
| Iб, II                           | 120                      | >120                                                       | 120-100 | $100 > [V] \geq 80$  | $80 > [V] \geq 30$  | <30 |
| III                              | 100                      | >100                                                       | 100-90  | $90 > [V] \geq 70$   | $70 > [V] \geq 25$  | <25 |
| IV                               | 80                       | >80                                                        | 80-70   | $70 > [V] \geq 50$   | $50 > [V] \geq 20$  | <20 |
| V                                | 60                       | >60                                                        | 60-55   | $55 > [V] \geq 40$   | $40 > [V] \geq 10$  | <10 |
| Оценка (по пятибалльной системе) |                          | 5                                                          | 4       | 3                    | 2                   | 1   |

Значение категории состояния:

О – обеспечен комфортный проезд.

А – обеспечена плавность движения, при которой не требуется снижения скорости движения.

Б – не обеспечена плавность движения, из-за чего требуется снижение скорости движения до уровня, установленного экономическими соображениями (оценка «посредственно»). При состоянии, относящемся к категории Б, незначительно ограничивают скорости движения до величин, указанных в табл. 2. На мосту выполняются профилактические работы, предусмотренные в документах [24] и [25].

В – не обеспечена плавность движения и не обеспечены скорости, установленные экономическими соображениями, в связи с чем условия движения характеризуются как «повышенная опасность» (оценка «неудовлетворительно» по пятибалльной системе). При состоянии, относящемся к категории В, существенно ограничивают скорость движения. На мосту выполняются восстановительные работы в соответствии с [24] и [25] – ремонт элементов мостового полотна, что относится к содержанию мостового сооружения (планово-предупредительные работы).

Г – «аварийное» транспортно-эксплуатационное состояние. При состоянии, относящемся к категории Г, пересматривают организацию движения или закрывают движение по мостовому сооружению. Требуется выполнение работ по замене элементов мостового полотна (их переустройству) либо по ремонту пролетных строений.

При состоянии, относящемся к категориям О и А, скорости движения не снижаются. На мосту выполняются нормативные работы по уходу за сооружением.

В процессе эксплуатации должно поддерживаться состояние элементов мостового сооружения, обеспечивающее плавный проезд автомобилей. Предельный износ элементов, соответствующий аварийному транспортно-эксплуатационному состоянию, составляет:

- покрытия –  $I > 80\%$ ; на период до закрытия  $V = 10$  км/ч;
- сопряжения –  $I > 80\%$ ; на период до закрытия  $V \leq 10$  км/ч;
- системы водоотвода –  $I > 80\%$ ; на период до закрытия  $V = 10$  км/ч.

Как видно из проведенного исследования, предложенная программа по автоматизированной оценке степени износа мостового полотна позволяет значительно снизить трудозатраты и влияние субъективного фактора (мнения специалиста) на конечный результат. На основе износа отдельных элементов мостового полотна можно определить основные транспортно-эксплуатационные показатели мостового сооружения: безопасную скорость движения, динамический коэффициент и категорию условий движения. Кроме того, данная программа позволяет по оценке транспортно-эксплуатационного состояния установить уровень содержания и виды ремонтных работ, необходимых в ближайший период эксплуатации.

**Таблица 3. Результат определения условия движения и динамического коэффициента при использовании результатов диагностического мониторинга мостовых сооружений**

| Транспортно-эксплуатационное состояние |                           |                                                                                      |                     |                                                                                    |                                                                                       |                                      |                                                                                                                |                                                         |                                      |
|----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Наименование сооружения                |                           |                                                                                      |                     | Путепровод через железную дорогу «Москва – Астрахань» км 192+320                   |                                                                                       |                                      |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| Категория интенсивности                |                           |                                                                                      |                     | III; 1100( авт/ч)                                                                  |                                                                                       |                                      |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| Габарит, м                             |                           |                                                                                      |                     | Г-9,5+0,8+0,75                                                                     |                                                                                       |                                      |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| Ограждение безопасности                |                           |                                                                                      |                     |                                                                                    |                                                                                       |                                      |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| Тип, высота, м                         |                           |                                                                                      |                     | Барьерное; 0,5                                                                     |                                                                                       |                                      |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| №                                      | Элемент мостового полотна | Ограничение скорости при различных углах переломов в профиле проезжей части [V] км/ч | Частный износ Ii, % | Безопасная скорость движения с учетом износа различных элементов мостового полотна | Характеристика условий движения с учетом износа различных элементов мостового полотна | Динамический коэффициент (1+ $\mu$ ) | Ограничение скорости при различных фактических габаритах и часовой интенсивности движения автомобилей [V] км/ч | Безопасная скорость движения с учетом дефектов [V] км/ч | Динамический коэффициент (1+ $\mu$ ) |
| 1                                      | 2                         | 3                                                                                    | 4                   | 5                                                                                  | 6                                                                                     | 7                                    | 8                                                                                                              | 9                                                       | 10                                   |
| 1                                      | Покрытие                  | 150.00                                                                               | 20.00               | 150.00                                                                             | О                                                                                     | 1.10                                 | 145.26                                                                                                         | 86.00                                                   | 1.25                                 |
| 3                                      | Система водоотвода        | -                                                                                    | 30.00               | 100.00                                                                             | А                                                                                     | -                                    |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| 4                                      | Деформационные швы        | 150.00                                                                               | 40.00               | 100.00                                                                             | А                                                                                     | 1.25                                 |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| 5                                      | Ограждения                | -                                                                                    | 34.00               | 86.00                                                                              | Б                                                                                     | -                                    |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| 6                                      | Сопряжения с насыпью      | 150.00                                                                               | 40.00               | 100.00                                                                             | А                                                                                     | 1.20                                 |                                                                                                                |                                                         |                                      |
| Принятые значения                      |                           | 150.00                                                                               |                     | 150.00                                                                             | Б                                                                                     | 1.25                                 | 145.26                                                                                                         |                                                         |                                      |
| Условия движения                       |                           |                                                                                      |                     |                                                                                    |                                                                                       |                                      |                                                                                                                | Б                                                       | 1.25                                 |

### Выводы

1. Предложена программа по автоматизированной оценке степени износа мостового полотна, позволяющая значительно снизить трудозатраты и влияние мнения специалиста на конечный результат.
2. На основе износа отдельных элементов мостового полотна определяются основные транспортно-эксплуатационные показатели мостового сооружения: безопасная скорость движения, динамический коэффициент и категория условий движения.
3. Программа по оценке транспортно-эксплуатационного состояния позволяет установить уровень содержания и виды ремонтных работ, необходимых в ближайший период эксплуатации.

## Литература

1. Andersen E. I. Monitoring for Structural Health // *Infrastructure Development*. 1991. No. 2. Pp. 25-30.
2. Васильев А. И. Системный подход к натурным исследованиям эксплуатируемых мостов // Сборник «Вопросы нормирования потребительских свойств мостов». М.: ЦНИИС, 2002. С. 70-84.
3. Карапетов Э. С., Белый А. А. Эксплуатационное состояние железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга // Сборник трудов «125 лет в мостостроении». СПб.: ИПГУПС, 2008. С. 62-68.
4. Laszlo G. L. Adaptation of Pontis Prediction Model to Hungarian Conditions // *International Conference on Management of bridges (IBMS 99 – 004)*. 1999. No. 004. Pp. 96-101.
5. Lukin N. Serviceable condition of Highway Bridges. *Transportation infrastructure (NATO ASI Series – USA)*. 1996. 182 p.
6. Мамажанов Р. К. Результаты обследования и, испытания железобетонных мостов в условиях Средней Азии // *Эксплуатационная надежность искусственных сооружений*. 1989. №2. С. 73-76.
7. Овчинников И. Г. Оценка работоспособности мостовых сооружений по результатам диагностики // Сборник «Материалы международной научно-практической конференции» (Проблемы развития автомобильного комплекса России). Часть 1. СПб.: ИПГУПС, 1997. С. 63-65.
8. Parmelee F. A., Sandberg H. R. It's redundant, prove it // *Civil Engineering*. 1987. No. 57. Pp. 40-45.
9. Рузов А. М. Эксплуатация мостового парка. М.: Академия, 2007. 176 с.
10. Russ S. Structural Monitoring from Space // *Bridge & Engineering*. 2001. No. 4. Pp. 142-146.
11. Сырков А. В. Развитие методов оценки состояния искусственных сооружений // Сборник «труды СПбГАСУ». СПб.: СПбГАСУ, 2009. С. 27-32.
12. Thompson. P. D. The new Ontario Bridge Management System // *Transport Research Circular*. 1999. No. 498. Pp. 62-66.
13. Thompson P. D. Development of Pontis User Cost Models // *International Conference on Management of bridges (IBMS 99 – 009)*. 1999. No. 009. Pp. 90-105.
14. Шестериков В. И. Оценка состояния автодорожных мостов и прогнозирование его изменения с помощью показателя физического износа // Сборник «Автомобильные дороги». 1991. №2. С. 1-48.
15. Шестериков В. И. Влияние элементов мостового полотна на безопасность движения // Сборник «труды НПО Росдорнии» (Повышение безопасности движения на автомобильных дорогах). 1991. №4. С. 52-63.
16. Еремин В. Г., Ладыженский И. В., Еремин А. В, Као Ван Лам. Использование результатов мониторинга при управлении содержанием мостовых сооружений и оценке развития дефектов конструкций // Сборник «Дороги и мосты». 2011. №26/2. С. 212-230.
17. ОДН 218.017-2003. Руководство оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений / Росавтодор. М.: Транспорт, 2003. 24с.
18. Улыбин А. В., Ватин Н. И. Принципиальные отличия ГОСТ р 53778-2010 от старых нормативов по обследованию зданий и сооружений // *ГИДРОТЕХНИКА*. 2011. № 2 (23). С. 54-56.
19. Соколов В. А. Диагностика технического состояния конструкций зданий и сооружений с использованием методов теории нечетких множеств // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. №5(15). С. 31-37.
20. ОДМ 218.0.018-03. Методика определения износа конструкций и элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах / Росавтодор. М.: Транспорт, 2003. 104с.
21. Брайла Н. В. Расчет математических ожиданий параметров трещин от степени износа элемента на основе обработки статистических данных по аналогичным объектам // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. №1(27). С. 106-112.
22. Солдатенко Т. Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. №7(25). С. 52-61.
23. Концепция улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России (на период 2002-2010 гг.) М.: ГСДХ России (Росавтодор), 2002. 45 с.
24. Методические рекомендации по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах / Росавтодор Минтранса России. М.: Транспорт, 1999. 110 с.
25. Классификация работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования / Росавтодор Минтранса РФ. М.: Информавтодор, 2002. 28 с.

