

MIESIĘCZNIK
POŁOCKI.

T o m I.
R o k 1818.

*«Вестник Полоцкого государственного университета»
продолжает традиции первого в Беларуси литературно-
научного журнала «Месячник Полоцкий».*



ВЕСНИК ПОЛАЦКАГА ДЗЯРЖАУНАГА УНІВЕРСІТЭТА
Серыя F. Будаўніцтва. Прыкладныя навукі

У серыі F навукова-тэарэтычнага часопіса друкуюцца артыкулы, якія прайшлі рэцэнзаваў, змяшчаюць новыя навуковыя вынікі ў галіне будаўніцтва і архітэктуры, геадэзіі і картаграфіі, геаэкалогіі і транспарту.

ВЕСТНИК ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия F. Строительство. Прикладные науки

В серии F научно-теоретического журнала публикуются статьи, прошедшие рецензирование, содержащие новые научные результаты в области строительства и архитектуры, геодезии и картографии, геоэкологии и транспорта.

HERALD OF POLOTSK STATE UNIVERSITY
Series F. Civil engineering. Applied sciences

Series F includes reviewed articles which contain novelty in research and its results in civil engineering and architecture, geodesy and cartography, geoecology and transport.

Журнал входит в Российский индекс научного цитирования.

Адрес редакции:
Полоцкий государственный университет, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, 211440, Беларусь
тел. + 375 (214) 53 34 58, e-mail: vestnik@psu.by

Отв. за выпуск: А.А. Бакатович, Г.И. Захаркина, В.В. Булах, В.К. Липский, В.В. Ялтыхов.
Редактор Р.Н. Авласенок.

Подписано к печати 27.06.2019. Бумага офсетная 65 г/м². Формат 60×84¹/₈. Ризография.
Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 17,93. Тираж 100 экз. Заказ 1088.

АРХИТЕКТУРА

УДК 72

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ СТУДЕНЧЕСКИХ ОБЩЕЖИТИЙ

А.А. БОРОВКОВА; В.Ф. МЕТЛА; Ю.А. ХАЛЕЦКАЯ
(Полоцкий государственный университет)

Анализируется функционально-планировочная организация студенческих общежитий, реализованная во второй половине XX века. Изучаются современные тенденции проектирования общежитий на примере студенческой деревни в городе Минске. В ходе данного исследования путем он-лайн анкетирования и очного группового опроса рассмотрены аспекты оптимизации жилой и общественной среды в общежитиях для студентов. Сформулированы требования и предпосылки к организации внутреннего пространства студенческих общежитий, обоснована необходимость разработки перспективной модели общежития для студентов с учетом их потребностей.

Ключевые слова: студгородок, общежития, архитектура общежития, доступная среда, благоустройство территории, оптимизация среды, комфортная среда.

Введение. Понятие «общежитие» известно практически с тех пор, как начали появляться первые учебные заведения. Беларусь входила в состав СССР, и вузы часто принимали студентов из других городов и республик. Важным вопросом было обеспечение иногородних студентов жилой площадью. На сегодняшний день качество программ высшего образования в Республике Беларусь позволяет готовить специалистов самого различного профиля и высокой степени мастерства. На результативность обучения молодых людей влияют не только учебный процесс и обстановка в коллективах и учебных корпусах университета, но и жилая среда, в которой проводят большую часть времени иногородние студенты. Именно здесь они ищут обеспечение базовых человеческих потребностей в отдыхе, учебе, питании и коммуникации. Однако большинство зданий общежитий на постсоветском пространстве, в том числе и Полоцкого университета, не соответствуют новым нормам доступности и безбарьерной среды, а также не могут полностью удовлетворить все потребности современного молодого человека. Данная проблема является актуальной на сегодняшний день, в связи с этим попытаемся определить основные категории и принципы формирования комфортной среды для проживания студентов, а также варианты их решений.

Студенческие общежития второй половины XX века. Тяжелое послевоенное время характеризовалось двумя тенденциями: активным использованием под лечебно-оздоровительные, учебно-воспитательные и жилые функции зданий и комплексов любого иного назначения и масштабным новым строительством. При новом строительстве учебных заведений общежития по возможности размещали в непосредственной близости от учебных корпусов либо на хороших пешеходных (реже – транспортных) связях. Планировочная структура зданий, как правило, не отличалась оригинальностью: коридорная система с покомнатным расселением проживающих и поэтажным размещением санитарно-технических помещений. Эта схема, дополненная стандартным набором помещений общего пользования (библиотеки, актового зала, буфета и т.п.), была растиражирована в целой серии типовых проектов, разработанных в 1970-е годы (рисунок 1).

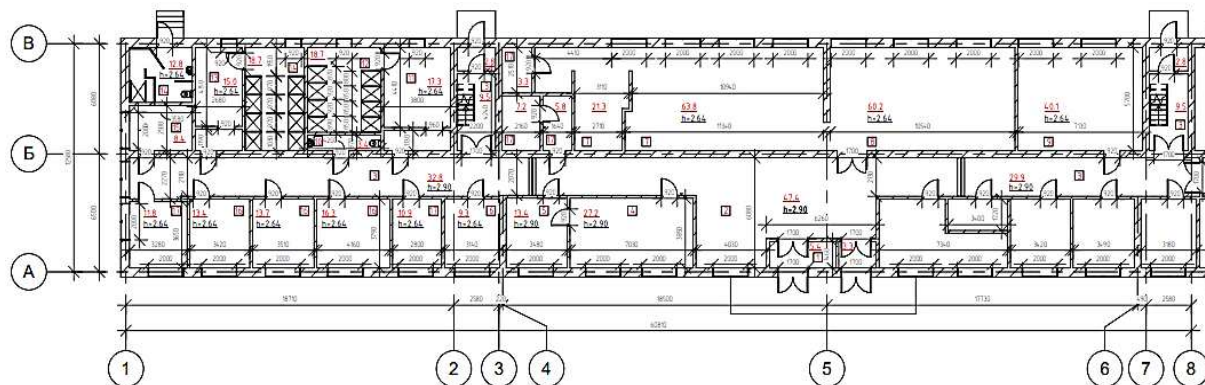


Рисунок 1. – Фрагмент плана общежития № 1 Полоцкого государственного университета

Наряду с типовыми решениями в это время был разработан ряд проектов общежитий, основным планировочным элементом которых стала жилая ячейка, позволяющая группировать несколько жилых комнат вокруг помещений общего пользования разного размера и функционального назначения [1].

Студенческие городки и студенческие деревни. До недавнего времени в Республике Беларусь студенческая жилая среда была представлена преимущественно сохранившимися со времен Советского Союза зданиями общежитий, описанными выше. Направляемые на поддержание этих зданий в рабочем состоянии ресурсы учреждений образования постоянно увеличиваются, однако качество предоставляемых услуг не соответствует современным тенденциям. С тех пор многое изменилось, появились новые знания и технологии, которые можно использовать для улучшения существующего жилого фонда, а также для того, чтобы избежать ошибок при проектировании новых объектов. Любопытной тенденцией последнего десятилетия стало объединение студенческих общежитий в своеобразные жилые комплексы – «студенческие городки» или «студенческие деревни» [2].

На сегодняшний день строящиеся общежития отличаются значительной степенью комфортности по сравнению с общежитиями ретроспективного периода. Оптимизация условий проживания человека, достигается за счет применения комплексного подхода в формировании жилого пространства. Одним из примеров нового подхода в проектировании общежитий для студентов Республики Беларусь является студенческая деревня в городе Минске (рисунок 2).



Рисунок 2. – Жилые корпуса студенческого городка в Минске

Источник: yandex.by > maps.

Внутренняя планировочная организация общежитий студенческой деревни представлена жилыми блоками квартирного типа из двух комнат (площадью 21 и 14 кв. м для проживания трех и двух человек соответственно), прихожей, санузла и кухни. В первых этажах общежитий разместились медпункт, помещения для занятий творчеством и физкультурой, стоматологическая клиника, помещения службы психологической разгрузки, центр китайского языка и культуры, а также библиотека, кафе, парикмахерская, магазины, прачечные [3]. Важно, чтобы жилая среда отвечала всем современным требованиям и даже опережала запросы проживающих для достижения наиболее долгосрочного и экономически целесообразного эффекта. Несомненно, что на сегодняшний день помещения для проживания должны быть доступны всем категориям граждан, способствовать формированию дружелюбной для человека среды, обеспечивать возможность коммуникации между членами студенческого сообщества, содействовать активному взаимодействию проживающих с администрацией и позволять проживающим удовлетворять как можно более полно свои потребности в соответствии с интересами и учебно-профессиональной деятельностью [4].

Методы исследования. Для выполнения задач по конкретизации проблем и недостатков существующей жилой среды общежитий и последующего выявления на их основе ключевых принципов и соответствующих путей решения в рамках проектного метода были использованы данные социологического опроса, проведенного студентами 2 и 3 курса специальностей «Архитектура» и «Дизайн» Полоцкого государственного университета среди студентов, проживающих в общежитиях вузов республики, в том числе студентов Полоцкого государственного университета. Основными методами исследования служили материалы международной компьютерной сети «Internet» с использованием опроса студентов республики по системе он-лайн анкетирования, очного группового опроса, а также натурные обследования с использованием фотофиксации объектов. В анкетировании приняли участие 428 человек, в том числе 88 из них студенты Полоцкого государственного университета разных специальностей. В ходе опроса выявлены следующие аспекты: большинство студентов (67%) испытывают неудобство при проживании в общежитиях; состояние комнат не устраивает 53,4% проживающих; 71,6% опрошенных признали неудовлетворительными гигиенические зоны общежития, при этом 61,4% хотели бы иметь гигиеническую зону в комнате; 25% считают недостаточным освещение в комнатах; 46,6% считают неудовлетворительным состояние и количество мебели в комнатах; 65,9% признали размер комнат неудовлетворительным; 53,4% среди опрошенных хотели бы жить вдвоем, 28,4% – втроем, 12,5% – вчетвером; 81,8% студентов отметили некомфортный температурный режим в комнатах; 58% считают комфортным приготовление пищи на общей кухне; 78,4% студентов считают необходимым создание специально оборудованной зоны для курения в общежитии; 36,4% опрошенных выразили желание проживать со студентами своей специальности в отдельном общежитии.

При опросе также выявлен недостаток зон общего пользования, среди которых большее число респондентов отметили необходимость наличия комнат для выполнения занятий/работы, буфет/столовую/кафе, затем тренажерный зал, комнаты отдыха, рекреации и спортивный зал.

На основании анализа результатов опроса, а также норм проектирования и тенденций формирования жилой и общественной среды сформулированы *общие принципы*, соблюдение которых позволило бы создавать комфортное пространство для жизни.

1. Создание безбарьерной, общедоступной среды (рисунок 3). Любой объект следует проектировать с учётом нужд и возможностей человека, особенно физически ослабленных лиц, для которых обеспечить доступность среды можно при помощи: *устранения* неровностей; *устройства* пандусов с нормативным уклоном; *оборудования* здания лифтом/подъемником (либо обустройство комнат для маломобильных граждан на первом этаже); *расширения* дверных проемов (где это необходимо); *переноса* выключателей, розеток, перил, дверных ручек, противопожарного оборудования на доступную высоту; *проработки* информационного оснащения.



Рисунок 3. – Дизайн-концепция входных групп в общежития при реконструкции или новом строительстве*

2. Разделение пространства на личное и общее посредством вынесения активных и шумных видов деятельности в общие зоны (рисунок 4). Для реализации этого принципа необходимо оборудовать некоторые помещения для занятий спортом, танцами, создать места для учебы и работы в группах, досуга и тихого отдыха. Эти помещения в студенческом общежитии представляют собой общее пространство для студентов. Функционально помещения разделены: на зону приготовления пищи; столовую; зону тихого отдыха; зону активного отдыха. Общая комната, как и все остальные помещения данного проекта, является безбарьерной средой, учитывающей эргономические требования (рисунок 5).



Рисунок 4. – Видовые точки общего пространства в общежитии*

3. Реконструкция системы санитарно-гигиенического обслуживания, например, путем объединения комнат в блоки с отдельным санузелом или устройства душевой на каждом этаже.

4. Создание благоприятных условий для коммуникации и формирования здорового сообщества, развития вовлеченности и ответственности; привлечение студентов к решению различных вопросов, содействие организации воркшопов, летних школ, проведение открытых конкурсов, осуществление летней практики с применением знаний и умений к улучшению среды. В таких условиях студенты будут заинтересованы в поддержании чистоты и порядка на территории проживания, в активном участии в решении вопросов, связанных с местом жизни, и проявлении инициатив.

5. Экологичность и энергоэффективность. Будущее зависит от того, как мы распоряжаемся ресурсами нашей планеты. Особое внимание следует уделить следующим вопросам: снижению по-

*Выполнено в рамках проектного метода, внедренного в учебный процесс кафедры «Архитектура» Полоцкого государственного университета.

требления энергоресурсов (в частности, утеплению ограждающих конструкций, и заполнению оконных проемов); сортировке и переработке мусора; другим проблемам, касающимся этих вопросов.

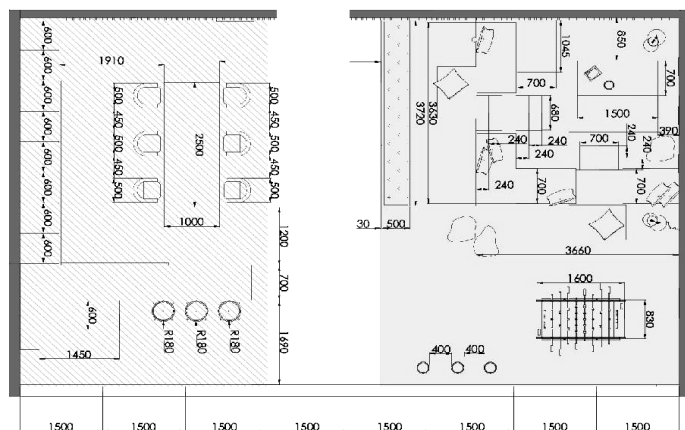


Рисунок 5. – План-схема зоны приема пищи и отдыха

6. Учет температурно-влажностного и воздушного режима как одного из важнейших факторов формирования самочувствия человека и использование новейших технологий отопления и вентиляции, особое внимание к качеству выполнения работ.

7. Благоустройство прилегающей территории: создание рекреационных зон; создание хозяйственных площадок; размещение спортивных площадок и оборудования; обустройство вело- и автопарковок.

8. Вариативность среды и свобода выбора. Каждый студент должен иметь возможность выбрать свой вариант для комфортного проживания из нескольких опций, различающихся по уровню удобства, цене, специфике сообщества проживающих.

Заключение. В результате проведенного исследования выявлены существующие недостатки, рассмотрены основные принципы формирования комфортной среды в студенческом общежитии и предложены способы решения проблем. В существующих условиях следует отметить также и то, что реформирование среды должно проводиться в комплексе и включать в себя обустройство не только мест проживания студентов, но и самих учреждений образования, прилегающей территории, мест приложения труда, спортивных площадок, магазинов, кафе, кинотеатров, парков, пешеходных переходов, тротуаров, дворов – всего городского пространства. Выявленные проблемы и предложенные пути их решения представляются важными, так как сформированная комфортная среда сможет обеспечить комфортное проживание в студенческих общежитиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровкова, А.А. Ретроспектива функционально-планировочной организации студенческого жилья / А.А. Боровкова, А.В. Мазаник // *Архитектура* : сб. науч. тр. – 2019. – Вып. 12. – С. 151–158.
2. Боровкова, А.А. Универсальная модель общежития глазами студента / А.А. Боровкова, А.В. Мазаник // *Архитектура* : сб. науч. тр. – 2018. – Вып. 11. – С. 229–233.
3. Боровкова, А.А. Оптимальная жилая среда общежитий для студентов / А.А. Боровкова // *Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки.* – 2018. – № 8. – С. 11–15.
4. Боровкова, А.А. Современные тенденции проектирования студенческих общежитий / А.А. Боровкова // *Актуальные проблемы белорусского Подвизня и сопредельных регионов* : сб. ст. респ. науч.-практ. семинара, Новополоцк 18–19 окт. 2018 г. / Полоцкий гос. ун-т ; под общ. ред. В.Е. Овсейчика (отв. ред.), Г.И. Захаркиной, Р.М. Платоновой. – Новополоцк, 2018. – С. 162 – 165.

Поступила 10.06.2019

BASIC PRINCIPLES OF IMPROVING THE FUNCTIONAL ORGANIZATION OF STUDENT HOUSING

A. BARAUKOVA; V. METLA; Y. KHALETSKAYA

This article analyzes the functional planning organization of student dormitories: dormitories for students implemented in the second half of the 20th century are examined, modern trends in designing dormitories are studied using the example of a student village in the city of Minsk. As a result of this study, through online questionnaires and face-to-face group interviews, aspects of optimizing the residential and public environment in student dormitories are considered. The requirements and prerequisites for the organization of the internal space of student hostels are formulated, and the need to develop a promising model of hostel for students based on their needs is justified.

Keywords: campus, dormitories, dormitory architecture, accessible environment, landscaping, environment optimization, comfortable environment.

УДК 72.012

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СЛОЖИВШЕЙСЯ ПРЕДМЕТНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЫ
ЖИЛЫХ КОМНАТ СТУДЕНЧЕСКОГО ОБЩЕЖИТИЯ**

*канд. техн. наук, доц. О.В. ЛАЗАРЕНКО;
М.Л. КРУГЛИКОВА; М.А. БАРМЕНКОВА; С.В. ТРУХАНОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрена сложившаяся предметно-пространственная среда студенческих общежитий, построенных в XX веке и эксплуатируемых в настоящее время. Выявлено несоответствие предметной среды современным тенденциям, сложившимся в практике дизайн-проектирования – предметно-пространственная среда должна обеспечивать социализацию студентов в период обучения. Улучшение комфортности проживания без выполнения реконструкции общежитий возможно за счет преобразования предметной среды жилища. На примере жилых комнат общежития Полоцкого государственного университета разработаны условное зонирование, мебельные модули предметного наполнения с учетом функционального назначения помещений, антропологических, эргономических, экологических требований. Представленные схемы предметного наполнения пространственной среды комнат для проживания 2-х, 3-х студентов с трансформируемой мебелью обеспечат студентам комфортность проживания.

Ключевые слова: студенческое жилище, предметно-пространственная среда, дизайн, трансформация, мебельный модуль.

Введение. Период обучения в вузе является важным этапом для социализации молодежи. Среди большого количества факторов, влияющих на социализацию, важное место занимает предметно-пространственная среда, с которой студент ежедневно соприкасается. Для многих студентов такой средой на 4–5 лет обучения является общежитие. Студенческое общежитие как категория жилища должно выполнять общие социальные функции: сохранение здоровья; создание здорового психологического климата, условий для подготовки к занятиям; организация досуга вне учебного времени, отдыха.

В Республике Беларусь большое количество зданий общежитий построены по типовым проектам 70–80-х годов прошлого столетия и эксплуатируются в настоящее время. Сформированная предметно-пространственная среда с коридорным расположением жилых комнат на 2...4 человека не выполняет современные социальные функции. В Беларуси для соответствия студенческого жилища современным требованиям необходима реконструкция большинства студенческих общежитий с изменением объемно-планировочного решения, инженерных сетей: системы вентиляции, водоснабжения, водоотведения, санитарно-технического оборудования.

Государственная программа «Образование и молодежная политика» [1], в которой предусмотрено упорядочить к 2020 году материальную базу учреждений высшего образования, в том числе за счет капитального ремонта зданий и сооружений, включая студенческие общежития, направлена на реализацию планов по решению обозначенных проблем. Безусловно, выполнение задач программы потребует длительного времени и больших капитальных вложений.

Цель данного исследования – преобразование предметно-пространственной среды студенческого жилища (без изменения объемно-планировочного решения и инженерных сетей общежития) с учетом современных требований.