\* Као Ван Лам, г. Воронеж, Россия

Тел. моб.: +7(952)544-80-47; эл.почта: caolamx3@gmail.ru

## Study of concrete strength heterogeneity in monolithic structures

**A.K. Baiburin**

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

**S.N. Pogorelov**

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

+7(351)267-91-83; e-mail:abayburin@mail.ru

### Key words

concrete; concrete heterogeneity; monolithic structures; concrete strength; technological factors

### Abstract

The problem of the concrete strength heterogeneity in monolithic constructions is considered in this article.

The factors, influencing on the heterogeneity are analyzed. The study results of the strength distribution over the area of the monolithic walls, floors and columns height are given. The features of the standard methods of the strength control are analyzed.

The recommendations on the accounting of the established laws during the concrete strength control are given.

### References

1. Lipovskiy V. M. *Sbornyy zhelezobeton: Spravochnik* [Precast concrete: Handbook]. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 144 p. (rus)
2. Gorokhov Ye. V., Yugov A. M., Veretennikov V. I. *Bezopasnost ekspluatiruyemykh zdaniy i sooruzheniy* [Safety of buildings and structures]. Moscow: 2011. Pp. 146-167. (rus)
3. Leshchinskiy A. M. *Sistematicheskaya neodnorodnost prochnosti tyazhelogo betona v sbornyykh zhelezobetonnykh izdeliyakh, formuyemykh na vibroplushchadkakh* [Systematic heterogeneity of the strength of heavy concrete in precast concrete structures, formed-in-shaking table]. Thesis of Technical Sciences Candidate. Kiev: 1981. 202 p. (rus)
4. Öztürk T., Kloggel O., Grübl P. Propagation of ultrasound in concrete – Spatial distribution and development of the Young's modulus. *BB 85-CD Intern. sympos. Non-Destructive Testing in Civil Engineering*. Berlin: 2003. URL: <http://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v065/v065.htm> (Date of Request: 01.05.2012).
5. Soshiroda T. Effects of bleeding and segregation on the internal structure of hardened concrete. *RILEM Proceedins 10*. Cambridge: University Press, 1990. Pp. 253-260.
6. Zalesov A. S., Kodysh E. N., Lemysh L. L., Nikitin I. K. *Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy po prochnosti, treshchinostoykosti i deformatsiyam* [Calculation of reinforced concrete for strength, crack resistance and deformation]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 320 p. (rus)
7. Yuasa N., Kasai Y., Matsui I. Inhomogeneous Distribution of Compressive Strength from Surface Layer to Interior of Concrete in Structures. *Special Publication*. 2002. Vol. 192. Pp. 269-282.
8. Arioglu N., Girgin C. Discussion on paper. *Magazine of Concrete Research*. 1999. Vol. 51. No. 3. Pp. 217-225.
9. Karpepko N. I. *Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona* [General models of the reinforced concrete mechanics]. Moscow: Stroyizdat, 1996. 416 p. (rus)
10. Nagamatsu S., Kawakami Y. Shrinkage and stress caused by drying of concrete. *Rev. 31st Gen. Meet. Techn. Sess.* Tokyo: 1977. Pp.151-153.
11. Shamban I. B. *Upravleniye odnorodnostyu prochnosti betona putem vybora ratsionalnykh tekhnologicheskikh resheniy* [Management of the homogeneity of the concrete strength by the selecting of rational technological decisions]. Thesis of Technical Sciences Candidate. Rovno: 1983. 197 p. (rus)
12. Afanasyev A. A. *Intensifikatsiya rabot pri vozvedenii zdaniy i sooruzheniy iz monolitnogo zhelezobetona* [The intensification of works during the construction of reinforced concrete buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1990. 384 p. (rus)

13. Krasnovskiy B. M. *Inzhenerno-fizicheskiye osnovy metodov zimnego betonirovaniya* [Engineering and physical fundamentals of winter concreting]. Moscow: GASIS, 2004. 470 p. (rus)
14. *Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnykh konstruktsiyakh* [Heating of the concrete in monolithic structures. Guide]. Moscow: NIIZhB, 2005. 275 p. (rus)
15. *GOST R 53231-2008. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti* [Concrete. Rules for monitoring and evaluation of strength]. (rus)
16. Dolmatov A. A. *Prochnost i deformativnost zhelezobetonnykh fragmentov sten zdaniy i sooruzheniy, vozvodimyykh v vertikalno podvizhnykh opalubkakh* [The strength and deformability of reinforced concrete fragments of the walls of buildings and structures erected in a vertically movable formwork]. Thesis of Technical Sciences Candidate. Makeyevka: 2004. 144 p. (rus)
17. Halil Sezen, Jack P. Moehle. Strength and deformation capacity of reinforced concrete columns with limited ductility. *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver*. B.C., Canada: 2004. Pp. 279.
18. Khayutin Yu. G. *Monolitnyy beton: Tekhnologiya proizvodstva rabot* [Monolithic Concrete. Technology]. Moscow: Stroyizdat, 1991. 576 p. (rus)
19. Ulybin A. V. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 4(22). Pp. 10-15. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 12-18.**

# Tangential adhesion strength of cement mortars in masonry

V.N. Derkach

Institute BelNIIS, Brest, Belarus  
(+375-296-411962), e-mail: v-derkach@yandex.ru

## Key words

a masonry; a masonry mortar; shear; adhesive strength; frictional coefficient

## Abstract

The initial shear strength (tangential adhesion) and the angle of internal friction in the horizontal plane of mortar joints are among important characteristics, determining the masonry strength and stiffness qualities in case of share. These characteristics influence largely over the limit state approach of buildings and facilities during seismic activity and over wind, crane and other load, causing the panel frame distortion in frame buildings with masonry infill.

In the paper the experimental studies results of tangential adhesion strength of cement mortars with solid and hollow ceramic bricks, porous stones, calcium silicate bricks and cellular concrete blocks are presented. This research gives experimental dependences of mortar adhesive strength with mentioned types of masonry units on compressive strength of cement mortar. There is also the comparison of the obtained results with Russian and foreign standards in this paper.

## References

1. Polyakov S. V. *Kamennaya kladka v karkasnykh zdaniyakh* [Masonry in framed buildings]. Moscow: Gosudarstvennoye izdatelstvo literatury po stroitelstvu i arkhitekture, 1956. 189 p. (rus)
2. Salah El-Din Fahmy Taher, HamdyMohy El-Din Afefy. Role of masonry infill in seismic re-sistance of RC Structures. *The Arabian Journal for Science and Engineering*. 2008. No. 2B. Pp. 291-306.
3. Meng-Hao Tsai, Tsuei-Chiang Huang. Numerical Investigation on the Progressive Collapse Resistance of an RC Building with Brick Infills under Column Loss. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011. No. 7:1. Pp. 27-34.
4. Lourenço P. B. *Computational strategies for masonry structures*. PhD Dissertation. Delft University of Technology. The Netherlands: Delft University Press, 1996. 209 p.
5. Kubica J. *Mechanika muru obciążonego w swej płaszczyźnie. Monografie Politechniki Śląskiej*. Gliwice: 2011. 382 p.
6. Ishchuk M. K. *Otechestvennyy opyt vozvedeniya zdaniy s naruzhnymi stenami iz obleg-chennoy kladki* [National experience of construction of buildings with outer walls made of lightweight masonry]. Moscow: RIF «Stroymaterialy», 2009. 360 p. (rus)
7. Derkach V. N. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universi-teta - Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of the Brest State Technical University - Construction and architecture.]. 2010. No. 1. Pp.43-45. (rus)
8. Jasinski R. *XXVI Ogólnopolskie warsztaty Pracy projektanta konstrukcji*. 2011. Pp. 453-499.
9. Drobiec L., Kubica J. *Materialy budowlane*. 2006. No. 4. Pp. 21-23.
10. *SNiP II-22-81\* Kamennyye i armokamennyye konstruksii* [Masonry and reinforced structures]. Gosstroy SSSR. Moscow: Stroyizdat, 1983. 40 p. (rus)
11. *EN1996-1-1:2005 Eurocode 6. Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*. 127 p.
12. Polyakov S. V. *Stsepleniye v kirpichnoy kladke* [Adhesion in masonry]. Moscow: Gosstroyizdat, 1959. 134 p. (rus)
13. Orlovich R. B., Derkach V. N. *Magazine of civil engineering*. 2011. No. 7(25). Pp. 3-10. (rus)
14. Derkach V. N., Orlovich R. B. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction]. 2010. No. 3. Pp. 7-13. (rus)
15. Calvi G. M., Magenes G. Experimental evaluation of seismic strength of old masonry structures. *Proc. of the 9th Int. Brick/Block Masonry Conf*. Berlin, 1991. Pp. 490-497.

16. Riddington J. R., Ghazali M. Z. Hypothesis for shear failure in masonry joints. *Proc. Insti-tute of Civil Engineers*.1990. Part 2, Vol. 89. Pp. 89-102.
17. Hamid A. A., Drysdale R. G. The Shear Behaviour of Brickwork Bed Joints. *Proc. of the British Ceramic Society*. 1982. No. 30. Pp. 101-109.
18. Kubica J. *Wstępne badania murów z bloczków z betonu komórkowego poddanych ścinaniu ześciskaniem*: Praca BK-273/RB-2/98. Gliwice: 1998. 67 p.
19. Lewicki B., Szczygielski A. Badania wytrzymałościowe muru na cienkie spoiny z bloczków YTONG: *Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Konstrukcje Murowe”*. Puławy: 1998. Pp. 21-29.
20. Granovskiy V. A., Dzhamuyev B. K. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and civil engineering]. 2011. No. 4. Pp. 37-39. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 19-28.**

doi: 10.5862/MCE.29.3

# Control methods for strength of ceramic bricks in the inspection of buildings

**A.V. Ulybin***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia***S.V. Zubkov***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia*

+7(812)535-57-82; e-mail: ulybin@mail.ru

## Key words

strength of bricks; inspection of stone structures; non-destructive testing

## Abstract

The paper brings up the problem of finding the most accurate, reliable and, at the same time, less time-consuming and relatively inexpensive method of determining strength of ceramic bricks. This task is particularly important in the context of the lack of standards governing the use of nondestructive testing methods for ceramic bricks, and the difficulties associated with sampling of ceramic brick masonry for standard tests.

In the paper the possibility of determining the compressive strength of corpulent ceramic bricks by testing cylindrical samples taken from the body of masonry, is explored. The relation between standard samples tests results according to GOST standards № 8265-84 and testing of cylindrical samples is given.

The experimental results for influence of the direction of kern selection (horizontally and vertically in reference to flat of brick) on the strength is presented. The possibility of application of nondestructive testing methods for measuring strength of ceramic bricks is considered. Also the paper includes the examples of field and laboratory experiments.

## References

1. Onishchik L. I. *Prochnost i ustoychivost kamennykh konstruksiy* [The strength and stability of masonry structures]. Moscow-Leningrad: Glavredstroylit, 1937. 292 p. (rus)
2. Grozdov V. T. *Tekhnicheskoye obsledovaniye stroitelnykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Technical inspection of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Izdatelskiy Dom KN+, 2001. 140 p. (rus)
3. Gnedina L. Yu. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2007. No. 12. Pp. 18-19. (rus)
4. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Cracking simulation of brick-masonry elements subjected to the double flat-jack test. *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction*. 2008. SAHC08 1. Pp. 367-374.
5. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Historical brick-masonry subjected to double flat-jack test: Acoustic emissions and scale effects on cracking density. *Construction and Building Materials*. 2009. No. 23 (8). Pp. 2813-2820.
6. Ramos L. F., Sharafi Z. Tube-jack testing for irregular masonry walls: First studies. *Advanced Materials Research*. 2010. No. 133. Pp. 229-234.
7. Acito M., Binda L., Cardani G. Experimental and numerical study on the application of the flat-jack tests to masonry walls. *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction*. SAHC08 2. Pp. 875-883.
8. Binda L., Tiraboschi S. Flat-jack test; as a slightly destructive technique for the diagnosis of brick and masonry structures. *Int. Journal for Restoration of Buildings and Monuments*. 1999. No. 5. Pp. 449-472.
9. Gregorczyk P., Lourenco P. B. A review on Flat-jack testing. *Engenharia Civil*. 2000. No. 9. Pp.39-50.
10. Zhitushkin V. G., Kucherov V. N. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [House building]. 2001. No. 9. Pp. 11-12. (rus)
11. Guchkin I. S., Artyushin D. V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo* [News of higher educational institutions. Building]. 2006. No. 1. Pp. 103-104. (rus)
12. *Rukovodstvo po opredeleniyu prochnosti kirpichnoy kladki nerazrushayushchim metodom plasticheskikh deformatsiy* [Guidelines for determining the strength of masonry by nondestructive method of plastic deformation]. Krasnodar: Kub GU, 1999. 15 p. (rus)

13. Brozovsky J., Zach J. Non-destructive Testing of Solid Brick Compression Strength in Structures. *IV Conferencia Panamericana de END*. Buenos Aires. 2007. [Electronic recourse]. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/1.pdf> (date of request: 15.04.2012).
14. Belov V. V., Derkach V. N. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 7(17). Pp. 14-20. (rus)
15. Derkach V. N., Zhernosek N. M. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University]. 2010. No. 3(28). Pp. 135-143. (rus)
16. Ulybin A. V. *Magazine of civil engineering*. 2011. No. 4(22). Pp. 10-15. (rus)
17. *Rekomendatsii po obsledovaniyu i otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya krupnopanelnykh i kamennykh zdaniy* [Recommendations for inspection and assessment of technical condition of large-and stone buildings]. M.: TsNIISK im V. A. Kucherenko, 1988. 36 p. (rus)
18. *Rekomendatsii po usileniyu kamennykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy* [Recommendations for strengthening masonry buildings and structures]. M.: TsNIISK im V. A. Kucherenko, 1984. 36 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 29-34.**

doi: 10.5862/MCE.29.4

## Composition and properties of ceramic heat insulating building materials made of the masses of low temperature foaming on the basis of clay raw material

**Y.V. Selivanov***Khakass Technical Institute, Abakan, Russia***A.D. Shiltsina***Khakass Technical Institute, Abakan, Russia***V.M. Selivanov***Khakass Technical Institute, Abakan, Russia***Y.V. Loginova***Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, Russia***N.N. Korolkova***Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, Russia*

+7(913)544-38-36; e-mail: loginova\_ev@list.ru

### Key words

ceramic heat insulating building materials; low temperature foaming; porous structure; phase-mineral composition; strength

### Abstract

Ceramic heat-insulating building materials are the most promising for modern construction. Long-lived, bio-resistant and corrosion-resistant, nonhygroscopic and noncombustible, they have the greatest stability of heat engineering properties through time. The combination of these properties is especially important in construction in seismic areas.

The article contains the study results of compositions and properties of ceramic heat-insulating building materials of masses on the basis of clay raw materials, received by power efficient technology of low-temperature foaming. The work was conducted for the purpose of obtaining a porous structure of sufficient durability at the stage of the mass foaming at a temperature of 20-30 °C and achieving necessary durability without porous goods deformation at the stage of firing.

The optimal composition of the masses was obtained by experiment in the course of the studies, also the technology, ensuring the fulfillment of assigned task was developed. The properties of developed masses compositions and porous ceramics of them provide the manufacturing of heat-insulating building materials in the form of single-piece goods by one-time firing.