Основная часть. Рассмотрим сложившуюся предметно-пространственную среду, характерную для большинства студенческих общежитий Республики Беларусь, на примере общежитий Полоцкого государственного университета. Из шести общежитий четыре (№ 1, 3, 5, 6) характеризуются сложившейся пространственной средой: 5-ти этажные здания с несущими продольными кирпичными стенами и благоустроенной территорией коридорного типа, с расположенными поэтажно жилыми комнатами, вспомогательными и санитарно-бытовыми помещениями. Площадь жилых помещений, а также наполнение мебелью соответствует «Гигиеническим требованиям к устройству, оборудованию и содержанию общежитий»: не менее 6 м² на одного человека, количество шкафов для одежды и обуви, тумбочек, стульев равно числу проживающих в комнате студентов [2], что не противоречит ТКП 45-3.02-324-2018. Жилые здания. Строительные нормы проектирования не предусматривают проектирования в жилых помещениях общежития зон, предназначенных для досуга, приема пищи [3]. Анализ действующих нормативных документов в Беларуси показал, что нормы не учитывают необходимость удовлетворения комплекса социальных, функциональных, технологических, творческих потребностей современных студентов. Это подтверждают многочисленные опросы студентов, проживающих в общежитии, проводимые практически во всех вузах Российской Федерации, Республики Беларусь, в том числе в Полоцком государственном университете. Основными показателями комфортного проживания в общежитии студенты называют домашний уют, функциональность и удобство жилища [4].

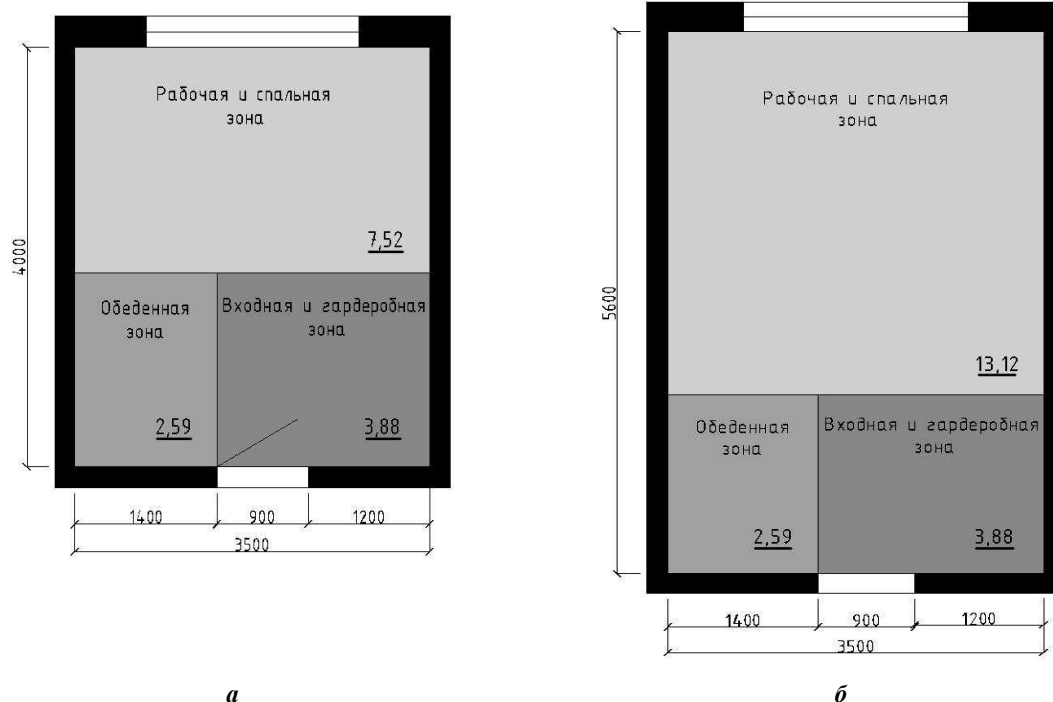
Сложившаяся предметная среда жилых комнат, побуждает студентов самостоятельно придать им функциональность и удобство, что приводит к загромождению пространства (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Предметная среда жилых комнат общежития № 3
Полоцкого государственного университета**

В связи со сложившейся пространственной средой, сформированной конструктивным и объемно-планировочным решением зданий, не планируемой в ближайшее время реконструкции зданий общежитий, нами разработаны несколько вариантов предметной среды жилых комнат, на примере общежития № 3 Полоцкого государственного университета.

Дизайн-проектирование основывалось на выполнении главной социальной функции жилища – обеспечить каждому проживающему ощущение комфорта. Комфортность жилых комнат создавалась с учетом функциональных и соблюдением гигиенических, функциональных, психологических, эстетических требований. Определены функциональные процессы, свойственные жилищу такого назначения: сон; питание; учёба; отдых; приём гостей. С учетом функциональных процессов локализованы предметно-пространственные единицы – зоны в границах жилой комнаты: входная; гардеробная; зона приема пищи (обеденная); рабочая и спальная для каждого студента. В связи с небольшими площадями комнат принято объединение зон в две взаимосвязанные многофункциональные, с условным делением на зоны: входная, гардеробная, обеденная; рабочая, спальная (рисунок 2).



**Рисунок 2. – Локализация функциональных зон в пределах комнат
для проживания 2-х студентов (а); для проживания для 3-х студентов (б)**

Мебель, оборудование представляют предметно-пространственные единицы с соответствующими ресурсами для реализации функциональных процессов.

Наполнение предметной среды единичными элементами (мебель, оборудование) производят различными способами [5], такими как:

- *специализация* – устойчивая комбинация единиц с минимальным количеством резервной площади помещения;
- *универсализация* – количество резервной площади помещения 50% и более от общей, позволяющее свободную комбинацию единиц;
- *трансформация* – объединение «специализации» и «универсализации» с ограниченным количеством резервной площади и свободной комбинации единиц.

Рассматривая различные приемы, принято решение проектировать предметную среду жилых комнат, используя трансформацию, позволяющую комбинировать мебель в модули с многофункциональным назначением, соответствующую процессам жизнедеятельности, а также стилистику минимализма с минимальным количеством декоративных элементов.

Проектирование модулей проводилось на основе средних антропометрических признаков человеческого тела, составляющих 95 перцентилей [6, с. 39], эргономических требований [7], ГОСТ 16371-93 Мебель. Общие технические условия [8].

В настоящее время большое количество зарубежных производителей выпускают многофункциональные модели мебельных модулей, отдельные элементы модулей в виде блоков.

Однако применение серийных блоков для предметного наполнения конкретных жилых комнат ограничено имеющимися размерами помещений.

В проектируемых интерьерах предлагается использование авторской встроенной мебели.

Нами разработаны *разъемные мебельные модули*, позволяющие за счет замены блоков менять функцию модуля.

Модули разработаны для двух многофункциональных зон.

Модуль № 1 – для первой многофункциональной зоны, объединяющей входную, гардеробную и обеденную зоны (рисунок 3).

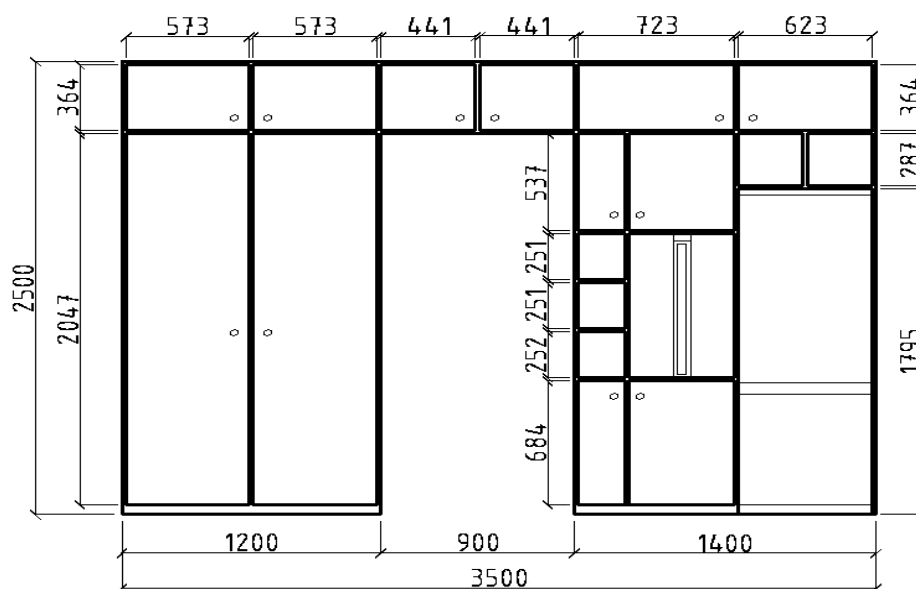


Рисунок 3. – Схема модуля № 1 первой многофункциональной зоны

Размещение в верхней части антресоли обеспечивает максимальное использование вертикального пространства входной зоны комнаты.

Конструкция трансформируемого стола позволяет разместить скрытые полки для хранения столовой утвари, запасов продуктов.

В модуле предусмотрена ниша для установки холодильника (рисунок 4).

Учитывая одинаковую ширину комнат для проживания 2-х и 3-х студентов, **модуль № 1** можно использовать для обеих комнат.

Модули № 2, 3 разработаны для второй многофункциональной зоны, объединяющей рабочую и спальную зоны (рисунок 5).



Рисунок 4. – Модель модуля № 1 первой многофункциональной зоны с трансформируемым столом

Модуль № 2 разработан для комнаты с проживанием 2-х студентов. В него входят: рабочий стол, одно спальное место, ящики и полки, предназначенные для хранения вещей. Трансформация блока рабочего стола осуществляется опусканием-поднятием столешницы – спального места поворотным механизмом. В сложенном виде блоки представляют собой фальшь-фасады модуля (рисунок 5).

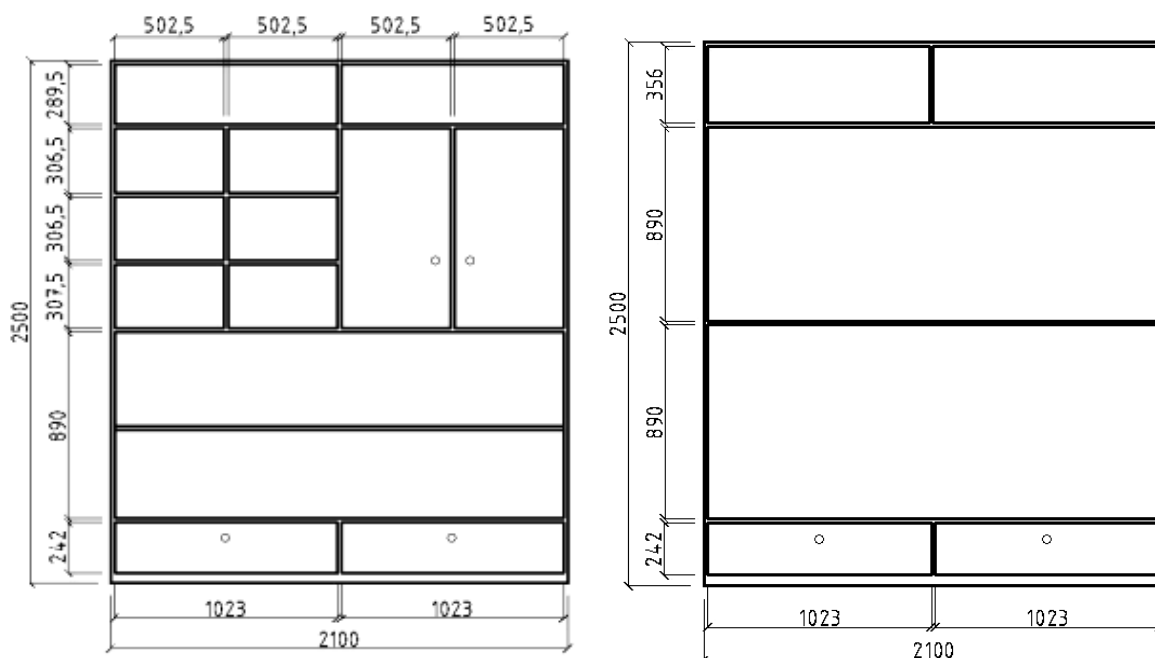


Рисунок 5. – Схемы модулей № 2, 3 второй многофункциональной зоны

В связи с принятым условным делением комнат на зоны спроектированы разграничители, расположенные перпендикулярно стене, в виде шкафа-ширмы. Таким образом, в комнате для проживания 2-х студентов размещены: модуль № 1; два модуля № 2; шкаф-ширма; 2 стула (рисунок 7).

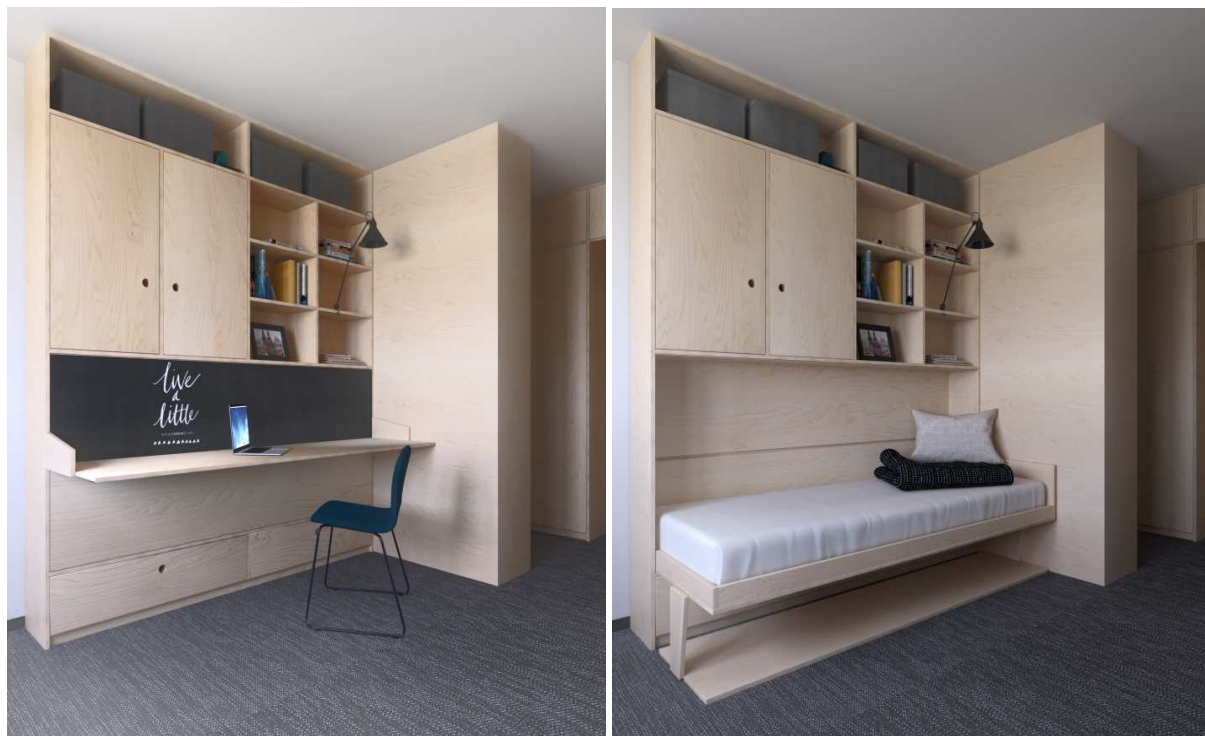


Рисунок 6. – Модель модуля № 2 второй многофункциональной зоны с трансформируемым рабочим столом и спальным местом

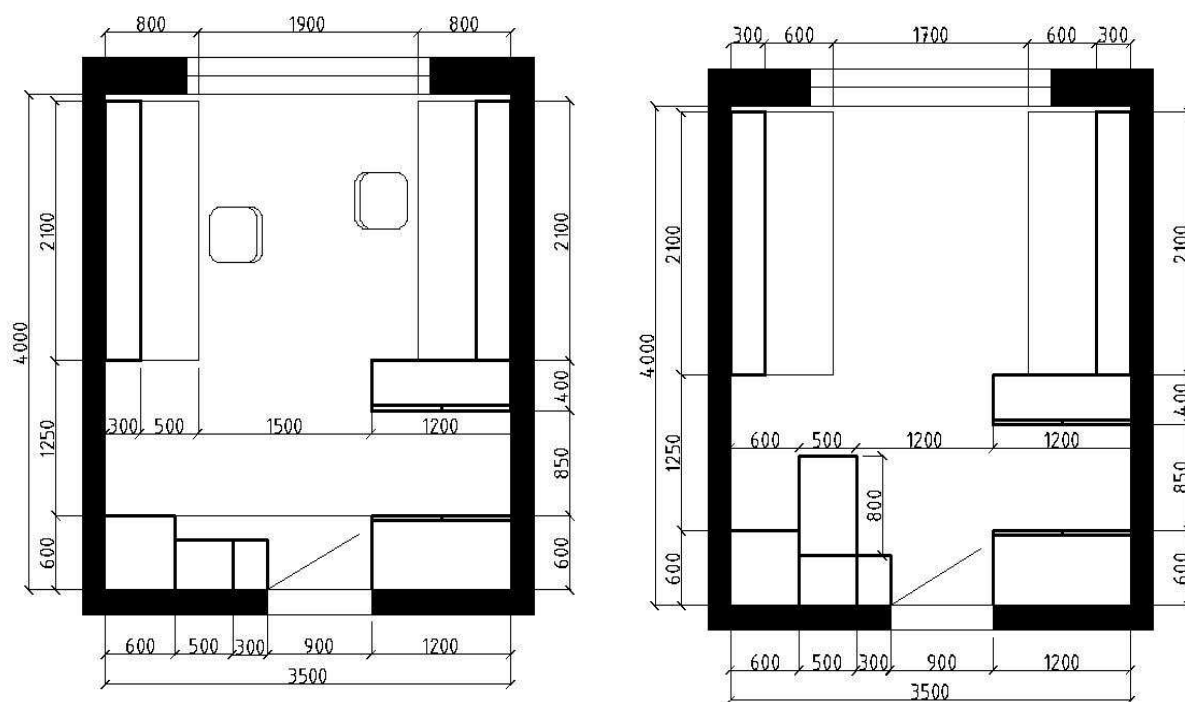


Рисунок 7. – Схема предметного наполнения пространственной среды комнаты для проживания 2-х студентов с трансформируемой мебелью

Модуль № 3 разработан для комнаты с проживанием 3-х студентов. В него входят два спальных места, полки и ящики для хранения вещей. Трансформация двухъярусных спальных мест осуществляется опусканием-поднятием её поворотным механизмом. Таким образом, в комнате для проживания 3-х студентов размещены: модули № 1, 2, 3; шкаф-ширма; 3 стула; рабочие места; две подвесные полки (рисунки 8, 9).



Рисунок 8. – Схема предметного наполнения пространственной среды комнаты для проживания 3-х студентов с трансформируемой мебелью



Рисунок 9. – Предметное наполнение спальных и рабочих мест комнаты для проживания 3-х студентов с трансформируемой мебелью

Заключение. Современные тенденции в проектировании предметной среды жилых комнат для проживания студентов определяют необходимость учета функциональных, психологических, эстетических, гигиенических, антропологических, экологических аспектов, существенно влияющих на социализацию студентов в период обучения в вузе. Однако сложившаяся предметная среда жилищ, вновь построенных и эксплуатируемых общежитий, не удовлетворяет потребности современных студентов.

Анализ нормативной базы Республики Беларусь показал, что установленные требования к устройству, оборудованию общежитий, жилых комнат не обеспечивают комфортность проживания студентов.

Разработанные многофункциональные зоны, модели модулей с блоками трансформируемой мебели, схемы предметного наполнения пространственной среды комнат для проживания студентов, в отличие от сложившейся предметной среды студенческих общежитий, обладают преимуществами:

- *соответствуют нормам и правилам проектирования;*
- *функциональны и эргономичны; образуют составляющие «домашней среды»;*
- *обеспечивают функциональный, психологический, физиологический комфорт проживания.*

Таким образом, изложенное подтверждает актуальность проведенного исследования, свидетельствуя тем самым о необходимости внедрения моделей модулей с блоками трансформируемой мебели, схемы предметного наполнения пространственной среды комнат для проживания студентов с целью улучшения комфортности проживания без выполнения реконструкции общежитий за счет преобразования предметной среды жилища.