### References

1. Sirazin M. G. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2006. No. 4. Pp. 18 – 19. (rus)
2. Krasnyi B. L., Tarasovskii V. P., Rakhmanova E. V., Bondar V. V. Chemical resistance of ceramic materials in acids and alkalis. *Glass and ceramics*. 2004. Vol. 61, No. 9 – 10. Pp. 337 – 339.
3. Abdarakhimova E. S., Abdarakhimov V. Z. Optimization of the content of light fraction ASH in ceramic tile mixtures. *Glass and ceramics*. 2006. Vol. 63. No. 3 – 4. Pp. 95 – 96.
4. Ananyev A. I., Mozhayev V. P., Nikiforov Ye. A., Yelagin V. P. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2003. No. 7. Pp. 14 – 16. (rus)
5. Kozlov G. A., Kotlyar V. D., Kozlov A. V. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2009. No. 6. Pp. 88 – 89. (rus)
6. Manevich V. E., Subbotin K. Yu. Foamglass and problems of energy savings. *Glass and ceramics*. 2008. No. 4. Pp. 3 – 6.
7. Zavadskiy V. F., Putro M. B., Maksimova Yu. S. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2004. No. 2. Pp. 50 – 51. (rus)
8. Kloft T., Belousov V. K. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2009. No.4. Pp. 54 – 57. (rus)
9. Moroz I. I. *Tekhnologiya stroitel'noy keramiki* [The technology of building ceramics]. Kiev: Vishcha shkola, 1980. 384 p. (rus)

Selivanov Y.V., Shiltsina A.D., Selivanov V.M., Loginova Y.V., Korolkova N.N. Composition and properties of ceramic heat insulating building materials made of the masses of low temperature foaming on the basis of clay raw material

10. Krysin D. M. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo* [News of higher educational institutions. Building]. 2001. No. 7. Pp. 34. (rus)
11. Blanchart P., Soro N., Bonnet J. P. Structural characterization of Mullite from Fe – Doped Kaolins. *Science for New Technologies of Silicate Ceramics: Proc. 10 Jnt. Ceram. Congr.* Florenz: 2003. Pp. 9 – 16.
12. Shcherbina N. F., Kochetkova T. V. Use of nonferrous metal ore concentration wastes in production of ceramics. *Glass and Ceramics*. 2007. Vol. 64. No. 9 – 10. Pp. 366 – 368.
13. Vakalova T. V., Pogrebenkov V. M., Vereshchagin V. I., Revva I. B. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2007. No. 2. Pp. 27 – 30. (rus)
14. Doldi M., Cappelletti P., Cerri G. Zeolitic Tuffs as paw materials for Lightweight aggregates. *Key Eng. Mat.* 2004. Vol. 264 – 268. Pp. 1431 – 1434.
15. Loginova Ye. V. *Vestnik khakasskogo tekhnicheskogo instituta – filiala Sibirskogo federalnogo universiteta* [Bulletin of Khakas Technical Institute - a branch of the Siberian Federal University]. 2010. No. 29. Pp. 183 – 185. (rus)
16. Vereshchagin V. I., Alekseyev Yu. I., Pogrebenkov V. M. *Diopsidovyye porody - universalnoye syr'ye dlya proizvodstva keramicheskikh i drugikh silikatnykh materialov* [Diopside rock - the universal material for production of ceramic and other silicate materials]. Vol. 2. Moscow: VNIIESM, 1991. 60 p. (rus)
17. Kienov E., Roeder A., Stradtmann J. Synthetic wollastonite, diopsid and moyenite and their roles as industrial minerals. *8 th Jnd. Miner. Jnt Congr., Boston. Pap.* London: 1988. Pp. 45 – 58.
18. Bai Zhimin, Ma Hanguen. Vliyaniye diopsida na kharakteristiki trekhkomponentnoy keramiki, poluchennoy iz smesi kvarts – glina – polevoy shpat. *Cuisuanyuan xuebao – J. Chin Ceram. Soc.* 2003. Vol. 31. No. 2. Pp. 148 – 151.
19. Budnikov P. P., Balkevich V. L., Berezhnoy A. S. *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki i ogneuporov* [Chemical Technology of Ceramics and Refractories]. Moscow: Stroyizdat, 1972. 552 p. (rus)
20. Selivanov Yu. V., Shchiltsina A. D., Loginova Ye. V. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2010. No. 7. Pp. 49 – 51. (rus)
21. Eytel V. *Fizicheskaya khimiya silikatov* [Physical chemistry of silicates]. Moscow: Inostr. lit. 1962. 1055 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 35-40.**

doi: 10.5862/MCE.29.5

## Fiber concrete containing composite binders and technogenic sands of Kursk magnetic anomaly for flexural structures

**R.V. Lesovik,***Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia***S.V. Klyuyev***Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia*

+7-951-139-63-27, e-mail: Klyuyev@yandex.ru

### Key words

fine-grained concrete; technogenic sand; fiber concrete

### Abstract

There are different methods for improving strength characteristics of concrete. One of them is fiber reinforcement of concrete with fibrils.

This paper considers the application of steel fiber for the reinforcement of fine-grained concrete. The previous studies of this issue regarded mainly the cement and silica sand. In this project, the fine ground cement and the binder with low water demand were used as the main binder. The fiber-concrete mixture consisted mainly of the antropogenic sand of the Kursk magnetic anomaly, enriched with Tavalzhan sand.

The studies have shown the evident advantage of a steel wave fiber in comparison to the anchor and flat milled fiber. The use of composite binders and high-density packing of the grains significantly increases the strength characteristics. With the rational selection of the filler, the steel-fiber concrete was procured on the antropogenic sand Kursk Magnetic Anomaly. Its compressive strength limit is 84.8 MPa and bending strength limit is 19.8 MPa for flexural structures.

### References

1. Bazhenov Yu. M. *Tekhnologiya betona* [Technology of concrete]. Moscow: ASV, 2003. 500 p.
2. Klyuyev A. V. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova* [Bulletin of BGTU im. V.G. Shukhova]. 2010. No. 4. Pp. 81 – 84.
3. Klyuyev A. V. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova* [Bulletin of BGTU im. V.G. Shukhova]. 2011. No. 2. Pp. 60 – 63.
4. Klyuyev S. V. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2011. No. 3. Pp. 7 – 9.
5. Klyuyev S. V., Lesovik R. V. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2011. No. 6. Pp. 4–6.
6. Klyuyev S. V. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzheniy* [Structural mechanics of engineering structures and buildings]. 2011. No. 4. Pp. 71 – 74.
7. Korotyshevskiy O. V. *Stroitel'nyye materialy* [Building materials]. 2003. No. 8. Pp. 31 – 33.
8. Pukharensko Yu. V. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment and technologies of XXI century]. 2004. No. 10. Pp. 47 – 50.
9. Rabinovich F. N. *Dispersno armirovannyye betony* [Dispersion-reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1989. 174 p.
10. Rabinovich F. N. *Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proyektirovaniya, tekhnologii, konstruktсий* [Composites based on the dispersion of reinforced concrete. Issues of theory, design, technology]. Moscow: ASV, 2004. 560 p.
11. Talantova K. V. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2003. No. 5. Pp. 4 – 8.
12. Talantova K. V. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of the universities. Building]. Novosibirsk. 2008. No. 10. Pp. 4 – 9.
13. Brandt A. M. *Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*. Spon Press. 2 edition. 2009. March. 544 p.

Lesovik R.V., Klyuyev S.V. Fiber concrete containing composite binders and technogenic sands of Kursk magnetic anomaly for flexural structures

14. Fernandes G. R. La influencia de algunas caracteristicas de las aridas finos (arenas) en la propiedades des hormigon de cemento Portland. *Cemento e Hormigon*. 1976. Vol. 47., No. 506. Pp. 415 – 428.
15. Herr O. Les materiaux autocompactants essorables de structure (MACES). Etude de faisabilite d'une nouvelle gamme de materiaux hydrauliques pour les assises de chaussées. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussees*. 2001. No. 232. Pp. 99 – 103.
16. Jeffrey M. Lemm. *HB Fiber-Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science)*. William Andrew; illustrated edition, 1990. 194 p.
17. Maidl Bernhard. *Steel Fibre Reinforced Concrete*. Wiley-VCH. 1995. July. 292 p.
18. Piasta J. Rheological Properties of Concretes with Fine Aggregate. *Cement and Concrete Research*. 1985. Vol.15. No.2. Pp. 253 – 260.
19. Steopoe A. Sur la structure des suspensions aqueuses des ciments purs ou mélanges et sur les propriestes techniques de ces suspensions durcies. *Revue des Matériaux de constructions*. 1981. No. 508. Pp. 1 – 9.
20. Takemura K. Some Properties of Concrete Using Crushed Stone Pust as Fine Aggregate. *The Cement Association of Japan. 13-th General Meeting Technical Session*. Tokyo: 1976, YI Review. Rp. 95 – 97.

**Full text of this article in Russian: pp. 41-47.**

# Use of quick-setting substances in watertight elements for rock material dams

**M.I. Balzannikov**

*Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russia*

**A.A. Mikhasek**

*Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russia*

*(846) 242-17-84, e-mail: sgasu@sgasu.smr.ru*

## Key words

hydraulic engineering; stone dam; watertight element; experimental model investigations

## Abstract

The article deals with the application of rock material dams with watertight element in the form of a screen or core in hydraulic engineering construction.