ЛИТЕРАТУРА

1. Образование и молодежная политика : государственная программа на 2016–2020 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 марта 2016 г., № 250 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2016. – № 5/41915.
2. Гигиенические требования к устройству, оборудованию и содержанию общежитий : санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы [Электронный ресурс] : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 11 авг. 2009 г., № 91. – Режим доступа: minzdrav.gov.by. – Дата доступа: 30.04.2019.
3. Жилые здания. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.02-324-2018. – Введ. 13.45.2018. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2018. – 20 с.
4. Боровкова, А.А. Основная проблематика и тенденции формирования студенческого жилья. Объемно-планировочное решение студенческих общежитий Полоцкого государственного университета / А.А. Боровкова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – С. 18–23.
5. Основы композиции и дизайна мебели / А.А. Барташевич [и др.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 192 с.
6. Покатаев, В.П. Конструирование оборудования интерьера : учеб. пособие / В.П. Покатаев. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 352 с.
7. Рунге, В.Ф. Эргономика в дизайне / В.Ф. Рунге, Ю.П. Манусевич. – М. : Архитектура-С, 2005. – 328 с.
8. Мебель. Общие технические условия : ГОСТ 16371-93 ; Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Межгосударственный стандарт. – Введ. 01.01.1995 ; с изм. от 14.03.2012. – Минск : ИПК Изд-во стандартов, 2012. – 22 с.

Поступила 07.06.2019

AFUNCTIONAL-PLANNING SOLUTION OF SPECIAL HOUSES FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

O. LAZARENKO, M. KRUGLIKOVA, M. BARMENKOVA, S. TRUKHANOVICH

The developed subject and spatial environment of the dormitories built in the 20th century and operated now is considered. The discrepancy of the subject environment to the current trends, which developed in practice of design design, is revealed: the subject and spatial environment has to provide socialization of students during training. Improvement of comfort of accommodation without performance of reconstruction of hostels is possible due to transformation of the subject environment of the dwelling. On the example of living rooms of the hostel of the Polotsk state university conditional zoning, furniture modules of subject filling taking into account functional purpose of rooms, anthropological, ergonomic, ecological requirements are developed. The submitted schemes of subject filling of the spatial environment of rooms for accommodation of the 2nd, 3rd students with the transformed furniture, will provide to students comfort of accommodation.

Keywords: student's dwelling, subject and spatial environment, design, transformation, furniture module.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

UDC 666.6:666.972.168

POROUS WALL CERAMICS WITH BURNOUT ADDITIVE FROM FLAX BOON

*PHD, associate professor, NADEZHDA DAVYDENKO;
PHD, associate professor, ALEXANDER BAKATOVICH;
PHD, associate professor, DMITRY SHABANOV
(Polotsk state university)*

Advantages and technologies of porous ceramics production are considered. The experience of using burnout additives of different origin for wall ceramics is analyzed. In the work it is proposed to use a flax boon fraction of not more than 2 mm as a burnout additive. Density and strength of ceramic samples were determined. The dependence of the average density and strength of the ceramic shard on the consumption of flax boon, including the use of superplasticizer S-3. The positive effect of the use of superplasticizer S-3 on the compressive strength of porous ceramic samples was established. The data on frost resistance and thermal conductivity of porous wall ceramics samples obtained by using flax boon as a burnout additive are presented.

Keywords: porous ceramics, flax boon, burnout additive, strength, density.

Introduction

Economy resources are the major economic and environmental problem all over the world. Modern construction demands the raise of efficiency of building materials. The solution of this problem is connected with creation of materials for non-load-bearing constructions of the buildings providing decrease of power consumption and specific consumption of materials in manufacturing, raising of their heat-shielding properties and decrease of loadings on the basic load-bearing walls of buildings.

It is possible to provide requirements of the building complex in such materials partially at the expense of working out of composites and production technique of ceramic items with porous structure.

Porous ceramic possesses a number of advantages as compared with other building materials, including hollow and solid brick. These are high heat-shielding, fireproof and sound-proof properties, chemical durability, low sorption moisture.

Porous structure of ceramic materials can be made by buckling of a charge in process of formation or foaming, chemical pore-formation, using of monofractional composites of initial raw materials, raising moisture of raw mass, introducing burning additives, adding in mass porous aggregates into foaming.

Obtaining of a high-porous ceramic by a pressing method is known. Using the property of clay (plastic property), corpuscles tapes-zhgutik of the lengthened form are made, at chaotic, disorder placement and pressing obtain. This method allows to obtain porous ceramic items with density 800...1300 kg/m³ [1].

Using a high-speed high-temperature buckling and caking raw-clay porous ceramic small blocks with density 400...800 kg/m³ are obtained. It allows to reduce the thickness of walls in 1.3...1.5 times in comparison with a traditional brick [2].

Adding burning out additives in a charge is optimal in manufacturing wall ceramic materials by the method of plastic formation. In the process of roasting the uniform warming up of products is observed, reducing medium improving process of formation of a ceramic crock is created. These additives are the sawdust which application is known since XVIII century [4], various sorts of bituminous coal, a waste coal dressing plants, ash TEC, lignin, peat, straw, leaves of trees, peel buckwheat, polystyrenen packings wastes, papers, board, any other combustible materials having low bulk density [3–5].

Application of extraction and enrichment of coals waste of the Western Donbass, the Lvovsko-Volynsk coal field is known. It provides more uniform distribution of combustible mass in burned items and is economically and technologically favourable. A coal output and enrichment wastes considerably reduce sensitivity of the raw to drying, provide temperature reduction of brick roasting on 50...70 °C and allows obtain crock of the lower density.

Adding in ceramic mass the coal residual materials besides formation the porous structure allows to lower fuel consumption, necessary for roasting of items.

Having the unburned carbon (not burnt out coke) it is possible to use ash TEC as a combustible additive. Ash in quantity to 50% that allows to gain a stoneware in density to 1250 kg/m³ induct into a charge wall ceramics. However disadvantages of ash TEC are connected with the restriction of the content CaO + MgO (no more than 5%)

and an unequal chemical compound of ash is noted at burning of the same fuel on one power station. It leads to differences of physic-mechanical properties of a ceramic brick [3].

Perspectiv composites for wall ceramics are composites on the basis of riding clay with the additive of ash or cindery microspheres in quantity of 10...20% from the clay mass, allowing to obtain ceramic items with average density 1120...1450 kg/m³ [4].

Use of complex mineral (pulverous fractions of argillites) and organic additives (levigated stalks of cotton) are known. Average diameter of stalks of cotton is 5...10 mm. Thanks to porous-fibrous structure of stalks drying of products is considerably sped up. The additive in clay raw materials of argillites of the completed lubricant-coolant and levigated stalks of cotton allows to obtain the stoneware with average density 1385 kg/m³ and the brand with strength of M 100.

Is perspectiv use of zeolitic mucks. Zeolit-containing siliceous mucks and zeolit-containing clays are effective technological additives in manufacturing ceramic brick. Pustotno-porous brick hollowness of 41%, a brand on strength of M 75...100, average density 930...980 kg/m³ and a coefficient of thermal conductivity no more than 0,3 W/(m·°C) is gained from raw masses on the basis of polymineral clay and the given technological additives [5].

It is possible to create a highly porous structure of a ceramic material by applying the high-temperature porisation of a clay charge, as well as by supplementing the granules of a ceramic semi-finished product during firing. As a fine additive, the author [6] proposed to use fine porous highly dispersed zeolite in an amount of 10...15%. The average density of such a ceramic brick is 520...700 kg/m³ with a compressive strength of 1,5...2,5 MPa.

One of the ways of solution the problem of decreasing average density is using raw materials for wall ceramics siliceous opalcrystalbolide rocks. Argillous minerals flask are presented mainly by hydromicas which promote lower sintering temperatures. The least average density of samples on the basis of carbonate flask is 1180...1330 kg/m³, the greatest on the basis of argillous is 1380...1540 kg/m³. It allows to obtain hollow structural products of average density 800...1200 kg/m³ [7]. Average density of the crock on the basis of flask is 15...35% lower then the same parameter of the products made from traditional clay raw materials.

Only as burning out additives, but also as a plasticizer lignine is used being waste product of wood alcohol. Besides, the additive improves drying and forming properties of clay mass. Lignine is inducted in number of 4...15%, combining with other combustible additives, for example, sawdust, coal [8].

It is necessary to induct in charges great volume of burning out additives of phytogenesis (peel buckwheat, wood dust) for raising heat efficiency of wall materials. For the purpose of exclusion of strength reduction of the porous crock. Na- and Al-containing additives are recommended to introduce simultaneously into charge of additives of multifunctional acting consumption. It is at the expense that power- and resource effect and raise of strength of hollow-porous ceramics is attained of mehano-chemical activation: mechanical – at flour milling of the basic raw materials; chemical – in introducing in the composition of mehanoactivated clay, Na- and Al-containing additives and combustible additions, including processed by these chemical additives. Products having the brand with strength of M 75...100 and average density 684...973 kg/m³ and hollowness 20...55 % [9] are obtained.

Now the sawdust inducted in number of 8...28% by volume is widely applied for martempering drying properties of raw [3]. Application of sawdust as a blowing agent gives economy of fuel and energy resources and allows to obtain the ceramic material with the improved heat-shielding properties. Properties of the charred products are influenced by the size and structure of sawdust. When using a circular saw coarse and fibrous sawdust are obtained, and when using at the belt saw more thin sawdust of the cubic form are obtained. The greatest effect is attained in introducing of the sawdust obtained by means of the belt saw.

Researchers at Kazan State Architectural and Construction University have developed a method for producing ceramic foam products, which includes the joint mixing of all components of the charge (clay, aggregate, burnable, stabilizing, fluxing additives, liquid glass, plasticizer, water and a foaming agent). Sawdust with a fraction of 0,25...0,315 mm is used as a burnable additive. The compressive strength of the samples is 3,7...4,0 MPa with an average density of 580...630 kg/m³ [10]. In addition, this university is developing in the field of production of porous-hollow bricks and stones with a density of 750 - 950 kg/m³ with a strength of 75...150 MPa and thermal conductivity of 0,145...0,185 W/(m·°C). Burning supplement is buckwheat husk in the amount of 20... 56% of the volume of the mixture.

A large number of scientific papers [11–16] are devoted to the use of organic waste from the agro-industrial complex: rice husk, raw cotton waste, sugar cane, tea production.

According to the results of a number of studies, it is proposed to use waste from the production of olive oil as burnable additives [17–21].

The introduction of cake into the charge as a pore-forming additive [19] made it possible to obtain a ceramic brick with a reduced density and thermal conductivity while maintaining the strength characteristics.

French researchers [20] added milled olive pits and wheat straw to the mixture to obtain porous ceramics.

Belarusian colleagues studied composition containing various pore-forming additives [22], such as sawdust and wood ash, pulp and paper and sugar production in an amount of up to 10% to produce wall ceramic materials with improved thermal insulation characteristics.

In Belarus researches on use of sawdust as burning out additive by specialists "NIISM" is carried out. The obtained experimental data allowed to development technological parameters of clay moulding, drying and roasting at Radoshkovichsky ceramic plant [23]. Products with general density 850...1100 kg/m³, having the brand on strength of M 75...175, the brand on frost resistance F 50...75 are obtained. The coefficient of thermal conductivity in dry state is 0,18...0,29 W/(m·°C).

At the Obolsky ceramic plant in cooperation with Polotsk State University the manufacturing methods of producing of structural clay tiles with the peat and fuel oil additives are completed. The control composition has the density of 1850 kg/m³ at strength 29 MPa. Use of the complex additive of peat and fuel oil allows to lower the density to 1150 kg/m³ at the brand of products with strength M 75 and the brand on frost resistance F 15, and to lower heat conductivity from 0,64 to 0,52 W/(m·°C) [24]. However for last years peat and fuel oil cost has considerably raised and application of these additives is economically unprofitable.

Theoretical and practical development on influencing of surface active substances as additives on properties of the clay brick testify of possibility of improving of structural characteristics of ceramic items. Use of surface active substances on the basis of lignosulphonates increases the number of plastic properties of clays, raises mould ability, reduces forming moisture and doubles the strength of the raw brick and the strength of the brick. The optimal proportion is 1...1,5% of mass of clay.

Practically all observed above additives are by-products or production wastes. As practice shows application of those or other additives has regional character, as it is, as a rule, the waste of manufacture.

Use of secondary resources in manufacturing of building materials is a considerable reserve of raising building efficiency. Among such resources it is possible to gate out a farming industry with drawal – the flax boon. Using the boon as an organic burnout additive allows to lower average density of a ceramic crock, to create the framing of ceramic mass preventing the shrinkage of samples and, promotes materials recycling of processing of flax.

Materials and methods

The density of the ceramic crock was determined according to GOST 7025. The compressive strength of the ceramic crock was studied according to the method given in GOST 8462. Frost resistance of ceramic samples was determined in accordance with GOST 7025. With the help of the device ITP-MG4 in accordance with the requirements of STB 1618 set the values of the thermal conductivity of the porous ceramics.

Clay of medium plasticity of deposit «Zapolie» was used for researches. The control composition (clay 90% + chamotte 10%) has the average density of a ceramic crock 1810 kg/m³ with the strength 31 MPa. In experimental compositions, flax boon fraction of 0,5...1 mm, 1...2 mm and 2-3 mm was administered in an amount of 3...10%.

Surface-active substance (surfactant) based on naphthaleneformaldehyde was used to increase the strength of the experimental samples. Superplasticizer S-3 according to specifications 6-36-020429-625 as the surface active substances was applied.

Main part, discussion

The raw mass should possess certain forming properties. Using the high plasticity of charge leads to reject, increasing shrinkage; poor plasticity raw mass, – to breakage of the tape press. In order to avoid defects and breakdowns in the process of brick production, we must consider the humidity of the flax boon with the introduction of the raw mass. After a number of studies, we found that the best rate of plasticity of ceramic mass is achieved at a moisture content of flax boon 44...87%.

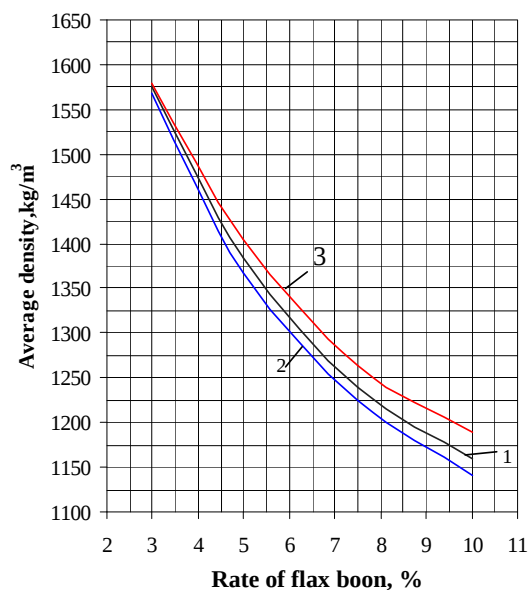
The use of flax boon as a burnout additive reduces the density of experimental samples from 1810 kg/m³ to 1140...1580 kg/m³. At the same time, the compressive strength of the samples decreased by 2 or more times to 5,5...15,8 MPa. On the basis of experimental data dependences of density and strength of the ceramic crock from the charge flax boon (Figures 1, 2) are obtained.

The obtained dependences allow us to conclude that the introduction of flax boon in the amount of 3...10% reduces the average density of the ceramic crock by 13...37%. Introducing the burnout additive in quantity to 3% from clay mass does not provide essential decrease of average density, and introducing more than 10% from clay mass considerable strength reduction of a ceramic crock occurs.

Thus, the allowable amount of added flax boon is in the range from 3 to 10% by weight of clay. At the same time, the best strength characteristics are demonstrated by samples with the addition of flax boon with a fraction of 0,5...1 mm and 1...2 mm (Figure 2).

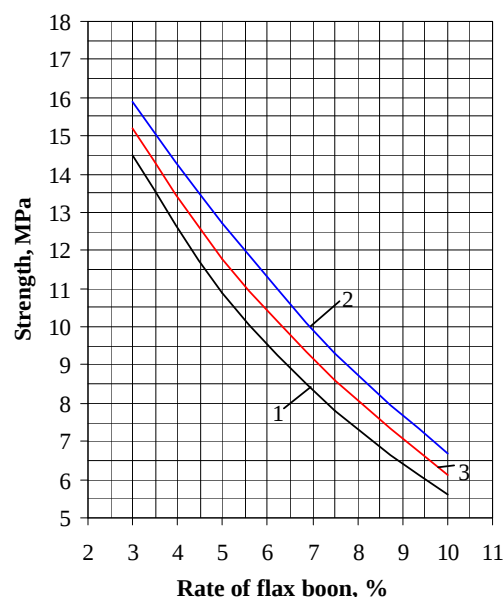
With a view to ensuring the regulatory requirements of the brand porous bricks shall conform to M75, M100, M125. From these dependencies in Figure 2 it follows that for the M75 brand, the consumption of flax

boon with a fraction of 1...2 mm is 9,1% with a density of 1170 kg/m³. To ensure the brand M125 input flax boon fraction of 1...2 mm should be no more than 5,2%, and the density should be at least 1360 kg/m³.



1 – fraction of 2...3 mm; 2 – fraction of 1...2 mm;
3 – fraction of 0,5...1 mm

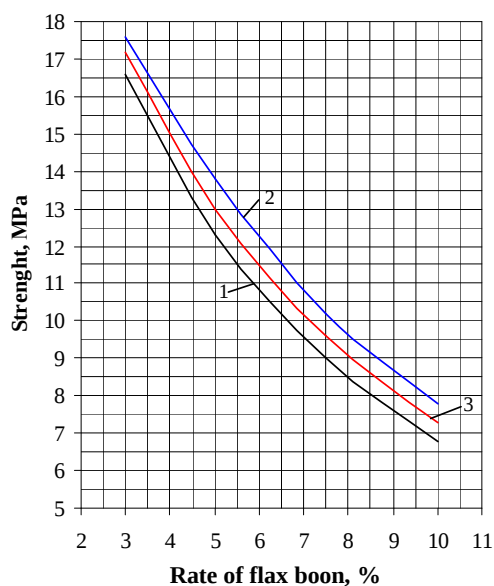
Figure 1. – Dependence of average density of ceramic crock on the rate of flax boon



1 – fraction of 2...3 mm; 2 – fraction of 1...2 mm;
3 – fraction of 0,5...1 mm

Figure 2. – Dependence of strength of a ceramic crock on the rate of flax boon

Experimental data allow us to conclude that it is possible to obtain ceramic wall products with the strength of the crock from 6,8 to 17,6 MPa when adding a superplasticizer S-3 to the raw material mass. Dependences of the strength of a ceramic crock from the rate of flax boon in acting of superplasticizers S-3 are obtained (Figure 3).



1 – fraction of 2...3 mm; 2 – fraction of 1...2 mm; 3 – fraction of 0,5...1 mm

Figure 3. – Dependence of strength of a ceramic crock on the rate of flax boon with the introduction of superplasticizer S-3

The introduction of plasticizer S-3 provided an increase in strength by 11...24% of porous ceramic samples compared with compositions without additives. While maintaining the strength at the level of compositions

without additives, it is possible to increase the number of introduced flax boon by 1...1,5%, which will reduce the density of ceramic bricks to 10%.

For samples with a compressive strength of at least 10 MPa at a density of 1250 kg/m³, frost resistance and thermal conductivity were determined. Frost resistance of experimental porous ceramics was 84 cycles of alternating freezing and thawing, which corresponds to the brand F75. The thermal conductivity of the samples in the dry state (operating conditions A) is 0,22 W/(m·°C).

Conclusion

1. The possibility of using flax boon as a burnout additive in the manufacture of wall ceramics is proved. The best levels of density and strength are achieved by using the flax boon fraction 0,5...1 mm and 1...2 mm.

2. With the introduction of flax boon in an amount of 5...9% in the raw material mass, it is possible to obtain wall ceramics with a compressive strength of 7,5...12,5 MPa at a density of 1170...1360 kg/m³.

3. Application of the surface active substances based on naphthalene formaldehyde improves the molding properties of the ceramic mass and reduces water consumption. Due to the decrease in the moisture content of the ceramic mass, the drying process is accelerated, which reduces energy consumption and increases the strength of the experimental samples by 11...24%.