The authors developed a new technology of watertight element creation. The technology consists in quick-setting substance introduction into every deposited dam layer with the help of a special chute.

Experimental model research on the form and size determination of the quick-hardening substance lamination area inside the dam was carried out. Further the article considered the comparative calculations of the quick-hardening substance volume required for forming screen or core impervious elements.

The possibility of dam construction cost decrease according to the developed technology and the core IE implementation was shown.

## References

1. Ayrapetyan R. A. *Proyektirovaniye kamenno-zemlyanykh i kamenno-nabrosnykh plotin* [Design of stone-ground and rockfill dams]. Moscow: Energiya, 1975. 327 p.
2. Vizzer I. U., Shoyenian Ye., Poskit F. F. *Tekhnicheskiy progress v proyektirovanii i stroitelstve vysokikh plotin. Materialy X Mezhdunarodnogo kongressa po bolshim plotinam* [Technical progress in the design and construction of high dams. Proceedings of the X International Congress on Large Dams]. Moscow: Energiya, 1975. Pp.102-114.
3. Wang W., Höeg K. Method of Compaction Has Significant Effects on Stress-Strain Behavior of Hydraulic Asphalt Concrete. *Journal of Testing and Evaluation*. 2009. Vol. 37, No. 3. Pp. 264-274.
4. Pinto N. de S. The Design and Construction of Extra High CFRDs. *The International Journal on Hydropower and Dams*. 2009. Vol.16, Iss. 3. Pp. 41-44.
5. Johannesson P. Slab Performance on a Few CFRDs and Suggested Improvements in Slab Design. *Proc. International Symposium on Key Techniques for Dam Construction*. Yichang, P.R. of China: 2007. Pp. 322-353.
6. Höeg K., Valstad T., Kjaernsli B., Ruud, A. M. Asphalt Core Embankment Dams: Recent Case Studies and Research. *International Journal on Hydropower and Dams*. 2007. Vol.13, Issue 5. Pp. 112-119.
7. Hao Y. L., He S. B. Design of the Yele Asphalt Core Rockfill Dam. *Dam Construction in China – State of the Art*. 2008. Pp. 226-233.
8. Saxegaard H. Asphalt Core Dams: Increased Productivity to Improve Speed of Construction. *International Journal on Hydropower and Dams*. 2002. Vol. 9, Issue 6. Pp. 72-74.
9. Breth H. Measurements on a rockfill dam with bituminous concrete diaphragm. *Transactions of 8th Int. Congress on Large Dams*. Paris: ICOLD Press, 1964. Pp. 305-315.
10. Feizi-Khankandi S., Ghalandarzadeh A., Mirghasemi A. A., Höeg K. Seismic Analysis of the Garmrood Embankment Dam with Asphaltic Concrete Core. *Soils and Foundations. Japanese Geotechnical Society*. 2009. Vol. 49(2). Pp.153-166.
11. Alicescu V., Tournier J. P., Yannobel P. Design and construction of Nemiscau-1 Dam, the first asphalt core rockfill dam in North America. *Proceedings of CDA 2008 Annual Conference, Canadian Dam Association*. MB, Canada: 2008. Pp. 1-11.

12. Pircher W., Schwab H. Design, construction, and behavior of the asphaltic concrete core wall of the Finstertal Dam. *Transactions, 16th Int. Congress on Large Dams*. Paris: ICOLD Press, 1988. Pp. 901-924.
13. *Patent RF 2432432, MPK E02B7/06. Perelivnaya gruntovaya plotina*. [Utility patent. Russian Federation]. Balzannikov M. I., Rodionov M. V. Zayavka № 2010126843. Opubl. 2011. Byul. № 30.
14. Balzannikov M. I., Rodionov M. V. *Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal Vestnik MGSU* [Science and technical journal. Bulletin of MGSU]. 2012. No. 2. Pp. 70-76
15. Meshcheryakova Z. V., Vunder N. Ya., Mikhasek A. A. Perspektivy razvitiya maloy gidroenergetiki v Samarskoy oblasti. *Międzynarodowa konferencja naukowa II Okrągły stół Hydroenergetyki Wisła - Wolga*. Włocławek: 2004. Pp. 112-114.
16. *Patent RF 2330140, B 09 B 7/00. Sposob vozvedeniya plotiny*. [Utility patent. Russian Federation]. Balzannikov M. I., Shabanov V. A., Mikhasek A. A. 2008. Byull. No. 21.
17. Shabanov V. A., Mikhasek A. A. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo* [Proceedings of the universities. Building]. 2006. No. 11-12. Pp. 52-56.
18. Aravin V. I., Numerov S. N. *Teoriya dvizheniya zhidkostey i gazov v nedeformiruyemoy poristoy srede* [The theory of the movement of liquids and gases in non-deformable porous medium]. Moscow: Gostekhizdat, 1953. 616 p.

**Full text of this article in Russian: pp. 48-53.**

doi: 10.5862/MCE.29.7

## The service life of plastic pipe in the polyurethane foam insulation, used for heating systems

**G.P. Petrakov***Group of companies «Sto Tretiy Trest», Saint-Petersburg, Russia  
+7(812)7842038, email: p@103trest.ru*

### Key words

heating networks; polymer pipes; heat-resistant polyethylene; crosslinked polyethylene; long-term hydrostatic resistance; service life

### Abstract

The interest in the polymer (plastic) pipes in terms of their use in district heating networks of large cities settlements and neighborhoods as flexible pre-insulated pipes in the polyurethane foam insulation channel free laying increased in Russia during the last decade. Pipes made of PE-RT (polyethylene of Raised Temperature Resistance) and PE-X (cross-linked polyethylene) are the most promising plastic pipes.

Pipes made of PE-RT have long term hydrostatic resistance (ability to prevent the liquid expiration under pressure) at high temperatures, without molecular cross-linking. This resistance provides significant technological advantages (the ability to weld) comparing with the crosslinkable systems (PE-X), as well as pipes cost reduction.

The paper presents the method of determining the service life of polymer heat pipelines made of PE-RT and PE-X at a temperature of 110 °C, based on domestic and foreign standards.

The analysis of heat pipelines performance made of PE-RT and PE-X and the plastic pipes service life calculation at temperatures up to 110 °C indicate obvious advantages of PE-RT Type II DOWLEX™ 2388.

In addition, the article gives the guidance to developers of the standard GOST R 52134 next edition, based on European regulations and essential for the laying plastic pipe improvement.

### References

1. Umerkin G. Kh. *Nadezhnost sistem teplosnabzheniya* [The reliability of heat supply systems]. Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. 2003. 52 p. (rus)
2. Bukhin V. Ye. *Truboprovody i ekologiya* [Pipelines and ecology]. 2002. No. 3. Pp. 19-24. (rus)
3. Bukhin V. Ye. *Truboprovody i ekologiya* [Pipelines and ecology]. 2003. No. 1. Pp. 18-19. (rus)
4. Bukhin V. Ye. *Truboprovody i ekologiya* [Pipelines and ecology]. 2005. No. 1. Pp. 15-20. (rus)
5. Bukhin V. Ye. *Truboprovody i ekologiya* [Pipelines and ecology]. 2007. No. 1. Pp. 17-19. (rus)
6. Bukhin V. Ye. *Truboprovody i ekologiya* [Pipelines and ecology]. 2009. No. 4. Pp. 25-30. (rus)
7. Bukhin V. Ye. *Polipropilenovyye napornyye truboprovody v inzhenernykh sistemakh zdaniy* [Polypropylene penstock in engineering systems of buildings.]. AVOK-Press, 2010. 112 p. (rus)
8. Shramm D., Vasilenko A. *Khim-Kuryer*. 2011. No. 7(338). Pp. 24. (rus)
9. Shmelev A. Yu., Gorilovskiy M. I. *Polimernyye truby* [The polymer pipes]. 2010. No. 2(28). Pp. 16-22. (rus)
10. Lustiger A., Markham R. Importance of tie molecules in preventing polyethylene fracture under long-term loading conditions. *Polymer*. 1983. Vol. 24. Pp. 1647-1649.
11. Venkatraman S., Kleiner L. Properties of three types of crosslinked polyethylene. *Advances in Polymer Technology*. 1989. Vol. 9, Iss. 3. Pp. 265-270.
12. Rossignol J., Seguela R., Rietsch F. A mechanical model for fibres of linear poly-ethylenes over a wide range of crystallinities. *Polymer*. 1990. Vol. 31, Iss. 8. Pp. 1449-1455.
13. Darras O., Seguela R. Surface free energy of the chain-folding crystal faces of eth-ylene-butene random copolymers. *Polymer*. 1993. Vol. 34, Iss. 14. Pp. 2946-2950.