LITERATURE

1. Akberov, A.A. Tekhnologiya i svoystva vysokoporistogo keramicheskogo materiala : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.05 / A.A. Akberov ; Sankt-Peterburgskiy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. – Sankt-Peterburg, 2005. – 21 s.
2. Tammov, M.Ch. Energoeffektivnyye poristokeramicheskiye materialy i izdeliya : avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk : 05.23.05 / M.Ch. Tammov ; Nauchno-issledovatel'skiy proyektno-konstruktorskiy i tekhnologicheskii institut betona i zhelezobetona. – Moskva, 2006. – 39 s.
3. Rogovoy, M.I. Tekhnologiya iskusstvennykh poristyykh zapolniteley i keramiki / M.I. Rogovoy. – M. : Stroyizdat, 1974. – 315 s.
4. Revva, I.B. Stroitel'naya keramika na osnove kompozitsiy legkoplavkikh glin s neplastichnymi prirodnyimi i tekhnogennymi komponentami : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.17.11 / I.B. Revva ; Tomskiy politekhnicheskii universitet. – Tomsk, 2005. – 23 s.
5. Kornilov, A.V. Netraditsionnyye vidy nerudnogo syria dlya proizvodstva stroitel'noy keramiki / A.V. Kornilov // Stroitel'nyye materialy. – 2005. – № 2. – S. 50–51.
6. Putro, N.B. Porizovannaya stroitel'naya keramika (sostav, tekhnologiya, svoystva) : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.05 / N.B. Putro ; Novosibirskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet (Sibstrin). – Novosibirsk, 2004. – 24 s.
7. Kotlyar, V.D. Opoki – perspektivnoye syrye dlya stenovoy keramiki / V.D. Kotlyar, B.V. Talpa // Stroitel'nyye materialy. – 2007. – № 2. – S. 31–33.
8. Zolotarskiy, A.Z. Proizvodstvo stroitel'nogo kirpicha / A.Z. Zolotarskiy. – M. : Stroyizdat, 1989. – 264 s.
9. Gabidullin, M.G. Nauchnyye i tekhnologicheskiye osnovy upravleniya strukturoy i svoystvami energo- i resursosberegayushchey stroitel'noy keramiki : avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk : 05.23.05 / M.G. Gabidullin ; Kazanskiy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. – Kazan, 2006. – 51 s.
10. Dmitriyev, K.S. Poristaya keramika: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy / K.S. Dmitriyev // Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya. – 2016. – № 7. – S. 152–154.
11. Prospects for using industrial waste in production of ceramic building materials / D.V. Makarov [et. al.] // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2016. – No. 5. – P. 254–281.
12. Raut, S.P. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks / S.P. Raut, R.V. Ralegaonkar, S.A. Mandavgane // Construction and Building Materials. – 2011. – V. 25. – P. 4037–4042.
13. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review / P. Muñoz [et. al.] // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 63. – P. 97–107.
14. Monteiro, S.N. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update / S.N. Monteiro, C.M. Fontes Vieira // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 68. – P. 599–610.
15. Halil, M.A. Cotton and limestone powder waste as brick material / M.A. Halil, P. Turgut // Construction and Building Materials. – 2008. – V. 22. – P. 1074–1080.
16. Demir, I. An investigation on the production of construction brick with processed waste tea // Building and Environment. – 2006. – V. 41. – P. 1274–1278.
17. Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production / M. Dolores La Rubia-Garcia [et. al.] // Construction and Building Materials. – 2012. – V. 36. – P. 395–500.

18. De la Casab, J.A. Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing / J.A. De la Casab, E. Castro // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 61. – P. 320–326.
19. Replacement of the mixing fresh water by wastewater olive oil extraction in the extrusion of ceramic bricks / D. Eliche-Quesada [et. al.] // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 68. – P. 659–666.
20. Eliche-Quesada, D. Effect of sludge from oil refining industry or sludge from pomace oil extraction industry addition to clay ceramics / D. Eliche-Quesada, R. Azevedo-Da Cunha, F.A. Corpas-Iglesias // Applied Clay Science. – 2015. – V. 114. – P. 202–211.
21. Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: cases of olive stone flour and wheat straw residues / L. Aouba [et. al.] // Construction and Building Materials. – 2016. – V. 102. – P. 7–13.
22. Svoystva keramicheskikh stenovykh materialov pri vvedenii razlichnykh vygorayushchikh komponentov / I.V. Pishch [et. al.] // Steklo i keramika. – 2015. – № 2. – S. 19–23.
23. Rusak, G. Keramika dlya teplykh sten. Perspektivy proizvodstva i primeneniya porizovannoy keramiki v respublike Belarus / G. Rusak // Masterskaya. – 2007. – № 1–2. – S. 84–89.
24. Ivanenko, A.M. Svoystva stenovykh keramicheskikh materialov, poluchayemykh s ispolzovaniyem vygorayushchikh dobavok na osnove mestnogo Syria / A.M. Ivanenko, V.V. Bozylev, A.A. Bakatovich // Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F, Prikladnyye nauki. – 2005. – № 9. – S. 121–127.

Received 10.06.2019

ПОРИСТАЯ СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА С ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ ИЗ КОСТРЫ ЛЬНА

**канд. техн. наук, доц. НАДЕЖДА ДАВЫДЕНКО;
канд. техн. наук, доц. АЛЕКСАНДР БАКАТОВИЧ;
канд. техн. наук, доц. ДМИТРИЙ ШАБАНОВ
(Полоцкий государственный университет)**

Рассмотрены преимущества и технологии производства стеновой пористой керамики. Проанализирован опыт применения выгорающих добавок растительного происхождения для стеновой керамики. Предлагается использовать костру льна фракцией не более 2 мм в качестве выгорающей добавки. Определены плотность и прочность керамических образцов. Установлена зависимость средней плотности и прочности керамического черепка от расхода костры льна, в том числе при использовании суперпластификатора С-3. Установлено положительное влияние применения суперпластификатора С-3 на прочность при сжатии пористых керамических образцов. Приведены данные по морозостойкости и теплопроводности образцов пористой стеновой керамики, полученных с использованием костры льна в качестве выгорающей добавки.

Ключевые слова: пористая керамика, костра льна, выгорающая добавка, прочность, плотность.

УДК 666.972.16

ВЛИЯНИЕ РАЗНОВИДНОСТЕЙ СУЛЬФАТА НАТРИЯ В КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКЕ НА ОСНОВЕ СУЛЬФИРОВАННЫХ ТЯЖЕЛЫХ СМОЛ ПИРОЛИЗА НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрен один из показателей – время выгрузки бетонной смеси из автотранспортных средств, который не нормируется, но определяет время, в течение которого бетонная смесь пригодна для укладки в конструкцию. Проанализированы работы, в которых предлагаются химические добавки, позволяющие увеличить продолжительность сохранения технологических свойств бетонных смесей. Предложен вариант синтеза добавки в бетонные смеси на основе тяжелых смол пиролиза, увеличивающий время сохранения подвижности бетонной смеси.

Ключевые слова: сохраняемость, подвижность, транспортирование, добавка, бетонная смесь, тяжелые смолы пиролиза, сульфат натрия.

Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси – это время, в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после завершения перемешивания теряет удобоукладываемость в пределах диапазонов марок по удобоукладываемости, указанных в ГОСТ 7473-2010. Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси становится важным показателем в режиме реального времени, когда известно время транспортирования бетона и погодные условия во время транспортирования.

Условия хранения пробы бетонной смеси от момента отбора до момента испытания должны соответствовать температурно-влажностным условиям транспортирования и ее укладки. Оценка сохраняемости удобоукладываемости бетонной смеси заключается в получении и оценке данных об изменении ее свойств в течение определенного времени: *первый этап* – определение подвижности бетонной смеси следует выполнять непосредственно после завершения ее перемешивания; *второй и последующие этапы* – через каждые 30 минут. Для каждого испытания следует использовать новую порцию бетонной смеси.

Необходимое количество автотранспортных средств для транспортировки бетонных смесей (N) определяется из выражения:

$$N = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{T_6} + 1,$$

где T_1 – продолжительность загрузки автотранспортных средств, мин; T_2 – время нахождения автотранспортных средств в пути от завода товарного бетона до стройплощадки и обратно, мин; T_3 – время маневрирования автотранспорта, мин; T_4 – время выгрузки бетонной смеси из автотранспортного средства, мин; T_5 – время перемешивания бетонной смеси в барабане автобетоносмесителя после введения добавки на объекте, мин; T_6 – интервал доставки бетонной смеси на строительный объект.

При определении количества автотранспортных средств для доставки бетонной смеси на объект, исходят из условия необходимости обеспечения заданной подвижности бетонной смеси при ее укладке в конструкцию. Для этого необходимо знать параметр T_4 – время выгрузки бетонной смеси из автотранспортных средств. У каждого производителя своя норма времени выгрузки бетона из автобетоносмесителя, но в среднем можно считать, что 1 м³ выгружается не более 10 минут. Нормативное время разгрузки миксера вместимостью 5 м³ составляет 40 минут [1]. Темп выгрузки автобетоносмесителей белорусского производства в соответствии с их техническими характеристиками [2] приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Технические характеристики автобетоносмесителей белорусского производства.

Наименование технических характеристик	634207	63A307 (630307)	63A507 (630507)
Полная масса автобетоносмесителя, кг, не более	28700	24700	24700
Масса снаряженного автобетоносмесителя, кг, не более	13700	13700	13700
Мощность двигателя автобетоносмесителя, кВт (л.с.)	183 (250)	183 (250)	243 (330)
Высота загрузки смесительного барабана, мм	3700	3700	3700
Высота выгрузки бетонной смеси, мм	530...2000		
Темп загрузки, м ³ /мин, не менее	1	1	1
Темп выгрузки бетонной смеси, м ³ /мин, не менее	1	1	1
Габаритные размеры, мм, не более:			
- длина	9000		
- ширина	2550		
- высота	3700		
Вместимость смесительного барабана по выходу готовой смеси, куб. м	7	7	7

В связи с несовпадением данных темпа выгрузки по разным источникам был произведен на отдельных строящихся объектах *хронометраж* с целью определения величины изменения данного параметра.

Результаты хронометража показали широкий разброс во времени, зависящий от многих факторов, как объективных, так и субъективных, его величина может достигать до 60 мин. Для сохранения удобоукладываемости бетонной смеси во времени величина этого параметра недопустима большая.

Для уменьшения параметра T_4 (время выгрузки бетонной смеси из автотранспортных средств) необходимо предусматривать мероприятия по сокращению потерь времени при выгрузке бетонной смеси из автобетоносмесителя или повысить сохраняемость подвижности бетонной смеси.

Для того чтобы повысить сохраняемость подвижности бетонной смеси, в работе [3] предлагается использовать суперпластификатор для товарного бетона, который обеспечивает повышенную сохраняемость подвижности пластифицированных бетонных смесей, не увеличивая вместе с тем время набора прочности в ранние сроки. Указанный суперпластификатор включает нейтрализованные продукты гомополимеризации формальдегида, полученные в результате автокатализируемого процесса полимеризации формальдегида в присутствии гидроксида кальция и соли полигидроксикарбоновых кислот в виде щелочных или щелочноземельных производных соединений, общая формула которых имеет вид:

- $R(\text{CHON})_n\text{COOH}$, где $n = 2$;

- $R = \text{COOH}$ или CH_2OH в соотношении (мас. ч.) – нейтрализованные продукты гомополимеризации формальдегида 1,0;

- соли полигидроксикарбоновых кислот 0,05...0,2.

В работе [4] на основании выполненных исследований сделан вывод, что введение сульфата натрия совместно с нафталинформальдегидным суперпластификатором (НФС), т.е. при мягком варианте регулирования гидратации C_3A приводит к увеличению кажущейся подвижности на 6 см, а сохраняемости – более чем в 2 раза.

Аналогичные результаты получены и при испытаниях одной из последних разработок фирмы «Полипласт Премиум» – суперпластификатора под таким же названием.

В работе [5] предложен неионный сополимер простого и сложного полиэфира для продления удобоукладываемости цементной смеси. Неионный сополимер содержит остатки мономеров А, В и/или С.

Мономер А представляет собой по меньшей мере один этиленненасыщенный мономер сложного эфира карбоновой кислоты, содержащий гидролизующийся в цементной смеси фрагмент, где гидролизованный остаток мономера содержит активный участок связывания для компонента цементной смеси.

Компонент А – сложный гидроксикарбонильный моноэфир, сложный гидроксикарбонильный диэфир или их смеси.

Мономер В – один из этиленненасыщенных мономеров алкенилового эфира, содержащий минимум одну C_{2-4} оксикарбонильную боковую группу, состоящую из 1...30 звеньев.

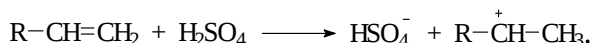
Мономер С – один этиленненасыщенный мономер алкенилового эфира, содержащий как минимум одну C_{2-4} оксикарбонильную боковую группу, состоящую из 31...350 звеньев. Молярное соотношение *мономера А* к сумме молярных соотношений мономеров *В* и *С* составляет 1:1...10:1.

В работах [6–9] рассматривается получение пластифицирующей добавки в бетонные смеси на основе использования тяжелых смол пиролиза жидких и/или газообразных углеводородов. При взаимодействии фракций тяжелой смолы пиролиза с концентрированной серной кислотой протекают несколько параллельных процессов:

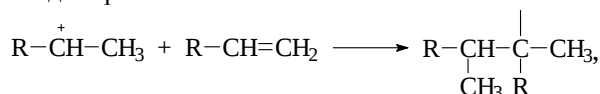
- 1) реакции сульфирования;
- 2) катализируемые кислотой реакции полимеризации непредельных соединений;
- 3) катализируемое серной кислотой алкилирование отдельных соединений.

Все эти реакции в процессе реагирования смол пиролиза с серной кислотой протекают одновременно, но преимущественное развитие в начале процесса получают реакции полимеризации непредельных соединений, а в конце – реакции алкилирования непредельными соединениями.

Непредельные углеводороды в присутствии серной кислоты подвергаются полимеризации и проходят по карбонийионному механизму:



При этом сначала образуются димеры:



а затем тримеры, тетрамеры и т.д., вплоть до продуктов относительно высокой степени полимеризации. При этом серная кислота выделяется в свободном виде.

Различные непредельные соединения полимеризуются по-разному. Легкокипящие непредельные соединения полимеризуются глубоко с большим выделением тепла. Продуктом их полимеризации являются густые и вязкие смолы сложного строения. Образование продуктов высокой степени полимеризации способствует увеличению вязкости, уменьшению растворимости полимеров в воде. В связи с этим процесс полимеризации следует остановить на более ранней стадии.

В результате реакций полимеризации получаемые соединения имеют разное строение и разную молекулярную массу. Во многих работах отмечается необходимость использования в составе суперпластификаторов комплекса соединений различного состава и строения.

На основе натриевых солей алкилбензолсульфонатов производится добавка «Сульфонол С» – поверхностно-активное органическое вещество, способствующее вовлечению в бетонную смесь при ее перемешивании мелкодисперсного воздуха, равномерно распределенного в бетоне [10]. Добавка натриевой соли бензолсульфокислоты позволит повысить подвижность бетонной смеси. Но сами по себе и натриевые соли алкилбензолсульфонатов, и натриевая соль бензолсульфокислоты малоэффективны. Процесс сульфирования также широко применяется в процессах производства химических добавок к бетонным смесям. Например, основу суперпластификатора С-3 составляют натриевые соли продукта конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида [11].

Известен способ получения пластифицирующей добавки для бетонных смесей из метилнафталиновой фракции 240...265 °С путем ее сульфирования серной кислотой при температуре 100...180 °С, последующей конденсации полученной сульфомассы с формальдегидом при температуре 100 °С и нейтрализации продукта конденсации щелочью. Также известен способ получения пластифицирующей добавки, включающий сульфирование ароматических углеводородов серной кислотой, конденсацию полученных сульфокислот формальдегидом, нейтрализацию продукта конденсации сульфокислот щелочью, компаундирование продукта конденсации с техническим лигносульфонатом. Известны способы получения суперпластификатора с использованием тяжелых смол пиролиза [9; 12–13]. Однако по эффективности добавки, полученные по предлагаемым технологиям, уступают суперпластификатору С-3. Для повышения эффективности суперпластификатора разработана технология совместного использования тяжелых смол пиролиза и алкилбензолов (ароматических углеводородов C9+ с температурой кипения 180...320 °С).

Варьируя соотношение серной кислоты и тяжелых смол пиролиза, можно получать добавки в бетонные смеси с различным содержанием сульфата натрия. Влияние сульфата натрия на характеристики бетона представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Влияние сульфата натрия на сохраняемость подвижности бетонных смесей

Номер опыта	Сульфированные ТСП, % от массы цемента	Na ₂ SO ₄ , % от массы сульфированных ТСП	Осадка конуса, см			
			по окончании приготовления бетонной смеси	через 30 мин после приготовления бетонной смеси	через 60 мин после приготовления бетонной смеси	через 90 мин после приготовления бетонной смеси
1	1,0	0	20	19	12	8
2	1,0	13	21	20	18	10
3	1,0	16	21	22	20	15
4	1,0	20	19	17	11	7
5	1,0	13+4*	20	18	11	6
4* – добавка порошка сульфата натрия к нейтрализованным сульфированным смолам пиролиза.						

Из таблицы 2 видно, что добавка получена с минимально возможным содержанием сульфата натрия, но в процессе приготовления бетонной смеси сульфат натрия введен дополнительно.

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать следующие **выводы**:

- для синтеза добавки на основе сульфированных тяжелых смол пиролиза с целью получения бетонных смесей с повышенной сохраняемостью удобоукладываемости необходим оптимальный избыток серной кислоты;
- добавление сульфата натрия в нейтрализованные продукты сульфирования тяжелых смол пиролиза не обеспечивают получение бетонных смесей с повышенной сохраняемостью удобоукладываемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://m450.ru/chasto-zadavaemyie-voprosyi.html>.
2. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://by.all.biz/avtobetonosmesiteli-bgg1050439>.

3. Суперпластификатор для товарного бетона : пат. RU 2246459 / А.И. Вовк, А.А. Дмитриев, М.Г. Злотников, Г.Н. Тузенко. – Опубл. 05.10.2001.
4. Вовк, А.И. Суперпластификаторы в бетоне: еще раз о сульфате натрия, наноструктурах и эффективности / А.И. Вовк // Технология бетонов. – 2009. – № 5. – С. 18–19.
5. Сополимерная примесная система для сохранения удобоукладываемости цементных композиций : пат. RU № 2526461 / Клаус Лоренц, Александер Краус, Томас Викерс, Сузанне Лианопоуло, Махадеван Висванат. – Опубл. 10.06.2009.
6. Способ получения пластификатора для бетонных смесей : а. с. SU 1094274 / И.Н. Ахвердов, Л.Ф. Калмыков, В.Г. Тетерук, А.П. Шведов, С.Ф. Якубовский, Э.А. Шиманский, В.И. Чайков, В.И. Лукашевич. – Заявл. 22.01.1982.
7. Способ получения пластификаторов бетонных смесей : а. с. SU 1427779 / А.Д. Беренц, Е.Я. Гамбург, В.В. Сасковец, Л.Ф. Калмыков, В.Р. Фаликман, К.Г. Чесновицкий, В.Г. Тетерук, В.О. Мейнцнер, В.Г. Батраков, А.П. Шведов. – SU № 4193756/31-04 ; заявл. 10.02.1987.
8. Способ получения пластификатора бетонных смесей : пат. RU 2233253 / Н.Б. Урьев, А.П. Ижик. – № 2002127479/04 ; заявл. 15.10.2002.
9. Способ получения пластификатора для цементных систем : пат. ВУ 12015 / А.П. Шведов, С.Ф. Якубовский, В.В. Хорушкин. – № 20051301. – Заявл. 26.12.2005.
10. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков. – М. : Стройиздат, 1990. – 394 с.
11. Способ получения пластификаторов для бетонных смесей : а. с. SU 1340063 / А.П. Шведов, Л.Ф. Калмыков, В.Г. Тетерук, В.М. Дмитриев, И.П. Шведов, А.А. Артюх, В.В. Сасковец, В.В. Коньков. – Заявл. 17.07.1985.
12. Способ получения пластификатора для цементных систем : а. с. SU № 3929519/34-04 / Л.Ф. Калмыков, А.П. Шведов, В.Г. Тетерук, Н.С. Пошенько, В.М. Дмитриев, И.П. Шведов, В.Я. Боровко, С.Ф. Якубовский, В.И. Лукашевич. – Заявл. 17.07.85.
13. Способы получения пластификатора : а. с. SU 1045567 / Л.Ф. Калмыков, Г.Н. Леонтьев, А.П. Шведов, З.Е. Гандман, С.Ф. Якубовский, А.Г. Тухто, В.И. Чайков. – № 3362870/23-04. – Заявл. 30.09.81.