14. Elkoun S., Gaucher-Miri V., Seguela R. Tensile yield and strain hardening of homogeneous ethylene copolymers compared with heterogeneous copolymers. *Materials Science and Engineering*. 1997. Vol. 234-236. Pp. 83-86.
15. Seguela R. On the natural draw ratio of semi-crystalline polymers: review of the mechanical, physical and molecular aspects. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2007. Vol. 292, Iss. 3. Pp. 235-244.
16. Fallatah G., Dobbs N., Gibson A. Long term creep and stress rupture of aramid fibre. *Plastics, Rubber and Composites*. 2007. Vol. 36, No. 9. Pp. 403-412.
17. Boros S. Long-term hydrostatic strength and design of thermoplastic piping compounds. *Journal of ASTM International*. 2011. Vol. 8, Iss. 9. Pp. 57-72.
18. Montes J. Castillo, Cadoux D., Creus J. Ageing of polyethylene at raised temperature in contact with chlorinated sanitary hot water. Part I – Chemical aspects. *Polymer Degradation and Stability*. 2012. Vol. 97, Iss. 2. Pp. 149-157.
19. RMD 41-11-2012 «Ustroystvo teplovykh setey v Sankt-Peterburge» [Installation of heating systems in St. Petersburg]. (rus)
20. DIN EN ISO 13760:1998. *Plastics pipes for the conveyance of fluids under pressure – Miner's rule – Calculation method for cumulative damage*.
21. ANSI/ASTM D 2837. *Test method for obtaining hydrostatic design basis for thermo-plastic pipe materials or pressure design basis for thermoplastic pipe products*.
22. ISO 9080:2003. *Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation*.
23. GOST R 52134-2003. *Truby napornyye iz termoplastov i soyedinitelnyye detali k nim dlya sistem vodosnabzheniya i otopleniya. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya (s izmeneniyem No. 1 ot 01.06.2010)* [Thermoplastics pressure pipes and fittings to them for water supply and heating. General specifications]. (rus)
24. GOST R 54468-2011. *Truby gibkiye s teplovoy izolyatsiyey dlya sistem teplosnabzheniya, goryachego i kholodnogo vodosnabzheniya. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya (utverzhden prikazom Rosstandarta ot 13.10.2011 No. 451-st, vvoditsya v deystviye s 01.05.2012)* [Flexible tubing with thermal insulation for heating systems, hot and cold water. General specifications]. (rus)
25. DIN EN 15632-1:2009. *District heating pipes – Pre-insulated flexible pipe systems – Part 1: Classification, general requirements and test methods*.
26. DIN EN 15632-2:2010. *District heating pipes – Pre-insulated flexible pipe systems – Part 2: Bonded plastic service pipes – Requirements and test methods*.
27. RTP 02-01-2010. *Tekhnicheskiye rekomendatsii po proyektirovaniyu i beskanalnoy prokladke truboprovodov iz trub PLASTFLEKS* [Technical recommendations on design and channelless laying of pipelines from the pipes PLASTFLEKS]. OOO «Izolyatsionnyye tekhnologii», Saint-Petersburg. (rus)
28. DIN EN ISO 22391-2:2010. *Plastics piping systems for hot and cold water installations – Polyethylene of raised temperature resistance (PE-RT) – Part 2: Pipes*.
29. Report EXOVA/P-11/73. *Determination of the long-term hydrostatic strength ISO 9080:2003 – evaluation of the PE-RT pipe grade DOWLEX™ 2388 from DOW Europe GmbH, 2011*.
30. DIN EN ISO 15875-2:2004. *Plastics piping systems for hot and cold water installations – Crosslinked polyethylene (PE-X. Part 2: Pipes*.
31. ISO 21003-2:2008 *Multilayer piping systems for hot and cold water installations in-side buildings. Part 2: Pipes*.
32. STO ROSTEKHEKSPERTIZA 10.001-2009. *Teplovyye seti. Normy i metody rascheta na prochnost* [The thermal network. Norms and methods of strength calculation] (soglasovan pismom Rostekhnadzora ot 21.04.2009 No. 0908-09/985).

**Full text of this article in Russian: pp. 54-62.**

## Determining the rational technological parameters of heat-resistant concrete produced with sodium silicate binder

Z.A. Manturov

Dagestan state technical university, Makhachkala, Russia  
+79285946409, e-mail: Zagir9@mail.ru

### Key words

anhydrous sodium silicate; composite sodium silicate binder; heat-resistant concrete

### Abstract

Heat-resistant concrete is one of the most effective refractory materials. Using such concrete reduces the time of construction by 3-4 times, it decreases the labor costs during the construction of thermal units by 2-3 times, increases the working life of the thermal unit and, therefore, reduces the costs of maintenance and major repairs.

This paper deals with heat-resistant concrete based on a sodium-silicate composite binder, regarded as an alternative to refractory concrete based on liquid glass.

It brings the results of comprehensive research on the selection of rational technological modes of preparation, molding and thermal treatment of refractory concrete composite on sodium-silicate binder. In particular, the method of preparing the concrete mix is chosen. The author sets the method and mode of formation of products and determines the regime of concrete thermal treatment.

These results were approbated in a plant of CJSC "Experimental Research and Production Enterprise". The approbation results showed the high techno-economic efficiency of the developed heat-resistant concrete on composite sodium silicate binder.

### References

1. Gorlov Yu. P., Merkin A. P., Zeyfman M. I., Toturbiyev B. D. *Zharostoykiy beton na osnove kompozitsiy iz prirodnnykh i tekhnogennykh stekol* [Refractory concrete based on the composition of natural and technogenic glass]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 144p. (rus)
2. Toturbiyev B. D. *Stroitelnyye materialy na osnove silikat-natriyevykh kompozitsiy* [Construction materials based on sodium silicate compositions]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 208 p. (rus)
3. Tarasova A. P. *Zharostoykiye vyazhushchiye na zhidkom stekle i betony na ikh osnove* [Heat-resistant binder liquid glass and concrete on their basis]. Moscow: Stroyizdat, 1982. 133 p. (rus)
4. Nekrasov K. D. *Novoye v tekhnologii zharostoykikh betonov* [The new technology of heat-resistant concrete]. Moscow: NIIZhB Gosstroya SSSR, 1981. 110 p. (rus)
5. Bazhenov Yu. M. *Tekhnologiya betona* [Technology of concrete]. Moscow: ASV, 2007. 528 p. (rus)
6. Toturbiyev B. D., Porsukov A. A. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2006. No.4. Pp. 13–15. (rus)
7. Toturbiyev B. D., Porsukov A. A. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2006. No.3. Pp. 12–16. (rus)
8. Ruelle I., Richez G. Refractory Supplier plays a key roll in furnace construction. *7 Glass*. 2000. Vol. 77. No. 5. Pp. 144-145.
9. Nishikawa A. Technology of monolithic refractories. *Plibrico Japan Comp. Ltd.* Tokyo, 1996. 598 p.
10. Jshikawa M., Taoka K. Energy and Resource Saving and Dusty Environment in Monolithic Refractories. *Taikabutsu – Refractories*. 2000. Vol. 52. No. 4. Pp. 234–239.
11. Petzold A., Ulbricht J. *Feuerbeton und betonartige feuerfeste Masse und Materialien. Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie*. Leipzig–Stuttgart: 1994. 322 p.
12. Banerjee S. Monolithic refractories. Singapore–New Jersey–London–Hong-Kong: *World Scientific Publishing Co. Pte Ltd.*, 1998. 311 p.

13. Nahashi H., Tsuno M., Hayaishi M. Used refractories recycle technology in melting shop. *Taikabutsu-Refractories*. 2000. Vol. 52. No. 4. Pp. 178–184.
14. Khlystov A. I., Korenkova S. F., Sheina T. V. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1992. No. 9. Pp. 17–19. (rus)
15. Khlystov A. I., Bozhko A. V., Sokolova S. V., Riyazov R. T. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and Technical Ceramics]. 2004. No. 3. Pp. 26–31. (rus)
16. Burov V. Yu. *Zharostoykiye betony dlya futerovki zony spekaniya tsementnykh vrashchayushchikhsya pechey* [Heat-resistant concrete for lining the sintering zone of cement rotary kilns]. Abstract. thesis. Dr technical. Science. Moscow: 1994. 31p. (rus)
17. Komissarenko B. S., Mizyuryayev S. A., Zhigulina A. Yu. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2001. No. 10. Pp. 27–28. (rus)
18. Khezhev T. A., Khezhev Kh. A. *Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitektura* [Bulletin of VolgGASU. Building and Architecture]. 2010. Vol. 17 (36). Pp. 70–73. (rus)
19. Manturov Z. A. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Dagestan State technical university]. 2010. No. 18. Pp. 129–136. (rus)
20. Manturov Z. A. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Dagestan State technical university]. 2010. No. 19. Pp. 50–58. (rus)
21. Kashcheyev I. D. *Ogneupory dlya promyshlennykh agregatov i topok: Spravochnoye izdaniye: V dvukh knigakh. Kn. 1. Proizvodstvo ogneuporov* [Refractory products for industrial machinery and furnaces: Reference Edition. Vol. 1]. Moscow: Internet Inzhiniring, 2000. 663 p. (rus)
22. Kashcheyev I. D., Grishenkova Ye. Ye. *Ogneupory dlya promyshlennykh agregatov i topok: Spravochnoye izdaniye: V dvukh knigakh. Kn. 2. Sluzhba ogneuporov* [Refractory products for industrial machinery and furnaces: Reference Edition. Vol. 2]. Moscow: Internet Inzhiniring, 2002. 656 p. (rus)
23. Kashcheyev I. D. *Ogneupory: materialy, izdeliya, svoystva i primeneniye: Katalog-spravochnik. V 2-kh knigakh. Kniga 1* [Refractories: materials, products, properties and applications: Business Directory. Vol. 1]. Moscow: Teploenergetik, 2003. 336 p. (rus)
24. Kashcheyev I. D. *Ogneupory: materialy, izdeliya, svoystva i primeneniye: Katalog-spravochnik. V 2-kh knigakh. Kniga 2* [Refractories: materials, products, properties and applications: Business Directory. Vol. 2]. Moscow: Teploenergetik, 2003. 320 p. (rus)
25. Pivinskiy Yu. Ye. *Neformovannyye ogneupory: Spravochnoye izdaniye v 2-kh tomakh. T. 1 Kniga 1. Obshchiye voprosy tekhnologii* [Unshaped refractories: Reference Edition. Vol. 1]. Moscow: Teplotekhnika, 2004. 448 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 63–68.**