Поступила 27.05.2019

**THE EFFECT OF VARIATIONS OF SODIUM SULFATE IN THE COMPLEX ADDITIVE
IN CONCRETE MIXTURES BASED ON SULPHONATED HEAVY RESIN PYROLYSIS
ON THE PERSISTENCE OF THE MOBILITY OF CONCRETE MIXES**

A. SHVEDOV

One of the factors, time of unloading of concrete mix from vehicles which is not normalized, but defines time during which concrete mix is suitable for packing in a design is considered. The analysis of works in which chemical additives allowing to increase duration of preservation of technological properties of concrete mixes are offered is made. The proposed variant of the synthesis of the additive in concrete mixtures on the basis of heavy resin of pyrolysis increases the retention time of mobility of the concrete mix.

Keywords: *persistence, mobility, transportation, additive, concrete mix, heavy pyrolysis resins, sodium sulfate.*

UDC 628.483

**INFLUENCE OF SUPERPLASTICIZER ON STRUCTURE
FORMATION OF CEMENT STONE IN SALT MEDIUM****PHD, associate professor D. SHABANOV; I. ILMYRADOV; S. MATNIYAZOV**
(Polotsk state university)

The article discusses issues of improving the performance characteristics of concrete by adding superplasticizer to the structure of cement stone. The effect of superplasticizer on the formation of the structure of cement paste, on flexural strength, and also on corrosion resistance. The general state of the problem of protecting reinforced concrete elements from aggressive external influence is described. The article builds a response surface from the dependencies obtained. The task of the construction industry is to maximize the economy of material assets and technological energy consumption in the production of constructional works, with ensuring the maintenance and performance characteristics of structures. One of the most important ways to improve productivity in construction, aside to using modern equipment, is the addition of chemical admixtures for various purposes.

Keywords: cement, salt, additives, corrosion, superplasticizer, response surface.

Task formulation. The study of various chemical admixtures and their effect on cement stone. Chemical additives are those ingredients in concrete, other than the binder, water, and aggregates that are added to the mixture immediately before or during mixing. The development of ideas concerning the mechanism of additives is inextricably linked with the progress in the theory of hydration and hardening of mineral binders. In addition, research related to the rational economy of heat treatment of reinforced concrete structures is very relevant, but they require the optimal class of the additive with its optimization with mineral binders.

The effectiveness of additives depends on factors such as its composition, the rate of addition, adding time, type, brand and amount of cementing materials, water content, total shape, gradation and proportions, mixing time, recession or sediment of concrete, and temperature of concrete.

Introduction. What is in common between people lives and any kinds of buildings. The answer is Trust. The trust based on “strong and steady structure” The introduction of superplasticizer significantly increases the strength of cement stone by 75% compared with the control [1–5]. The study of chipped cement stone showed that, as part of a complex modifier, crystalline tumors form much less dispersion than in the composition without an additive. The introduction of a superplasticizer was followed by a change in the structure formation of the cement, both in the general structure of the cement stone and in the defective areas of the spatial skeleton, the decrease in porosity leads to the hardening of the material. In other words, by adding a superplasticizer to the structure of the cement stone, we get more closed pores than the open, as a percentage. Currently widely used additives that improve the laying of concrete. Depending on their effectiveness, they are called plasticizers and superplasticizers. The use of these additives can reduce material costs and improve the properties of the concrete used.

In [6], the authors investigated the use of superplasticizers in severe climatic conditions. The problem of producing durable and resistant to aggressive environments of concrete is relevant to this day. These types of concrete are mainly used for lining buildings.

Structuring hardened cement paste, which has a high density, low capillary porosity is the highest priority [1–4]. One of the effective methods of improving cement is the introduction of complex impurities, which contains effective superplasticizers and active mineral additives. An effective superplasticizer is an important part of concrete.

Additive superplasticizer allows not only to increase the consistency of concrete, but also to obtain high-strength concrete with high density. Basically the most advanced superplasticizing additives based on polycarboxylic ethers are the most effective. Also, by introducing water-repellent impurities, it is possible to achieve an increase in frost resistance, water resistance and external resistance. Silicone waters based on sodium and potassium silicates are important. In addition, it is necessary to take into account the slowing down of the hydration of cement in high doses of the water-repellent agent due to the hydrophobic film that occurs on the surface of the reactants and prevents the hydration process in the initial period. The aim of the study is to study the effect of superplasticizer and its components on the structure and phase composition of cement stone.

Briefly, chemical admixtures are those ingredients in concrete other than hydraulic cement, supplementary cementitious materials (SCMs), water, aggregates, and fiber reinforcement that are added to the mixture immediately before or during mixing. The development of ideas concerning the mechanism of additives, are inextricably linked with the progress in the theory of hydration and hardening of mineral binders. Also, studies related to the rational economy of heat treatment of reinforced concrete structures are very relevant, but they require an optimal class of the additive with its optimization with a mineral binder. The effectiveness

of an admixture depends upon factors such as its composition, addition rate, time of addition; type, brand, and amount of cementing materials; water content; aggregate shape, gradation, and proportions; mixing time; slump; and temperature of the concrete.

By aggressive environments, we take into consideration those environments in which corrosion of a constructional materials occur. According to its aggregate state, aggressive media can be gaseous, liquid or solid, and in many cases multiphase. On the basis of modern representation of the physical-chemical phenomena and surface contact interactions theory, we can change, in the desired direction, the properties of cement paste, concrete mix and the concrete itself by introducing specific additives (modifiers) into the cement systems.

Materials and Methods of Research. The study was conducted on fine-grained concrete using the mathematical planning of an experiment using the software Statistica 10, Inc. As a modifying agent, an additive superplasticizer (SP) was used, which was brought from Turkmenistan. The composition of fine-grained concrete varied three main factors. In the experiment vary: the amount of the binding part of the concrete; the content of the filler and the amount of additive – superplasticizer. Factor values are given in natural form. The main level of factors, the interval of variation, and the names of the factors (Table 1).

Table 1

Coded variable	Variation interval			
	Code value	Value factors		
		X_1 (knitting)	X_2 (additive)	X_3 (filler)
Main level	0	0,5	0,01	0,5
Variation interval	ΔX_i	0,5	0,01	0,5
Upper level	+	1	0,02	1
Lower level	–	0	0	0

The construction of functional models of experimental dependencies of concrete properties on its composition includes the following steps:

- refinement, depending on the specific task, of the parameters to be optimized (concrete strength, workability of the concrete mix, etc.);
- selection of factors determining the variability of the parameters to be optimized;
- determination of the basic initial composition of the concrete mix;
- choice of intervals of variation of factors;
- selection of the plan and conditions of the experiment;
- processing of the results of the experiment with the construction of mathematical models of dependencies of the properties of the concrete mix and concrete on the selected factors.

According to the plan of the experiment is calculated 15 experiments on the test in each. Output parameters, name of output parameter and number of measurements (Table 2).

Table 2

№ of experience	Planning matrix			Natural values of variables			Output parameter		
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_a
1	1	–1	–1	1	0	0	91,1	89,9	91,1
2	–1	1	–1	0	0,02	0	80,6	78,2	80,6
3	–1	–1	1	0	0	1	50	52,6	50
4	1	1	1	1	0,02	1	36	40,6	36
5	1	–1	1	1	0	1	32,85	34,4	32,85
6	–1	1	1	0	0,02	1	61,85	54,1	61,85
7	1	1	–1	1	0,02	0	95,9	93,1	95,9
8	–1	–1	–1	0	0	0	85,95	91,5	85,95
9	1	0	0	1	0,01	0,5	50,55	44	50,55
10	–1	0	0	0	0,01	0,5	53,35	49,7	53,35
11	0	1	0	0,5	0,02	0,5	29,7	22,1	29,7
12	0	–1	0	0,5	0	0,5	48,65	58	48,65
13	0	0	1	0,5	0,01	1	40,65	37	40,65
14	0	0	–1	0,5	0,01	0	92,25	98,8	92,25
15	0	0	0	0,5	0,01	0,5	43,73	43,3	43,7

After automatic verification of the entered data, the program calculates the coefficients of the mathematical model (Table 3) and displays the coefficients of the equation (Table 4).

Table 3

№ of experience	X_1	X_2	X_3	X_{11}	X_{22}	X_{33}	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$Y_{i.s}$
1	91,1	-91,1	-91,1	91,1	91,1	91,1	-91,1	-91,1	91,1	91,1
2	-80,6	80,6	-80,6	80,6	80,6	80,6	-80,6	80,6	-80,6	80,6
3	-50	-50	50	50	50	50	50	-50	-50	50
4	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
5	32,85	-32,85	32,85	32,85	32,85	32,85	-32,85	32,85	-32,85	32,85
6	-61,85	61,85	61,85	61,85	61,85	61,85	-61,85	-61,85	61,85	61,85
7	95,9	95,9	-95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	-95,9	-95,9	95,9
8	-85,95	-85,95	-85,95	85,95	85,95	85,95	85,95	85,95	85,95	85,95
9	50,55	0	0	50,55	0	0	0	0	0	50,55
10	-53,55	0	0	53,55	0	0	0	0	0	53,35
11	0	29,7	0	0	29,7	0	0	0	0	29,7
12	0	-48,65	0	0	48,65	0	0	0	0	48,65
13	0	0	40,65	0	0	40,65	0	0	0	40,65
14	0	0	-92,25	0	0	92,25	0	0	0	92,25
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43,73
sum	-25,35	-4,5	-224,45	638,15	612,6	667,15	1,45	-63,45	15,55	893,13

Table 4

b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_0
-2,54	-0,45	-22,45	13,01	0,23	27,51	0,18	-7,93	1,94	28,51

The results of the fitness test are shown (Table 5).

Table 5

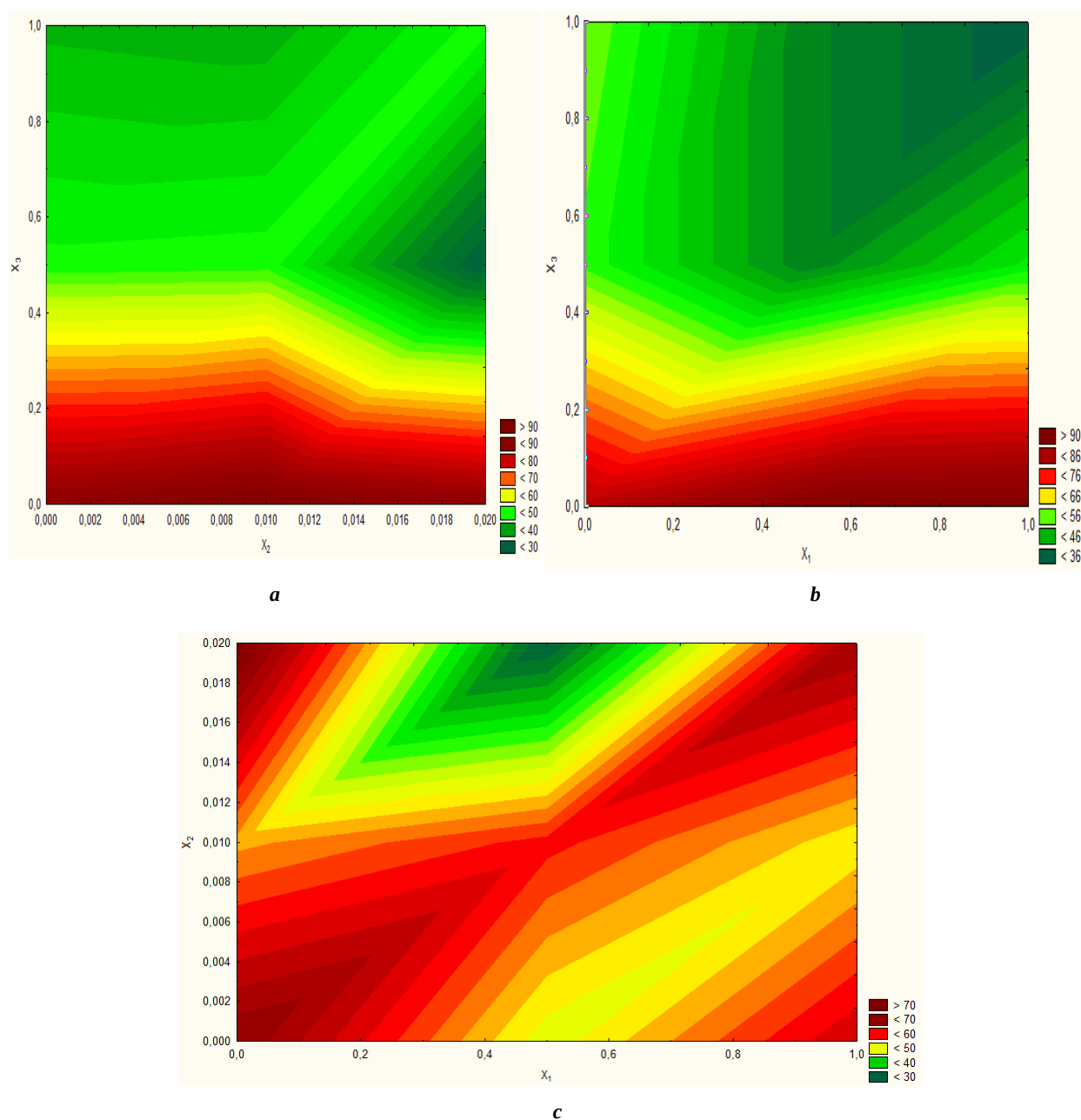
№ of experience	Results		$Y_n - Y_p$	$(Y_n - Y_p)^2$
	Experienced Y_n	Calculated Y_p		
1	91,1	99,31	-8,21	9,9225
2	80,6	83,75	-3,15	35,6409
3	50	55,97	-5,97	4,0401
4	36	38,01	-2,01	3,3124
5	32,85	34,67	-1,82	10,6276
6	61,85	58,59	3,26	1,02
7	95,9	94,89	1,01	8,6436
8	85,95	88,89	-2,94	133,8649
9	50,55	38,98	11,57	86,3041
10	53,35	44,06	9,29	1,988
11	29,7	28,29	1,41	378,6916
12	48,65	29,19	19,46	50,1263
13	40,65	33,57	7,08	189,8884
14	92,25	78,47	13,78	231,6484
15	43,73	28,51	15,22	9,9225

A mathematical model of the strength of concrete is recognized as adequate by the Fisher criterion and is applicable for solving recipe-technological problems.

The following polynomial models for the studied characteristics were finally obtained:

$$Y_{i.s} = 27,5 + 0,3 \cdot X_1 - 4,1 \cdot X_2 - 25,3 \cdot X_3 + 10,6 \cdot X_1^2 - 2,1 \cdot X_2^2 + 25,1 \cdot X_3^2 - 4,4 \cdot X_1 \cdot X_2 - 11,5 \cdot X_1 \cdot X_3 + 6,5 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (1)$$

Using the obtained equation (1), we made additional constructions, built a graph of projections in a two-dimensional coordinate system, allowing to analyze the change in the output parameter depending on one variable factor (Figure 1).



a – X₁ = const; b – X₂ = const; c – X₃ = const

Figure 1. – Projection chart

Samples with the highest bending strength were used as standards for the subsequent optimization of the concrete composition. By constructing projection graphs, we obtained the following optimization parameters:

- 1) Cement content: 0,4;
- 2) Plasticizer input: 0,08;
- 3) Sand content: 0,02.

One of the most effective ways to increase the durability of concrete and reinforced concrete structures to the impact of the environment, is to control the structure of concrete during the period of its formation, which is achieved by adding surfactants, in particular organ-silicon compounds of various types to the concrete mixture. Silicone compounds, used as additives to concrete, release some amount of gas (hydrogen) into the concrete mixture upon their contact with an alkaline medium or to have an air-entraining effect. Air-entrainment dramatically improves the durability of concrete exposed to cycles of freezing and thawing and deicer chemicals. In addition, the additives hydrophobize the walls of pores and capillaries, which leads to a decrease in the adhesion of ice and salt crystals to them in the case of simultaneous action of salt solutions and freezing. At the same time, the capillary suction of liquid into concrete is also excluded or significantly reduced.

We make observations and fix the change in the mixture, with respect to the change in the composition and amount of the admixture. Based on the technical requirements, such a solution did not present an opportunity to put into the pipe, since it was dry (Figures 2–4).

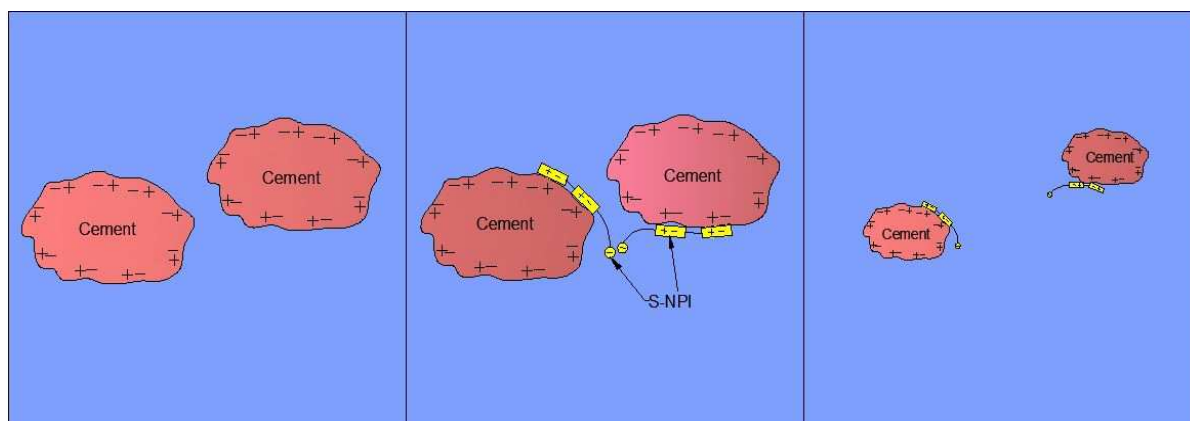


Figure 2. – Mechanism of dispersive action of water-reducing admixtures

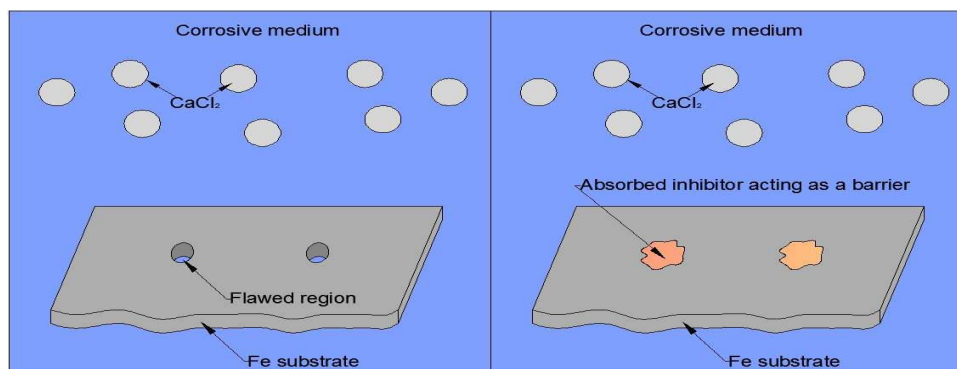


Figure 3. – Mechanism of corrosive inhibitors

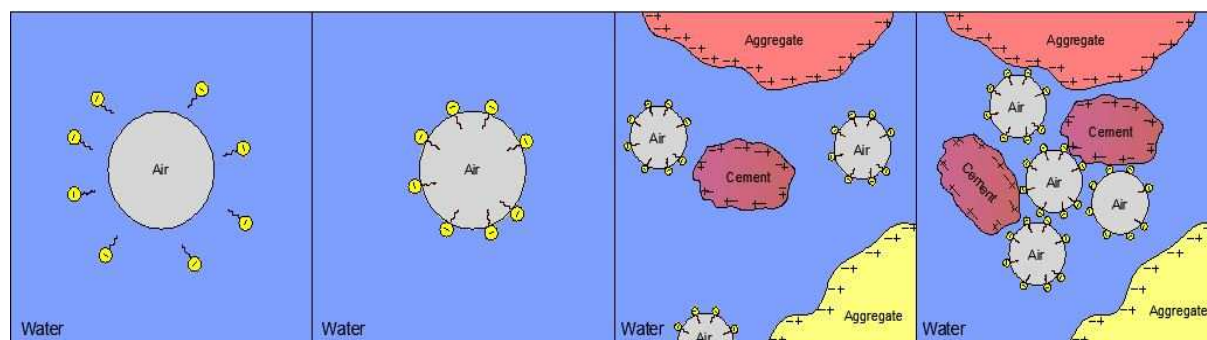


Figure 4. – Mechanism of air-entrainment

Conclusion. An experiment was conducted based on the results:

- It was determined that the optimal content of the superplasticizer has a positive effect on the strength and corrosion resistance of the cement stone;

- The use of superplasticizer reduces the water-cement ratio, has a great effect on increasing the mobility of the concrete mix and significantly increases the strength of concrete in compression, as well as on bending.

REFERENCES

1. Ibragimov, R.A. The influence of binder modification by means of the superplasticizer and mechanical activation on the mechanical properties of the high-density concrete / R.A. Ibragimov // ZKG International. – 2016. – No. 6. – P. 34–39.
2. Kirsanova, A.A. Additives based on metakaolin features in concrete / A.A. Kirsanova, L.Y. Kramar // Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2015. – No. 71.
3. Kapriyev, S.S. Novyye modifitsirovannyye betony [New modified concrete] / S.S. Kapriyev, A.V. Sheynfeld, G.S. Kardumyan. – Moscow : Paradiz, 2010. – 258 p. – (rus).
4. Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya v sooruzheniyakh MMDTs «Moskva-Siti» [Modified concrete of a new generation in the buildings of the Moscow-City MIBC] / S.S. Kapriyev [et al.] // Stroitelnyye materialy. – 2006. – No. 10. – P. 13–18. – (rus).
5. Bogdanov, R.R. Process of hydration and structure formation of the modified self-compacting concrete / R.R. Bogdanov, R.A. Ibragimov // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – № 5.
6. Barabanshikov, Yu.G. Influence of superplasticizers on the concrete mix properties / Yu.G. Barabanshikov // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – No. 6.
7. Kondrashov, G.M. Corrosion resistance of concretes modified with vinyl latexes / G.M. Kondrashov // Concrete and reinforced concrete. – 2006. – № 5. – C. 22–25.
8. Kalmykov, L.F. Effective additives based on the waste of chemical and petrochemical industries of Belarus for concrete and mortars / L.F. Kalmykov. – 47 c.
9. Farran, J.H. / Physical-mechanical and structure-forming parameters of concrete / J.H. Farran, D.N. Shabanov // European and national dimension in research. – 2018. – C. 37–41.
10. Ovchinnikova, T.S. Corrosion and anticorrosion protection of reinforced concrete bridge structures / T.S. Ovchinnikova // SCIENCE : Online Journal. – 2014. – Iss. 5 (24), september – october. – P. 4–6.
11. Bozylev, V. To the question of the selection of the composition and dosage of additives woodblock modifiers / V. Bozylev, A. Yagubkin // Bulletin of the Polotsk state University. Series F, Applied Sciences. Construction. – 2010. – № 6.
12. Parfenova, L. Prediction of mobility of cast concrete mixes / L. Parfenova, A. Yagubkin // Bulletin of the Polotsk state University. Series F, Applied Sciences. Construction. – 2008. – № 6.

Поступила 11.06.2019

ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИКАТОРОВ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В СОЛЯНОЙ СРЕДЕ

канд. техн. наук, доц. Д.Н. ШАБАНОВ; И. ИЛЬМУРАДОВ; С. МАТНИЯЗОВ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены вопросы улучшения эксплуатационных характеристик бетона путем добавления суперпластификатора в структуру цементного камня. Показано влияние суперпластификатора на формирование структуры цементного теста, прочность на изгиб, а также на коррозионную стойкость. Описано общее состояние проблемы защиты железобетонных элементов от агрессивного внешнего воздействия. На основе полученных полиномиальных моделей построена поверхность отклика. Добавление химических добавок различного назначения рассматривается как один из наиболее важных способов повышения производительности в строительстве.

Ключевые слова: цемент, соль, добавки, коррозия, суперпластификатор, поверхность отклика.

УДК 666.973.2

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ
ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА**

**канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ;
канд. техн. наук, доц. Н.В. ДАВЫДЕНКО; М.А. РОЗЫЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Приведен краткий анализ теплоизоляционных материалов на основе минеральных волокон и растительного волокнистого сырья. Представлены результаты по определению плотности и теплопроводности отходов волокна хлопка, экспериментальных плит на основе волокон хлопка и модифицированного жидкого стекла. Установлено, что наименьший коэффициент теплопроводности, равный $0,039 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, достигается при плотности плит 58 кг/м^3 . Проанализированы данные исследований плотности и коэффициента теплопроводности при выдерживании образцов плит в камере при относительной влажности воздуха 97%. После 35 суток выдерживания в камере влажность образцов составила 48,1%, при этом коэффициент теплопроводности возрос в 2,1 раза, а плотность увеличилась на 48,3%.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, отход волокна хлопка, модифицированное жидкое стекло, плотность, влажность, теплопроводность.

Введение. В странах Средней Азии и Европы большие объемы производства приходятся на выпуск минеральной ваты как эффективного утеплителя, в то же время особое внимание в технологиях получения теплоизоляционных материалов уделяется волокнистым отходам растительного происхождения, образующимся после сбора или переработки урожая. Растительные отходы служат не только дополнительным источником экологически безопасного сырья и обеспечивают расширение спектра местных строительных материалов, но и способствуют сохранности и рациональному потреблению невозобновляемых природных ресурсов. Наибольшее распространение в термоизоляции среди материалов на основе волокнистого сырья получили минераловатные плиты и маты, формируемые из базальтовых и стеклянных волокон. Минераловатные материалы при плотности $30...190 \text{ кг/м}^3$ обеспечивают коэффициент теплопроводности $0,032...0,048 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ [1]. По группе горючести плиты и маты относятся к негорючим материалам. При высоких теплотехнических характеристиках минераловатный утеплитель имеет существенные недостатки: высокое водопоглощение более 100% по массе; значительное увеличение в объеме в водонасыщенном состоянии; при замерзании минеральной ваты в водонасыщенном состоянии происходят необратимые деструктивные процессы в теплоизоляционном слое. Применение синтетических смол, в том числе и на основе фенолформальдегида, оказывает негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Альтернативой минераловатным плитам и матам являются теплоизоляционные материалы на заполнителях растительного происхождения. Так, в Беларуси и России выпускают теплоизоляционные плиты «AKOTERM FLAKS» и «Экотеплин» на основе льняных волокон [2; 3]. В составе плит «AKOTERM FLAKS» в качестве связующего материала вводят синтетические полиэфирные волокна в количестве 15% от массы заполнителя. Коэффициент теплопроводности плит «AKOTERM FLAKS» равен $0,038 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ при плотности 32 кг/м^3 . Вместе с тем плиты имеют группу горючести Г4, поэтому высокая пожароопасность является основным недостатком утеплителя. Специфика технологии формования не позволяет изготавливать жесткие плиты, в результате мягкий утеплитель нельзя использовать при устройстве термошуб, что ограничивает область применения материала.

Теплоизоляционные плиты «Экотеплин» изготавливают с применением крахмала как вяжущего компонента, а для огне- и биозащиты волокна обрабатывают солями бора [3]. В результате плиты соответствуют группе горючести Г1 и относятся к слабогорючим материалам. При плотности $32...34 \text{ кг/м}^3$ теплопроводность плит «Экотеплин» соответствует $0,037 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$. По причине низкой плотности утеплитель имеет ограничения по области применения. Несмотря на экологическую безопасность таких плит, к существенным недостаткам относится высокая стоимость утеплителя.

В настоящее время на кафедре строительного производства Полоцкого государственного университета ведутся исследования физико-механических свойств разработанного утеплителя на основе *очесов льняных волокон и жидкого стекла*. Плитный утеплитель из очесов волокна льна характеризуется коэффициентом теплопроводности $0,036...0,041 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ и прочностью на сжатие при 10%-ной деформации $0,11 \cdot 10^{-2}...0,33 \cdot 10^{-2} \text{ МПа}$ при плотности $50...110 \text{ кг/м}^3$ [4]. Высокая теплоизоляционная способность плит обусловлена присутствием в очесах элементарных волокон диаметром $8...12 \text{ мкм}$ и наличием пустотных каналов в элементарных волокнах диаметром $4...6 \text{ мкм}$.

Мох сфагнум также возможно использовать в качестве основного волокнистого компонента плитного утеплителя [5]. Дополнительно в композицию вводится дробленый тростник или солома для устранения усадочных деформаций при сушке утеплителя. Наибольший эффект достигается при замене 40% мха дробленой соломой. При плотности 156...190 кг/м³ коэффициент теплопроводности составляет 0,044...0,046 Вт/(м·°С). Широкое применение утеплителя на основе смеси мха и соломы сдерживают ограничения по сбору мха сфагнума.

В тропических широтах стран Азиатского и Африканского регионов значительный интерес представляет применение в качестве заполнителя для теплоизоляционных плит волокон *коры масличной пальмы* [6]. Полученные образцы плит в процессе испытаний показали следующие характеристики: коэффициент теплопроводности 0,054 Вт/(м·°С), плотность 50 кг/м³. Необходимо отметить, что при испытаниях теплоизоляционный материал показал абсолютную стойкость к появлению плесневых грибов на поверхности волокон при относительной влажности воздуха 97%, что обусловлено химическим составом самих волокон и климатическими условиями произрастания масличных пальм.

Известно применение джутовых волокон для производства теплоизоляционных материалов, обладающих высокой стойкостью к загниванию и вредному воздействию насекомых [7]. Волокна получают из джутового растения и для связывания между собой в полотно пропускают через иглопробивной станок. При плотности утеплителя 150 кг/м³ коэффициент теплопроводности достигает 0,036 Вт/(м·°С), а паропроницаемость – 0,4 мг/(м·ч·Па). Основным отрицательным фактором при эксплуатации является пожаро-опасность материала.

При производстве теплоизоляционных плит, выпускаемых в России под торговой маркой «Bauplit Cocos», в виде заполнителя применяют волокна кокоса [8]. В своем составе материал содержит 85% кокосовых и 15% полиэфирных волокон. В процессе формовки волокнистая смесь обрабатывается горячим воздухом и полиэфирные волокна подплавляются, склеиваются между собой и кокосовыми волокнами, образуя прочный структурный массив. Коэффициент теплопроводности плит «Bauplit Cocos» составляет 0,038...0,042 Вт/(м·°С). При этом материал имеет ряд недостатков, включая высокую стоимость, так как производится из привозного сырья. По пожароопасности утеплитель относится к группе горючести Г4. Кроме того, характеризуется низкой плотностью, равной 30 кг/м³, ограничивая тем самым применение «Bauplit Cocos» по причине отсутствия такого свойства, как прочность на сжатие.

На основе древесных волокон в Германии и Польше производят теплоизоляционные плиты «STEICO» с применением в качестве вяжущего компонента парафина [9]. При плотности 50...270 кг/м³ плиты обладают коэффициентом теплопроводности в пределах 0,038...0,07 Вт/(м·°С). Для теплоизоляционных плит «STEICO» основными недостатками являются: высокая цена, ломкость и крошение при нарушении условий транспортировки и технологии укладки. Американские ученые по результатам ряда проведенных исследований установили, что при горении парафин выделяет вредные химические соединения, содержащие бензол и толуол, являющиеся опасными веществами для здоровья человека [10].

Основываясь на приведенных выше данных, можно сделать вывод, что дополнительным источником сырья для производства теплоизоляционных материалов могут служить и отходы *волокон хлопка*. Такие отходы в больших объемах образуются в процессе экономической деятельности в странах Средней Азии, в частности в Туркменистане.

Материалы и методы испытаний. В процессе проведения исследований для изготовления образцов в качестве заполнителя использовали отходы волокна хлопка, образующиеся на стадии предварительной подготовки волокон на хлопкоперерабатывающих заводах Туркменистана. В исследованиях использовали отходы волокна хлопка длиной до 10 см.

При изготовлении теплоизоляционных плит в качестве вяжущего компонента использовали натриевое жидкое стекло производства ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» (Беларусь), соответствующее требованиям ГОСТ 13078.

В *первой серии* образцы формовали без введения связующего. Связанность структуры обеспечивалась переплетением волокон. Отходы волокна взвешивали. Необходимое количество материала укладывали в форму размером 250×250 мм послойно и подпрессовывали до достижения образцом толщины 50 мм. Полученную мягкую плиту извлекали из формы, определяли среднюю плотность и помещали в прибор ИТП-МГ4 для установления показателя теплопроводности.

Для составов *второй серии образцов* совместно с отходами волокон использовали модифицированное жидкое стекло. Предварительно производили дозировку компонентов. В жидкое стекло вводили известь и перемешивали до однородной консистенции, затем добавляли гипс.

Отходы волокна укладывали в форму с послойной пропиткой модифицированным жидким стеклом и подпрессовывали. Образцы выдерживали в форме 4 часа при температуре 20±2 °С, затем высушивали в течение 6 часов в сушильном шкафу при температуре 40...45 °С. После этого определяли среднюю плотность и теплопроводность полужестких плит.

Среднюю плотность и теплопроводность образцов определяли согласно ГОСТ 17177 и СТБ 1618 соответственно на образцах-плитах размером 250×250×50 мм.

Для определения влияния влажности на плотность и теплопроводность плиты предварительно высушивали до постоянной массы и взвешивали. Высушенные образцы помещали в герметичную камеру с предварительно залитой водой ниже уровня плиты на 40 мм. Температура воздуха в камере составляла 20±2 °С, относительная влажность воздуха – 97%. Через определенные промежутки времени образцы извлекали из камеры и определяли влажность, плотность и теплопроводность плит.

Экспериментальная часть. В первой серии образцов среднюю плотность варьировали в пределах от 40 до 120 кг/м³. Принятый для исследования диапазон средних плотностей объясняется необходимостью определить минимальный коэффициент теплопроводности для плит из отходов волокон хлопка. Результаты определения средней плотности и коэффициента теплопроводности приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Физические характеристики теплоизоляционных плит из отходов волокон хлопка

№ образцов	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	40	0,039
2	50	0,037
3	60	0,037
4	70	0,038
5	80	0,039
6	90	0,039
7	100	0,041
8	120	0,044

Анализ полученных данных позволил установить, что наименьший показатель теплопроводности 0,037 Вт/(м·°С) соответствует плотности отходов волокон 50...60 кг/м³ (образцы 2, 3). Наилучший результат по теплопроводности достигается за счет уменьшения объема и размеров пустот с одновременной локализацией на отдельные замкнутые микропространства, не сообщающиеся между собой. При этом функционирование сквозных воздушных потоков прекращается. Такая организация внутреннего воздушного пространства предположительно обуславливается оптимальным количеством соприкосновений (точек контакта между волокнами).

Снижение плотности до 40 кг/м³ вызывает повышение теплопроводности на 0,002 Вт/(м·°С), что можно объяснить разуплотнением волокнистой структуры, ведущей к снижению количества точек контакта между волокнами и способствующей прохождению воздушных потоков через материал.

Увеличение плотности плит первой серии в 1,6...2 раза (партии образцов 5...8) относительно партий образцов 2, 3 также ведет к постепенному увеличению коэффициента теплопроводности. Так, при плотности 100...120 кг/м³ коэффициент теплопроводности увеличивается на 11...19% относительно показателей партий образцов 2, 3. Предположительно, в данных образцах постепенно сокращается количество закрытых микропустот с отсутствием циркуляции в них воздуха – в итоге площадь и численность точечных контактов между волокнами возрастает и приводит к увеличению теплопроводности.

С целью повышения жесткости плит, обеспечения целостности структуры и связанности волокон использовали модифицированное жидкое стекло. Также, опираясь на имеющийся положительный опыт применения жидкого стекла [11], введение в состав данного вяжущего направлено на снижение горючести утеплителя из хлопковых волокон. Предварительные исследования по определению оптимальной дозировки расхода жидкого стекла проводили на образцах, содержащих отходы хлопковых волокон в количестве 50 кг на 1 м³. Модифицированное жидкое стекло вводили в количестве 6...14 кг по сухому веществу. Наименьшую теплопроводность при сохранении достаточной жесткости плит и связанности волокон получили при добавлении модифицированного жидкого стекла в количестве 8 кг по сухому веществу, что соответствует 16% от массы волокон хлопка. В жидкое стекло известь и гипс вводили в количестве по 0,5% от массы по сухому веществу. Показатели средней плотности и теплопроводности плит, содержащих жидкое стекло, приведены в таблице 2.

При введении в образцы 2, 3 (см. таблицу 1) жидкого стекла показатели теплопроводности незначительно повысились – до 0,039 Вт/(м·°С), о чем свидетельствуют данные таблицы 2. Увеличение расхода хлопкового волокна и, соответственно, вяжущего (составы 4, 5) вызывает возрастание коэффициента теплопроводности на 8...10%. Повышение плотности с 58 кг/м³ (состав 2) в 2...2,4 раза (составы 7, 8) влечет за собой ухудшение показателей теплопроводности на 21...28%.

Установлено, что при сопоставлении результатов в таблицах 1 и 2 введение жидкого стекла повышает плотность образцов и, соответственно, показатели коэффициентов теплопроводности для расхода волокна 90...120 кг на 1 м³ (составы 6–8) на 12...14%.

Таблица 2. – Физические характеристики теплоизоляционных плит на основе отходов волокон хлопка и модифицированного жидкого стекла

№ образцов	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
1	46,4	0,041
2	58	0,039
3	69,6	0,039
4	81,2	0,042
5	92,8	0,042
6	104, 4	0,044
7	116	0,047
8	139,2	0,05

Для оценки эффективной работы утеплителя на основе хлопкового волокна и жидкого стекла в соответствии с методикой, приведенной в работах [11; 12], исследовали влияние показателя влажности на плотность и коэффициент теплопроводности. Теплоизоляционные плиты выдерживали в камере над водой в течение 2, 5, 10, 20 и 35 суток, после чего извлекали, определяли плотность и коэффициент теплопроводности. Через 35 суток после начала испытаний показатель влажности не изменялся, т.е. оставался постоянным. Результаты лабораторных испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Физические показатели теплоизоляционных плит

№ образцов	Время выдерживания образца в камере, сут	Показатели образца			
		масса, г	плотность, кг/м ³	влажность, %	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
1	0	181	58	0	0,039
2	2	205	66	13,3	0,046
3	5	224	72	23,8	0,057
4	10	241	77	31,4	0,068
5	20	256	82	41,4	0,076
6	35	268	86	48,1	0,082

В первые двое суток наблюдался значительный прирост влажности образцов – до 13,3%, что повлекло за собой увеличение плотности на 13,7% относительно образца № 1, находящегося в абсолютно сухом состоянии. При этом коэффициент теплопроводности возрос на 17,9%. Через 5 суток после начала испытаний влажность достигла 23,8%, плотность повысилась на 24,1%, а теплопроводность – на 46,1%.

За последующие пять суток отмечалось снижение темпов прироста влажности. Показатель влажности увеличился только на 31,9% при возрастании плотности на 6,9% и коэффициента теплопроводности на 19,3%. Спустя 35 суток наступил период стабилизации показателя влажности. Максимальный показатель влажности образцов при хранении плит в условиях влажности воздуха 97% составил 48,1%. Плотность образца № 6 превысила показатель образца № 1 в 1,48 раза, а теплопроводность возросла в 2,1 раза.