# Computational justification for engineering measures preventing the ice dams formation on the pitched roofs

**A.S. Gorshkov,**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia*

**N.I. Vatin,**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia*

**A.I. Urustimov,**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia*

**P.P. Rymkevich,**

*Military Space Academy named after AF Mozhaisky*

*+7(921) 388-43-15; e-mail: alsgor@yandex.ru*

## Key words

energy efficiency; heat balance equation; cold attic; roof covering; icicle

## Abstract

The following article deals with the problem of icicles formation on the roofs and the elimination methods. The attic roofs with pitched roofing are highly susceptible to this negative phenomenon.

This research regards the generation of heat balance equation for cold attics. Using this equation, the engineering and technical substantiation for the list of measures preventing ice mounds formation in the roofs during the period with lowest outside temperature is made.

With no ice mound the roofing remains perfectly safe after snow removal, its working lifespan extends and the leakages probability decreases.

## References

1. Gusev N. I., Kubasov Ye. A. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional architecture and engineering]. 2011. No. 1. Pp. 100-107. (rus)
2. Gusev N. I., Kubasov Ye. A., Kochetkova M. V. *Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo* [Regional architecture and engineering]. 2011. No. 2. Pp. 104-108. (rus)
3. Petrov K. V., Zolotareva Ye. A., Volodin V. V., Vatin N. I., Zhmarin Ye. N. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 2. Pp. 59-64. (rus)
4. Druzhinin P. V., Barash A. L., Savchuk A. D. Yurchik Ye. Yu. *Tekhniko-tehnologicheskiye problemy servisa* [Technical and technological service problems]. 2007. Vol. 4. No. 14. Pp. 6-13. (rus)
5. Guryanova O. N. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2007. No. 12. Pp. 213-215. (rus)
6. Bugayev A. S., Lapshin V. B., Paley A. A. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzheniye* [Water purification. Water treatment. Water supply]. 2010. No. 3. Pp. 14-25. (rus)
7. Vasin A. P. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of civil engineers]. 2011. No. 2. Pp. 92-98. (rus)
8. Lukinskiy O. A. *Zhilishchnoye stroitelstvo* [House building]. 2008. No. 2. Pp. 46-47. (rus)
9. Moskvitin V. A. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and civil building]. 2006. No. 6. Pp. 53-54. (rus)
10. Poryvay G. A. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zdaniy* [Technical operation of buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 254 p. (rus)
11. Sokova S. D. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo* [Academy. Architecture and building]. 2009. No. 5. Pp. 542-544. (rus)
12. Tobiasson W., Buska J., Greatorix A. *Ventilyatsiya cherdakov dlya likvidatsii sosulek na karnizakh krovli. AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2011. No. 3. Pp. 20-25.

13. Antonio Colantonio. Thermal Performance Patterns on Solid Masonry Exterior Walls of Historic Buildings. *Journal of Building Physics*. 1997. Vol. 21, 2. Pp. 185-201.
14. Jokisalo Juha, Kurnitski Jarek, Korpi Minna, Kalamees Targo, Vinha Juha. Building leakage, infiltration and energy performance analyses for Finnish detached houses. *Building and Environment*. 2009. Vol. 44, Iss. 2. Pp. 377-387.
15. Dyrbol S., Svendsen S., Elmroth A. Experimental Investigation of the Effect of Natural Convection on Heat Transfer in Mineral Wool. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*. 2002. Vol. 26(2). Pp. 153-164.
16. Haese P. M., Teubner M. D. Heat exchange in an attic space. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2002. Vol. 45, Iss. 25. Pp. 4925-4936.
17. Paula Wahlgren. Overview and Literature Survey of Natural and Forced Convection in Attic Insulation. *Journal of Building Physics*. 2007. Vol. 30, 4. Pp. 351-370.
18. Paula Wahlgren. Measurements and Simulations of Natural and Forced Convection in Loose-Fill Attic Insulation. *Journal of Building Physics*. 2002. Vol. 26. Pp. 93-109.
19. Peter Blom. Venting of Attics and Pitched, Insulated Roofs. *Journal of Building Physics*. 2001. Vol. 25, 1. Pp. 32-50.
20. Shimin Wang, Zhigang Shen, Linxia Gu. Numerical simulation of buoyancy-driven turbulent ventilation in attic space under winter conditions. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 47. Pp. 360-368.
21. GOST 30494–96. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh* [Residential and public buildings. The parameters of the indoor climate]. (rus)
22. GOST 12.1.005–88\*. *SSBT. Obshchiye sanitarno-gigiyenicheskiye trebovaniya k vozdukhу rabochey zony* [General hygiene requirements for working zone air]. (rus)
23. SP 23–101–2004. *Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy* [Design of thermal protection of buildings]. (rus)
24. SNiP 23–01–99\*. *Stroitel'naya klimatologiya* [Building Climatology]. (rus)
25. *Pravila i normy tekhnicheskoy ekspluatatsii zhilishchnogo fonda* [Rules and regulations of the technical operation of the housing stock]. Minyust RF. 2003. Peregistratsionnyy N 5176). (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 69-73.**

## The model of intellectual support of decision-making in building structures condition management

V.Z. Velichkin,

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

T.N. Soldatenko

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

+7(812)297-59-49; e-mail: soldatenko-tn@bk.ru

### Key words

building structure state; membership function; fuzzy logic; decision-making; intellectual support

### Abstract

Popular methods of decision-making in building structures condition management do not fully consider peculiarities of their up-to-date operation. These approaches do not take into account the kinds of uncertainty occurring at a building designing stage and taking place while monitoring. It leads to the decrease in building targeted application efficiency and increase of controlling organization costs. The following approach suggests the improvement in the decision-making support systems by integration of expert knowledge and experience with tool and visual building structure control results.

The purpose of the paper is effective decision-making aimed at uncertainty level decrease in the process of detection of operational impacts on building structures for the required durability provision. This purpose is achieved by artificial intelligence element application (fuzzy sets) in the joint analysis of retrospective, current and expert information on the building structure state. The authors suggest selecting building structure state controlling actions with the help of fuzzy conclusions obtained by the usage of designed algorithms and calculated procedures. The applicability of the given approach was proved by the calculated example. A grounded variant of decision on the building structure state intellectual control was submitted (a damaged building wall).

On the basis of these results the conclusions on the application field and conditions of the designed algorithms and model were made.