Проведенные ранее аналогичные исследования на утеплителях из костросоломенных смесей, волоках и очесах льна [11; 12] подтверждают, что теплоизоляционные материалы на растительном сырье обладают особенностью – высокая сорбция влаги из воздуха, но также легко отдают влагу при уменьшении влажности воздуха. Несмотря на значительное увеличение показателей влажности, плотности, коэффициента теплопроводности, образцы в период их эксплуатации в условиях относительной влажности воздуха 97% находятся только в период выпадения атмосферных осадков в виде дождя. Таким образом, полученных максимальных значений основных показателей утеплитель не может достичь при соблюдении условий эксплуатации ограждающих конструкций здания.

Заключение. Отходы волокна хлопка являются эффективным структурообразующим материалом для производства утеплителей. При плотности 50...60 кг/м³ показатель теплопроводности отходов хлопковых волокон составляет 0,037 Вт/(м·°C).

Использование жидкого стекла в качестве вяжущего обеспечивает получение полужестких плит и понижает горючесть утеплителя. При введении модифицированного жидкого стекла наименьший показатель теплопроводности $0,039 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ соответствует плотности плит $58...69,6 \text{ кг/м}^3$.

Значительное увеличение показателей влажности, плотности, коэффициента теплопроводности при нахождении образцов в условиях относительной влажности воздуха 97% свойственно теплоизоляционным материалам на растительной основе. В условиях относительной влажности воздуха 60...70% влажность утеплителя составляет 11...12%, а коэффициент теплопроводности находится в пределах $0,049...0,051 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. Таким образом, по результатам исследований получен эффективный теплоизоляционный материал в виде полужестких плит на основе отходов волокон хлопка и жидкого стекла для Туркменистана и других стран Среднеазиатского региона, выращивающих хлопковую культуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор каменной ваты [Электронный ресурс] // Сайт «TutKnow.ru». – Режим доступа: <http://tutknow.ru/building/uteplenie/6213-obzor-kamennoy-vaty.html>. – Дата доступа: 14.05.2019.
2. Плиты теплоизоляционные звукопоглощающие. Технические условия : ТУ ВУ 391129716.001-2015. – Введ. 27.07.2015. – Ореховск, 2015. – 10 с.
3. Советников, Д.О. Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга / Д.О. Советников, Д.О. Семашкина, Д.В. Баранова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 12 (51). – С. 7–19.
4. Романовский, С.А. Применение микроскопического анализа для оценки перспективы использования очесов волокна льна в производстве теплоизоляционного материала / С.А. Романовский, А.А. Бакатович // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 14–18.
5. Bakatovich, A. Composite material for thermal insulation based on moss raw material / A. Bakatovich, F. Gaspar // Construction and Building Materials : International Journal (Elsevier). – 2019 (180). – P. 1–9.
6. Romanovskiy, S. Influence of the Fibrous Structure on the Physical and Mechanical Characteristics of Insulating Slabs from Flax Noils / S. Romanovskiy, A. Bakatovich // Construction Science : Scientific Journal of Riga Technical University. – 2017. – Vol. 20. – P. 10–16.
7. Что такое джут, джутовый утеплитель: характеристики [Электронный ресурс] // Сайт «ФБ». – Режим доступа: <http://fb.ru/article/249861/chto-takoe-djut-djutovyy-uteplitel/>. – Дата доступа: 16.05.2019.
8. Утеплитель из кокоса Bauplit [Электронный ресурс] // Сайт компании «GreeBauldTrade». – Режим доступа: <http://g-b-t.ru/collection/kokosovye-utepliteli/product/uteplitel-iz-kokosa-bauplit-cocos>. – Дата доступа: 25.05.2017.
9. STEICO [Электронный ресурс] // Сайт «Дома ЭЗ». – Режим доступа: <http://steico-rus.ru/katalog>. – Дата доступа: 12.05.2019.
10. Вреден ли парафин [Электронный ресурс] // Сайт Вредно ли? – Режим доступа: <http://vredno-ili-net.ru/ostalnoe/vreden-li-parafin.html>. – Дата доступа: 12.05.2019.
11. Bakatovich, A. Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste / A. Bakatovich, N. Davydenko, F. Gaspar // Energy and Building : International Journal (Elsevier). – 180 (2018). – P. 72–82.
12. Романовский, С.А. Особенности влияния влажности на теплопроводность волокнистого теплоизоляционного материала из очесов льна / С.А. Романовский, А.А. Бакатович // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : сб. материалов II Нац. науч.-практ. конф., Омск, 18–19 апр. 2019 г. ; Сиб. гос. автомобильно-дорожный ун-т, 2019. – С. 432–439.

Поступила 10.06.2019

INSULATING MATERIAL ON A FILLER FROM COTTON FIBER PROCESSING WASTE

A. BAKATOVICH, N. DAVYDENKO, M. ROZYEV

A brief analysis of heat-insulating materials based on mineral fibers and plant fiber raw materials is given. The results of determining the density and thermal conductivity of waste cotton fiber, experimental plates based on cotton fibers and modified water glass are presented. It was found that the lowest thermal conductivity coefficient equal to $0.039 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$ is achieved at a plate density of 58 kg/m^3 . The data of studies of the density and coefficient of thermal conductivity during aging of plate samples in the chamber at a relative humidity of 97% are analyzed. After 35 days in the chamber, the humidity of the samples is 48.1%, while the coefficient of thermal conductivity increases by 2.1 times, and the density increases by 48.3%.

Keywords: heat-insulating material, cotton fiber waste, modified water glass, density, humidity, thermal conductivity.

УДК 691.335

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СЕРОБЕТОНОВ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ

И.В. ЛАЗОВСКАЯ; канд. техн. наук, доц. Р.А. АНДРЕЕВА
(Полоцкий государственный университет);
д-р техн. наук, проф. В.В. ТУР
(Брестский государственный технический университет)

Рассматривается проблема увеличения количества производимых побочных продуктов, в частности серы, в результате увеличения объема и повышения глубины нефтепереработки. Анализируется один из путей диверсификации рынка серы – использование её в нетиповых отраслях, в частности в строительстве, в качестве серобетона. Серобетон – новый строительный материал на основе серного вяжущего. Исследование свойств серобетонов актуально в связи с увеличением глубины нефтепереработки и её объемов. Влияние вида применяемого наполнителя на прочность серобетонов рассматривается при сжатии. Проанализировано влияние процентного содержания серы как вяжущего для получения серобетонов на прочность при сжатии.

Ключевые слова: серобетон, наполнитель вяжущее, отходы нефтепереработки, новые строительные материалы.

Общеизвестны данные по объемам запасов и переработки нефти в мире, также известны оценочные данные прогнозов по продолжительности использования нефти и газа (около 50 лет при отсчете от 2018 г.) как основных энергоисточников [1]. Однако технологические процессы нефтедобычи совершенствуются, позволяя тем самым повысить эффективность выработки запасов нефти и увеличить срок использования указанных энергоносителей.

Совершенствуется также технология нефтепереработки и, соответственно, растут объемы ее отходов (побочных продуктов), в том числе серосодержащих (нефтешламы, кислые гудроны, кислые сточные воды, сероводород и пр.).

Поскольку сера рассматривается не только как проблемный экологический элемент, но и как ресурсный компонент, востребованный промышленностью, сельским хозяйством, медициной, иными сферами, представляется интересным оценить ее возможные объемы от нефтепереработки в мире и Республике Беларусь в частности.

Из расчета добычи нефти в мире 100 млн баррелей в сутки (14 млн т/сут) и в среднем 2% масс. содержания в ней серы теоретически ее может быть выделено порядка 100 млн тонн в год [1].

Однако в настоящее время значительное количество серы из нефти уходит в вышеуказанные технологические отходы производства, откуда извлекать серу в настоящее время технически и экономически нецелесообразно. При этом глубина переработки нефти, решение экологических проблем (загрязнение окружающей среды) и выделение нового товарного продукта (в нашем случае – серы) находятся во взаимосвязи.

Современные технологии нефтепереработки позволяют выделять и стандартизировать в производстве серу высокой степени чистоты и, соответственно, качества.

Первичным в технологии производства серы из нефти является газообразный отход гидроочистки нефтяных продуктов – сероводород, который затем сжигается и перерабатывается по двум сырьевым направлениям – в серную кислоту и товарную серу. Эти внутренние циклические процессы позволяют производить только одному ОАО «Нафтан» до 60 тыс. тонн товарной серы в год. Очевидно, что перспективы дальнейшего использования товарной и стандартизированной серы более благоприятны и экономически более обоснованны в сравнении с серосодержащими отходами. Одним из возможных направлений ее рационального использования выступает строительная индустрия.

Как известно, сера используется в ряде отраслей, однако реальное современное производство потребляет не более 50% от производимой и добываемой рудной серы; 90% ее идет на производство серной кислоты, остальное – на производство сульфидов, резиновых изделий, искусственных волокон, взрывчатых веществ, лекарств и других товаров.

Понятен интерес в мире к разнообразным путям диверсификации рынка использования серы, в том числе в составе композиций, применяемых в строительстве. В США, Японии, Канаде активно используются серосодержащие вяжущие и бетонные смеси для строительства дорог, производства строительных конструкций высотного домостроения, в мостостроении и др. [2]. В связи с этим в на-

стоящее время в мире проводится большой объем научных исследований, связанных с подбором рецептур и технологий изготовления бетонов на основе серного вяжущего. Это обусловлено рядом *специфических, совокупных особенностей серных бетонов*, таких как:

- высокая прочность;
- гидрофобность;
- морозостойкость; износостойкость;
- стойкость к воздействию агрессивных сред.

Использование отечественного сырья позволит создать новые качественные и долговечные строительные материалы с низкой себестоимостью, а также частично решит экологическую проблему региона, значительно снизив загрязнение окружающей среды.

Таким образом, в силу изложенного перед авторами научных работ стояла задача подобрать рецептуру вяжущего и композиции бетона, содержащие в своем составе природные рудные ископаемые Республики Беларусь, отходы различных производств и товарной сертифицированной серы, получаемой в качестве одного из конечных продуктов нефтепереработки.

Задача данного исследования состоит в анализе влияния вида наполнителей на основе местного сырья и содержания серы в составе смеси на прочность серобетона при сжатии.

Методика исследований. В качестве составляющих для изготовления образцов из серобетонов различных составов использовались следующие материалы:

- сера техническая (ГОСТ 127.1-93) [3];
- доломитовая мука (ГОСТ 14050-93) [4] – образцы серий № 1–2;
- зола Белорусской ГРЭС (г. п. Ореховск Витебской области) – образцы серий № 3–5;
- гранитный щебень (ГОСТ 8237-93) [5];
- карьерный песок (ГОСТ 8735-88) [6];
- йод кристаллический (ГОСТ 4159-79) [7].

Для изготовления образцов серий № 3–4 применялась зола уноса, полученная в результате отбора проб из отвалов в разное время. Данные по химическому компонентному составу известны только для золы одной пробы (таблица 1).

Таблица 1. – Состав сырья серосодержащих бетонных смесей по основным компонентам %, масс.

Наполнитель	CaO	Ca	SiO ₂	Si	MgO	Mg	Fe ₂ O ₃	Fe	Al ₂ O ₃	Al
Доломитовая мука	30,4...31,0	21,7	1,65	0,83	21,7	13	0,35	–	0,37	–
Зола уноса	20,1...22,1	13,8...15,5	43,26...20,2	3,58	3,58	2,15	15,2...19,7	–	8,56	5,7

Технология изготовления опытных и контрольных образцов включала:

- подготовку сырья (фракционирование заполнителей, промывку, просушку заполнителей и инертного наполнителя до постоянной массы);
- перемешивание компонентов в определенной последовательности и определенном массовом соотношении при температуре 155 °С;
- последующее формование и виброуплотнение (1 мин), расформовку образцов после их остывания до 36 °С.

Испытания по определению прочности при сжатии проводились на пяти партиях опытных образцов-кубов с ребром 100 мм, изготовленных из серобетонной смеси.

Часть образцов испытана в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [8] в возрасте одних суток, другая часть – в возрасте 28 суток для того, чтобы установить скорость набора прочности и потери прочности с течением времени (28 суток).

Результаты исследований. В таблицах 1 и 2 приведены данные по компонентному составу серобетонных смесей и их прочность, определенную по результатам испытаний.

Анализ используемых наполнителей в серобетоне (см. таблицу 1) показывает следующее:

- уровень содержания оксидов кальция и марганца в доломите существенно выше, чем в золе уноса, в то же время в золе уноса на порядок выше концентрация оксида кремния – 43,26%;
- при содержании серы в смеси порядка 25% масс. эти факторы не отразились на значительных колебаниях прочности образцов и составили 59...62 МПа.

Таким образом, на основании полученных результатов можно предположить:

- главными факторами, определяющими прочность образцов при сжатии, являются как сама сера, так и ее взаимодействие с мелкодисперсным наполнителем, а также прочностные свойства наполнителя;

- кристаллизованная модифицированная сера в сочетании с крупным и мелким заполнителем создают организованную монолитную структуру, обеспечивая тем самым прочностные качества серобетона.

Следует отметить, что поскольку в экспериментах использовались пробы золы-уноса, взятые с разных участков золоотвала, прочность при сжатии образцов № 3–5 существенно различалась. Объяснить это можно непостоянством химического состава и, как следствие, свойств золы, связанным с использованием различных видов топлива, его качеством (составом) и технологий сжигания.

В частности, непосредственно на белорусской ГРЭС (г. п. Ореховск Витебской области) сырьем попеременно и/или одновременно служат щепы (древесный отход) и торф, при этом имеет место переменный температурный режим сжигания. При данных условиях невозможно обеспечить стабильность химического состава золы уноса и, как следствие, постоянство свойств серобетонных смесей с данным наполнителем.

Таблица 2. – Варианты составов серобетонных смесей и их прочность при сжатии

№ серии образцов	Сера, % масс.	Щебень, % масс.	Песок, % масс.	Доломит, % масс.	Зола уноса, % масс.	Средняя прочность, МПа	
						Возраст, сут	
						1	28
1	25	37	20	18	–	59,3	59,6
2	25	45	15	15	–	60,7	60,2
3	25	37	20	–	18	61,0	60,5
4	25	45	15	–	15	62,5	61,2

В рамках проведенных исследований также рассматривался вопрос относительно определения количества серы как вяжущего для изготовления серобетона. Для этого были проведены предварительные испытания на прочность при сжатии образцов, изготовленных с различным содержанием серы (от 10 до 30% масс.).

В качестве наполнителя использовалась доломитовая мука.

Всего было испытано 4 серии опытных образцов-кубов с размером ребра 100 мм, по 3 образца в каждой серии.

Среднее значение плотности всех опытных образцов составила 2436 кг/м³.

Составы для изготовления опытных образцов, а также результаты испытаний на прочность при сжатии представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Варианты составов опытных образцов серобетонных смесей и их прочность при сжатии

№ серии образцов	Содержание серы, % масс.	Содержание щебня, % масс.	Содержание песка, % масс.	Содержание доломитовой муки, % масс.	Средняя прочность, МПа
1	10	45	25	20	49
2	15	45	25	15	62
3	25	45	15	15	60,7
4	30	35	15	20	42

Заключение. По результатам проведенных испытаний выполнен анализ прочностных свойств серобетонных смесей, изготовленных с использованием различных наполнителей, полученных из местных сырьевых источников. При этом можно констатировать, что в качестве наполнителей в составе серобетона

наиболее приемлемы доломитовая мука (ГОСТ 14050-93) и зола уноса. Вместе с тем необходимо учитывать непостоянство химического состава золы уноса, связанное с непостоянством используемого топлива и тепловых режимов его сжигания. В работе также проанализировано влияние содержания в составе серобетона серы как вяжущего на прочность при сжатии – главными факторами, определяющими прочность образцов при сжатии, являются как сама сера, так и ее взаимодействие с мелкодисперсным наполнителем, а также его прочностные свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невельский, А. Добыча нефти в мире впервые достигла 100 млн. баррелей в день [Электронный ресурс] / А. Невельский // Ведомости (Бизнес/ТЭК). – 2018 (13.09). – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/newspaper/last>. – Дата доступа: 18.06.2019.
2. Волгушев, А.Н. Применение серы в строительстве [Электронный ресурс] / А.Н. Волгушев // Аналитический портал химической промышленности Newchemistry.ru. – Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4348. – Дата доступа: 18.06.2019.
3. Сера техническая. Технические условия : ГОСТ 127.1-93. – Введ. 1997-01-01.
4. Мука известняковая (доломитовая). Технические условия : ГОСТ 14050-93. – Введ. 1995-01-01.
5. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия : ГОСТ 8237-93 (с изм. № 1–4). – Введ. 1995-01-01.
6. Песок для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 8735-88 (с изм. № 1, 2, испр.). – Введ. 1989-07-01.
7. Реактивы. Йод. Технические условия : ГОСТ 4159-79. – Введ. 1980-07-01.
8. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам : ГОСТ 10180-2012. – Введ. 2013-07-01.

Поступила 21.06.2019

DURABILITY EVALUATION OF SULFUR CONCRETE OF VARIOUS COMPOSITION

I. LAZOUSKAYA, R. ANDREEVA, V. TUR

With an increase in volume and an increase in the depth of oil refining, the amount of produced by-products, in particular sulfur, increases. One of the ways to diversify the sulfur market is to use it in non-standard industries, in particular, in construction. Sulfur concrete is a new building material based on sulfur binder. The study of the properties of sulfur concrete is relevant in connection with an increase in depth and an increase in oil refining volumes. In this article, the authors consider the influence of the type of filler used on the strength of sulfur concrete with short-term compression. In addition, the influence of the percentage of sulfur as a binder for the production of sulfur concrete on compressive strength was analyzed.

Keywords: sulfur concrete, binder filler, oil refining waste, new building materials.

УДК 691.263.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРОВ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

А.С. КАТУЛЬСКАЯ; канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЕНОВА
(Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты исследования, направленного на проведение сравнительного анализа влияния дефеката Слуцкого сахарорафинадного комбината, шлама водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ, байпасной пыли ОАО «Кричевцементношифер» на физико-механические свойства гипсовых вяжущих. Выполнены исследования по определению водопоглощения, сроков схватывания гипсового вяжущего, а также прочностных характеристик гипсового камня в возрасте 7 и 28 суток. Установлено, что использование дефеката в качестве модификатора оказывает положительное влияние на сроки схватывания гипсового вяжущего и на прочность на изгиб гипсового камня; модификация свойств гипсового вяжущего шламом водоподготовки увеличивает прочностные характеристики гипсового камня до 1,7 раза; оптимальное количество байпасной пыли в составе гипсового вяжущего составляет 5% от массы вяжущего, что позволяет увеличить прочность на изгиб и сжатие гипсового камня в 1,7 раза.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, шлам водоподготовки, байпасная пыль, дефекат, водопоглощение, модификатор, сроки схватывания, прочность на изгиб, прочность на сжатие.

Введение. Разработке добавок-модификаторов гипсовых вяжущих посвящено значительное количество исследований. Основная цель введения таких добавок – повышение водостойкости, прочности и морозостойкости изделий на основе гипса, регулирование сроков схватывания, повышение водоудерживающей способности строительной смеси. Добавки существенно влияют на протекание гидратации и формирование структуры минеральных вяжущих: изменение размера и морфологии кристаллов, состояние межфазной поверхности, пористости. Основными компонентами добавок являются: гидравлическое вяжущее вещество – портландцемент любой разновидности; активные тонкодисперсные кремнесодержащие материалы; суперпластификаторы [1]; регуляторы сроков схватывания и твердения; стабилизаторы [2]. Тем не менее задача упрощения технологии и снижения энергозатрат при производстве модификаторов гипсовых вяжущих, снижения их стоимости за счет применения недефицитного сырья остается актуальной. Перспективное направление повышения экономической и технологической эффективности гипсовых вяжущих – применение добавок на основе промышленных отходов.

Основная часть. В работе [2] показано, что использование карбидного ила, получаемого от производства ацетилена в ацетиленовых генераторах при разложении карбида кальция, и биокремнезема в качестве компонентов гипсового вяжущего приводит к образованию малорастворимых низкоосновных гидросиликатов кальция, уплотняющих структуру материала и препятствующих проникновению влаги внутрь затвердевшего гипса.