### References

1. Rogonskiy V. A., Kostrits A. I., Sheryakov V. F. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [The operational reliability of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Stroyizdat SPb, 2004. 272 p. (rus)
2. Roytman A. G. *Nadezhnost konstruktivnykh ekspluatiruyemykh zdaniy* [Reliability of structures operated buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 175p. (rus)
3. Sokolov V. A., Sinyakov L. N., Strakhov D. A. *Obsledovaniye i ispytaniye zdaniy i sooruzheniy. Poverochnyye raschety: Metod. Ukazaniya* [Inspection and testing of buildings and structures. Checking calculations: Methodological Notes.]. Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. 68 p. (rus)
4. Kim Y. W., Kim S. C. Cost analysis of information technology-assisted quality inspection using activity-based costing. *Construction Management & Economics*. 2011. Vol. 29. No. 2. Pp. 163-172.
5. Englund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis. *ACJ Materials Journal*. 1999. Vol. 96. No. 2. Pp. 160-166.
6. Soldatenko T. N. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU* [Science and technical bulletin of SPbGPU]. 2011. No. 2(120). Pp. 81-86. (rus)
7. Sokolov V. A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 6. Pp. 48-57. (rus)
8. Terelyanskiy, P. V. *Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy. Opyt proyektirovaniya: monografiya* [Decision support systems. Experience in design: a monograph.]. Volgograd: VolgGTU, 2009. 127 p. (rus)
9. Golovina Ye. Yu. *Korporativnyye informatsionnyye sistemy i metody ikh razrabotki* [Corporate information systems and methods for their development]. Moscow: Izdatelskiy dom MEI, 2008. 94 p. (rus)
10. Antamoshin A. N., Bliznova O. V., Bobov A. V., Bolshakov A. A. *Intellektualnyye sistemy upravleniya organizatsionno-tekhnicheskimi sistemami* [Intelligent management of organizational and technical systems]. Moscow: Goryachaya liniya Telekom, 2006. 160 p. (rus)

11. Ereemeev A., Kurilenko I., Varshavskiy P. Application of Temporal Reasoning and Case-based Reasoning in Intelligent Decision Support Systems. *Supplement to International Journal "Information technologies & knowledge"*. 2009. Vol. 3. Pp. 9–16.
12. Liu K. F. R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2003. Vol. 18. Pp. 426–439.
13. Soldatenko T. N. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 7(25). Pp. 52–61. (rus)
14. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O. Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buildings. *Advances in Computational Intelligence and Learning, Methods and Applications*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. Pp. 401–412.
15. Borisov A. N., Krumberg O. A., Fedorov I. P. *Prinyatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispolzovaniya* [Decision-making based on fuzzy models: Case Studies]. Riga: Zinatne, 1990. 184 p. (rus)
16. Asai K., Vatada D., Ivan S. *Prikladnyye nechetkiye sistemy* [Applied fuzzy systems]. Moscow: Mir, 1993. 368 p. (rus)
17. Utkin V. S., Utkin L. V. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and civil building]. 2000. No. 1. Pp. 48. (rus)
18. Soldatenko T. N. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 5. Pp. 60–66. (rus)
19. Averkin A. N., Titova N. V., Agrafov T. V. Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment. *Proceeding of the 5 th EUSFLAT Conference*. Ostrava, Czech Republic: 2007. Pp. 377–379.
20. Zade L. *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yeye primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions]. Moscow: Mir, 1976. 167 p. (rus)
21. Alekseyev A. A., Korablev Yu. A., Shestopalov M. Yu. *Identifikatsiya i diagnostika sistem: ucheb. dlya stud. vyssh. ucheb. Zavedeniy* [Identification and diagnosis systems: a tutorial]. Moscow: Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2009. 352 p. (rus)
22. Miroshnichenko A. S. *Obsledovaniye i otsenka ostatochnykh resursov stroitelnykh konstruktsiy. Uch. Posobiye* [Survey and evaluation of residual resource of building structures. Textbook]. Moscow: MIKKhS, 2004. 65 p. (rus)
23. Grozdov V. T. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy* [Maintenance of construction of buildings and structures]. Saint-Petersburg: dom KN+, 2001. 140 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 74–82.**

## Automating the evaluation of riding quality of bridges

V.G. Eremin,

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, Russia

Cao Van Lam

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, Russia

+79525448047, e-mail: caolamx3@gmail.ru

### Key words

automation; tear and wear; evaluation of wear; condition of motion: bridge floor: maintenance; riding quality

### Abstract

One of the main bridgework characteristics is the riding quality of bridge floor, determining traffic mode and conditions. The riding quality is estimated according to part wear of particular floor.

The article describes the results of optimization work on wear determination and traffic condition estimation process. For this purpose the automated program was created which was aimed at labor coefficient reduction and lessening the qualification and subjective opinion impact of the expert, involved in the bridgework examination. On the basis of particular floor part wear one can also determine the main transport service bridgework indices: safe traffic speed, dynamic coefficient and traffic condition category.

The riding quality estimation program enables to establish the kinds of maintenance required in the nearest future.

### References

1. Andersen E. I. Monitoring for Structural Health. *Infrastructure Development*. 1991. No. 2. Pp. 25-30.
2. Vasilyev A. I. *Sbornik «Voprosy normirovaniya potrebitelskikh svoystv mostov»* [Collection of questions rationing of consumer properties of bridges]. Moscow: TsNIIS, 2002. Pp. 70-84. (rus)
3. Karapetov E. S., Bely A. A. *Sbornik trudov «125 let v mostostroyenii»* [Collection «125 years of bridge-building»]. SPb.: IPGUPS, 2008. Pp. 62-68. (rus)
4. Laszlo G. L. Adaptation of Pontis Prediction Model to Hungarian Conditions. *International Conference on Management of bridges (IBMS 99 - 004)*. 1999. No. 004. Pp. 96-101.
5. Lukin N. *Serviceable condition of Highway Bridges. Transportation infrastructure (NATO ASI Series – USA)*. 1996. 182 p.
6. Mamazhanov R. K. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost iskusstvennykh sooruzheniy* [Maintainability engineering structures]. 1989. No. 2. Pp. 73-76. (rus)
7. Ovchinnikov I. G. *Sbornik «Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii» (Problemy razvitiya avtomobilnogo kompleksa Rossii)* [Collection of proceedings of the international scientific-practical conference (Problems of development of automobile industry of Russia)]. Vol. 1. Saint-Petersburg: IPGUPS, 1997. Pp. 63-65. (rus)
8. Parmelee F. A., Sandberg H. R. It's redundant, prove it. *Civil Engineering*. 1987. No. 57. Pp. 40-45.
9. Ruzov A. M. *Ekspluatatsiya mostovogo parka* [Maintenance of bridges]. Moscow: Akademiya, 2007. 176 p. (rus)
10. Russ S. Structural Monitoring from Space. *Bridge & Engineering*. 2001. No. 4. Pp. 142-146.
11. Syrkov A. B. *Sbornik «trudy SPbGASU»* [Collection of SPbGASU works]. Saint-Petersburg SPbGASU, 2009. Pp. 27-32. (rus)
12. Thompson. P. D. The new Ontario Bridge Management System. *Transport Research Circular*. 1999. No. 498. Pp. 62-66.
13. Thompson P. D. Development of Pontis User Cost Models. *International Conference on Management of bridges (IBMS 99 - 009)*. 1999. No. 009. Pp. 90-105.
14. Shesterikov V. I. *Sbornik «Avtomobilnyye dorogi»* [Collection «Highways»]. 1991. No. 2. Pp. 1-48. (rus)
15. Shesterikov V. I. *Sbornik «trudy NPO Rosdornii» (Povysheniye bezopasnosti dvizheniya na avtomobilnykh dorogakh)* [Collection of works NGO ROSDORNII (Improving traffic safety on the roads)]. 1991. No. 4. Pp. 52-63. (rus)

16. Eremin V. G., Ladyzhenskiy I. V., Yeremin A. V, Kao Van Lam. *Sbornik «Dorogi i mosty»* [Collection of Roads and Bridges]. 2011. No. 26/2. Pp. 212-230. (rus)
17. ODN 218.017-2003. *Rukovodstvo otsenki transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya mostovykh sooruzheniy* [Manual evaluation of transport usage conditions of bridges]. Rosavtodor. Moscow: Transport, 2003. 24 p. (rus)
18. Ulybin A. V., Vatin N. I. *GIDROTEKhNIKA* [Hydraulic engineering]. 2011. No. 2 (23). Pp. 54-56. (rus)
19. Sokolov V. A. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 5(15). Pp. 31-37. (rus)
20. ODM 218.0.018-03. *Metodika opredeleniya iznosa konstruksiy i elementov mostovykh sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh* [Methods of determining wear in construction and elements of bridge construction on automotive roads]. Rosavtodor. Moscow: Transport, 2003. 104 p. (rus)
21. Brayla N. V. *Magazine of civil engineering*. 2012. No. 1(27). Pp. 106-112. (rus)
22. Soldatenko T. N. *Magazine of civil engineering*. 2011. No. 7(25). Pp. 52-61. (rus)
23. *Kontseptsiya uluchsheniya sostoyaniya mostovykh sooruzheniy na federalnoy seti avtomobilnykh dorog Rossii (na period 2002-2010 gg.)* [The concept of improving the condition of bridges in the federal automotive network of roads in Russia (2002-2010)]. Moscow: GSDKh Rossii (Rosavtodor), 2002. 45p. (rus)
24. *Metodicheskiye rekomendatsii po sodержaniyu mostovykh sooruzheniy na avtomobilnykh dorogakh* [Guidelines on the content of bridges on the roads]. Rosavtodor Mintransa Rossii. Moscow: Transport, 1999. 110p. (rus)
25. *Klassifikatsiya rabot po remontu i sodержaniyu avtomobilnykh dorog obshchego polzovaniya* [Classification of repairs and maintenance of public roads]. Rosavtodor Mintransa RF. Moscow: Informavtodor, 2002. 28 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 83-88.**