Разработанное вяжущее обладает повышенной в 1,8...2,2 раза водостойкостью с коэффициентом размягчения до 0,91.

Отмечается [2], что вяжущее и бетоны на его основе имеют:

- меньшую в 1,5...3 раза открытую пористость;
- большую в 1,4...1,6 раза прочность на сжатие;
в 2...3 раза морозостойкость;
- в 2,5...2,7 раза водонепроницаемость;
- пониженную в 2,1...2,3 раза ползучесть;
в 3,5...3,8 раза усадку относительно исходного гипса и гипсокерамзитобетона.

Кроме того, вяжущее и бетоны на его основе не требуют специальных условий выдерживания в сравнении с другими многокомпонентными гипсовыми вяжущими.

Исследования А.Р. Гайфуллина [3] показали возможность применения для улучшения физико-механических свойств гипсового вяжущего керамзитовой пыли и гранулированного доменного шлака. Установлено, что при введении в оптимальных количествах добавок молотых до удельной поверхности 500 м²/кг керамзитовой пыли и гранулированного доменного шлака совместно с добавками извести и суперпластификатора в состав гипсового вяжущего увеличивается количество новообразованных низкоосновных гидросиликатов кальция, заполняющих поры с образованием более плотной и мелкозернистой структуры искусственного камня, при снижении общей пористости на 34,4%, объема открытых пор на 14,2%, повышении прочности в 2,5 раза, коэффициента размягчения до 0,96, а также долговечности в результате

уменьшения содержания свободной группы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и создания необходимых условий для прекращения образования и роста количества этtringита в затвердевшем искусственном камне.

В экспериментальных исследованиях, отраженных в работе [4], гипсовый камень подвергали дегидратации совместно с карбонатсодержащей добавкой из шлама водоумягчения ТЭЦ. Прочность гипсового камня по сравнению с вяжущим без добавки повысилась на 20%, а коэффициент размягчения увеличился с 0,3 до 0,55. Установлено, что наполнитель следует вводить при тонкости помола не более 10% по остатку на сите № 008. В качестве одного из вариантов предложен технологический цикл, исключаящий предварительный помол и сушку карбонатсодержащего наполнителя, что позволяет снизить энергозатраты на подготовку компонентов вяжущего и упростить технологию его производства.

В исследованиях [5] показана возможность использования шлама водоподготовки в качестве компонента гипсового вяжущего, модифицированного тонкомолотым кварцевым песком. Установлено, что при оптимальном количестве (15%) в составе гипсового вяжущего сроки схватывания остаются на уровне бездобавочных составов, не изменяется также и водопотребность. Прочностные характеристики находятся на уровне контрольных образцов, что свидетельствует о возможности использования шламовых отходов в составе гипсовых вяжущих. Отмечается, что замена части гипса на шлам водоподготовки в составе вяжущих позволит снизить объёмы данного отхода производства, не снижая физико-механических характеристик гипсовых вяжущих веществ.

В работе [6] рассматривалось влияние дефеката в условиях СВЧ-поля на основные физико-механические свойства гипсовых композиционных материалов с его использованием. Дефекат вводили в количестве 5 и 10% от массы гипсового вяжущего. Вводимый дефекат подвергали обработке в СВЧ-поле мощностью 300, 450 и 700 Вт в течение от 5 до 30 минут. Показано [6], что при обработке дефеката СВЧ-облучением происходит удаление адсорбционно-связанной воды и разложение сахаратов кальция и органических веществ, при этом увеличивается дисперсность частиц шлама и его поверхность становится химически активной. При введении активированного дефеката в условиях СВЧ-поля мощностью 450 Вт прочность композиционных гипсовых вяжущих увеличивается в 1,4 раза по сравнению с образцами, в состав которых вводили необработанный дефекат.

Аналогичные отходы образуются и на территории Республики Беларусь. Ведущим предприятием Республики Беларусь по производству сахара и готовой товарной продукции является ОАО «Слущкий сахарорафинадный комбинат». Предприятие перерабатывает около 28,4% общего объёма поступающей от сельхозпроизводителей сахарной свеклы и производит 27,5% сахара. На комбинате в процессе производства сахара на стадии заготовки и переработки сахара образуется фильтрационный осадок (дефекат) – известково-кальцевый материал, образующийся в процессе очистки диффузионного сока известью. Общий объём образующегося дефеката составляет 53829,6 т/год. Большинство отходов сахарного производства практически не утилизируются, что приводит к их накоплению. По своему химическому составу содержание карбоната кальция в дефекате составляет до 75% [7].

На предприятии ОАО «Кричевцементношифер» одним из отходов производства является байпасная пыль, образующаяся при отведении части высокотемпературных отходящих газов из вращающейся печи с целью снижения процессов настылеобразования в циклонном теплообменнике. Химический состав пыли характеризуется повышенным содержанием CaO (57,2%) [8].

На крупных предприятиях образуется значительное количество шлама водоподготовки, образующегося на водоподготовительных установках в процессе обработки воды, которая предназначена для восполнения потерь пара конденсата, сетевой воды ТЭЦ и потребителями. Качество очищенной воды, подаваемой в пароводяной цикл котлов, должно обеспечить безаварийный режим их работы, от чего во многом зависит режим работы всей ТЭЦ [9]. Хранятся такие отходы в шламоотвалах, занимающих значительные территории. Практически половина шлама водоподготовки образуется на территории Витебской области. Наиболее крупный производитель шлама – Новополоцкая ТЭЦ (11050 т/год).

Для промышленных предприятий остро стоит вопрос сокращения площадей, занятых шламоотвалами. Данная задача в проведённых исследованиях решается путём выполнения сравнительного анализа влияния сахарного дефеката, шлама водоподготовки, байпасной пыли на физико-механические свойства гипсовых вяжущих с целью определения эффективности их применения в качестве модификаторов гипсовых вяжущих.

Характеристика материалов и методика проведения исследований. Для проведения экспериментальных исследований физико-механических свойств композиций использовался гипс строительный «Тайфун Мастер» № 35 марки Г-5 III А производства ООО «Тайфун», который соответствует характеристикам ГОСТ 125 [10]. В качестве модифицирующих добавок использовались дефекат Слущкого сахарорафинадного комбината, шлам водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ и байпасная пыль ОАО «Кричевцементношифер».

Для проведения исследований дефекат модифицировали путём термоактивации при температуре 200 °С в режиме мягкого нагрева и термоудара [11].

При мягком нагреве дефекат помещали в холодный сушильный шкаф марки «SNOL 58/350» и нагревали до заданной температуры, выдерживали в течение одного часа и охлаждали.

При режиме «термоудар» дефекат помещали в сушильный шкаф марки «SNOL 58/350», предварительно нагретый до заданной температуры, выдерживали в течение одного часа, затем охлаждали.

Термоактивированный дефекат просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция дефеката, прошедшая через сито № 02.

Для проведения исследований дефекат растворяли при перемешивании в воде, после чего засыпали весь объём гипса.

Фильтрационный осадок вводили в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего вещества.

Химический состав дефеката Слуцкого сахарорафинадного комбината приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Химический состав дефеката Слуцкого сахарорафинадного комбината

CaCO ₂	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Органические соединения
60,0...75,0%	0,2...0,7%	0,2...0,9%	0,3...1,0%	10,0... 15,0%

Шлам водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ использовался в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего вещества. Основное содержащееся в шламе соединение – карбонат кальция (62,8...68,2%).

Для проведения исследований шлам высушивали в сушильном шкафу марки «SNOL 58/350» в течение 5 часов до постоянной массы при температуре 110 °С. Высушенный шлам после охлаждения размалывали и просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция шлама, прошедшая через сито № 02.

В таблице 2 приведен химический состав шлама водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ.

Таблица 2. – Химический состав шлама водоподготовки Новополоцкой ТЭЦ

CaCO ₃	3MgCO·MgOH·2H ₂ O	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Fe(OH) ₃	SiO ₂	CaSiO ₃	Органические соединения
62,8...68,2%	5,8...10,6%	3...9,5%	4,1...6,7%	0,5...4,7%	3,9...6,6%	4,9...8,9%

Байпасную пыль просеивали на механических ситах марки СМ. Использовалась фракция пыли, прошедшая через сито № 02. Модификатор вводили в количестве 5, 10, 15% от массы вяжущего. Химический состав байпасной пыли ОАО «Кричевцементношифер» приведен в таблице 3.

Таблица 3. – Химический состав байпасной пыли ОАО «Кричевцементношифер»

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	Cl	SO ₃	ппп
21,96	3,72	3,88	57,23	1,18	0,36	3,94	2,96	0,17	4,56	1,28

Определение физико-механических характеристик гипсовых вяжущих проводилось на стандартных образцах-балочках размером 4×4×16 см, подготовленных из теста нормальной густоты. Образцы выдерживались в нормальных условиях при температуре 20±2 °С и относительной влажности воздуха 95±5% в течение 7 и 28 суток, после чего определялась прочность образцов-балочек, высушенных до постоянной массы, на прессе гидравлическом марки ПГМ-500 МГ 4А в соответствии с ГОСТ 23789 [12].

Результаты исследований по определению физических свойств модифицированного гипсового вяжущего приведены в таблице 4.

Анализ полученных результатов позволяет установить, что при введении дефеката наступает отдаление сроков схватывания гипсового вяжущего. Так, при введении дефеката, модифицированного в режиме «мягкий нагрев», в количестве 15% от массы вяжущего вещества (состав 4), начало сроков схватывания наступает на 1 ч 57 мин, конец сроков схватывания – на 2 ч 28 мин позже, чем у контрольного образца без модификатора. При введении дефеката в количестве 15% от массы вяжущего вещества (состав 7),

активированного в режиме «термоудар», наступление начала и конца сроков схватывания отодвигается соответственно на 2 ч 7 мин и 2 ч 31 мин по сравнению с контрольными образцами. При этом образцы данного состава характеризовались максимальным уменьшением плотности на 18,5%, а показатели водопоглощения и общей пористости незначительно отличались от контрольных значений.

Снизить показатель водопоглощения позволило введение шлама водоподготовки. При введении шлама водоподготовки в количестве 5% от массы гипсового вяжущего (состав 8) позволило достичь снижения водопоглощения на 22,4% по сравнению с контрольными образцами. При введении шлама водоподготовки в количестве 10 и 15% от массы гипсового вяжущего водопоглощение снижается на 6,1 и на 14,3% соответственно.

Таблица 4. – Физические свойства модифицированного гипсового вяжущего

Номер состава	Наименование модификатора	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Сроки схватывания, ч-мин		Плотность, м ³ /кг	Водопоглощение, %	Общая пористость, %
			начало	конец			
1	Без модификатора	0	0-3	0-12	1625	4,9	7,9
2	Дефекат*	5	0-22	0-38	1472	11,9	17,5
3	Дефекат*	10	1-14	2-10	1441	8,0	11,5
4	Дефекат*	15	2-00	2-40	1484	7,6	11,3
5	Дефекат**	5	0-55	1-35	1484	14,4	21,4
6	Дефекат**	10	1-25	1-40	1535	6,3	9,7
7	Дефекат**	15	2-10	2-43	1324	5,5	7,3
8	Шлам	5	0-8	0-15	1695	3,8	6,4
9	Шлам	10	0-6	0-15	1616	4,6	7,4
10	Шлам	15	0-5	0-13	1676	4,2	7,0
11	Байпасная пыль	5	0-6	0-14	1631	10,2	16,6
12	Байпасная пыль	10	0-8	0-17	1597	14,6	23,3
13	Байпасная пыль	15	0-12	0-22	1455	11,7	17

* – термоактивация дефеката в режиме мягкого нагрева; ** – термоактивация дефеката в режиме термоудара

В результате проведенного исследования установлено следующее:

- при введении байпасной пыли в количестве 15% от массы гипсового вяжущего (состав 13) начало сроков схватывания наступает на 9 минут позже, чем у контрольных образцов;
- конец сроков схватывания – на 10 минут.

Кроме того, введение байпасной пыли в качестве модификатора не позволяет снизить водопоглощение гипсового камня:

- при введении байпасной пыли в количестве 5% (состав 10) водопоглощение образцов увеличивается в 2 раза;
- при введении 10% – в 3 раза;
- при введении 15% – в 2,4 раза по сравнению с немодифицированными образцами.

Результаты исследований по определению механических свойств модифицированного гипсового камня приведены в таблице 5.

Анализ полученных данных показал:

- при введении дефеката в количестве 5 и 10% (состав 5 и 6) при его активации в режиме «термоудар» прочность на изгиб в возрасте 28 суток увеличивается на 9,4% по сравнению с прочностью контрольных образцов;
- введение шлама водоподготовки в качестве модификатора (состав 8) позволяет увеличить прочность на изгиб на 75% и прочность на сжатие на 56,9% по сравнению с образцами без модификатора;
- при введении байпасной пыли в количестве 5% от массы вяжущего вещества (состав 11) прочность на изгиб и сжатие увеличивается на 75 и 65,3% соответственно.

Таблица 5. – Механические свойства модифицированного гипсового камня

Номер состава	Наименование модификатора	Содержание модификатора, % от массы вяжущего вещества	Прочность в возрасте 7 сут, МПа (%)		Прочность в возрасте 28 сут, МПа (%)	
			на изгиб	на сжатие	на изгиб	на сжатие
1	Без модификатора	0	2,9 (100)	4,8 (100)	3,2 (100)	7,2 (100)
2	Дефекат*	5	2,9 (100)	4,5 (93,8)	2,7 (84,4)	5,9 (81,9)
3	Дефекат*	10	1,8 (62,1)	2,2 (45,8)	2,5 (78,1)	4,2 (58,3)
4	Дефекат*	15	0,7 (24,1)	0,8 (16,7)	1,2 (37,5)	1,4 (19,4)
5	Дефекат**	5	2,2 (75,9)	2,5 (52,1)	3,5 (109,4)	4,1 (56,9)
6	Дефекат**	10	1,0 (34,5)	1,3 (27,1)	3,5 (109,4)	1,6 (22,2)
7	Дефекат**	15	0,9 (31,0)	0,5 (10,4)	1,4 (43,8)	1,2 (16,7)
8	Шлам	5	3,3 (113,8)	7,7 (160,4)	5,6 (175,0)	11,3 (156,9)
9	Шлам	10	3,1 (106,9)	6,2 (129,2)	5,3 (165,6)	10, 5 (145,8)
10	Шлам	15	3,1(106,9)	6,0 (125,0)	3,1 (96,9)	10,2 (141,7)
11	Байпасная пыль	5	4,0 (137,9)	6,4 (133,3)	5,6 (175,0)	11,9 (165,3)
12	Байпасная пыль	10	3,4 (117,2)	6,5 (135,4)	3,6 (112,5)	11,1 (154,2)
13	Байпасная пыль	15	3,1 (106,9)	6,5 (135,4)	3,5 (109,4)	7,8 (108,3)
* – термоактивация дефеката в режиме мягкого нагрева; ** – термоактивация дефеката в режиме термоудара						

Закключение. Дефекат сахарного производства может применяться как добавка-модификатор, увеличивая сроки схватывания гипсового вяжущего:

- начало схватывания до 2 ч 10 мин;
- конец схватывания до 2 ч 43 мин.

При этом дозировка должна составлять 15% от массы гипсового вяжущего, а подготовка дефеката должна включать термоактивацию в режиме «термоудар».

Применение шлама водоподготовки и байпасной пыли эффективно для повышения прочностных характеристик гипсового камня:

- при введении в состав гипсового вяжущего шлама водоподготовки в количестве 5% от массы вяжущего водопоглощение снижается на 1,1%; прочность на сжатие гипсового камня увеличивается в 1,75 раза, прочность на изгиб – в 1,6 раза;
- при дозировке байпасной пыли 5% от массы гипсового вяжущего прочность на изгиб и сжатие увеличивается в 1,7 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. – 109 с.
2. Добавка для модификации гипсовых вяжущих, строительных растворов и бетонов на их основе : пат. RU 2260572 / П.А. Ефимов, А.П. Пустовгар. – Оpubл. 20.09.2005. – С. 1–7.
3. Композиционное гипсовое вяжущее с добавками извести и керамзитовой пыли / Р.З. Рахимов [и др.] // Вестн. Волгогр. гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2013. – № 31-2. – С. 149–155.
4. Морев, И.В. Эффективные композиционные материалы на основе низкомарочного строительного гипса : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / И.В. Морев. – Иваново, 2009. – 40 с.
5. Валеев, Р.Ш. Утилизация шламовых отходов водоочистки в строительной композиции с использованием минерального наполнителя вяжущего / Р.Ш. Валеев // Вестн. технол. ун-та. – 2015. – Т. 18. – № 20. – С. 278–280.
6. Использование дефеката, активированного СВЧ-излучением, в составе гипсовых композиционных вяжущих / М.Ю. Федорина [и др.] // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – № 6-2. – С. 218–221.

7. Терешко, А.М. Перспективные направления использования отходов свеклосахарного производства / А.М. Терешко // Сборник материалов 72-й студенческой науч.-техн. конф., Минск, 20–28 апр. 2016 г. ; Белорус. нац. техн. ун-т, фак. горного дела и инженерной экологии. Секция «Экологический менеджмент». – Минск, 2016. – С. 97–100.
8. Шиков, Д.Н. Использование байпасной пыли [Электронный ресурс] / Д.Н. Шиков // Информационно-маркетинговый узел М-ва образования Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://imu.icm.by/ru/node/37062>. – Дата доступа: 08.06.2019.
9. Касимов, А.М. Экологические и экономические инструменты сокращения ущерба окружающей среде со стороны накопителей промышленных отходов / А.М. Касимов, И.В. Гуренко, И.Н. Мацевитая // Экология и промышленность. – 2013. – № 1. – С. 79–83.
10. Вяжущие гипсовые. Технические условия : ГОСТ 125-79 / Госстрой ССР. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 5 с.
11. Структура композиционных материалов на гипсовом вяжущем с использованием термоактивированного дефекаата / И.В. Старостина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 224–229.
12. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний : ГОСТ 23789-79 / Госстрой ССР. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1987. – 10 с.

Поступила 10.06.2019

COMPARATIVE ANALYSIS OF APPLICATION OF INDUSTRIAL WASTE AS MODIFIERS OF GYPSUM BINDERS

A. KATULSKAYA, L. PARFENOVA

The paper presents studies aimed at conducting a comparative analysis of the influence of the defecate of the Slutsk sugar refinery, sludge of water treatment of the Novopolotsk TPP, and bypass dust of OJSC “Krichevcementnoshifer” on the physical and mechanical properties of gypsum binders. Studies were carried out to determine the water absorption, the setting time of the gypsum binder, as well as the strength characteristics of gypsum stone at the age of 7 and 28 days. It has been established that the use of defecate as a modifier has a positive effect on the setting time of the gypsum binder and on the flexural strength of the gypsum stone. Modification of the properties of gypsum binder by sludge water treatment increases the strength characteristics of gypsum stone up to 1.7 times. The optimal amount of bypass dust in the composition of the gypsum binder is 5% by weight of the binder, which allows to increase the bending and compressive strength of gypsum stone by 1.7 times.

Keywords: gypsum binder, water treatment sludge, bypass dust, defecate, water absorption, modifier, setting time, strength bending strength, compressive strength.

УДК 697.1:536.2

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИХ КОНВЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА**

*канд. техн. наук, доц. Д.Н. ШАБАНОВ;
Е.Г. БРЯНЦЕВ; А.Н. ЯГУБКИН; И.В. КРУПЕНЧИК; С.Ю. ЗМИТРОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий как главная характеристика при их проектировании, т.е. определении толщины сечения, выбора соответствующих теплоизоляционных материалов, их энергосберегающей и экономической обоснованности. Показано, что все мероприятия по утеплению наружных стен должны соотноситься с предельными значениями удельных единовременных затрат, при которых эти мероприятия окупаются. Изложены предложения по уточнению методики назначения нормативных величин сопротивления теплопередаче, рекомендованных ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий». В основу предложений положены нормативные региональные санитарно-гигиенические требования, являющиеся прямым следствием теории теплопередачи и характеристики тепловой инерционности ограждающих конструкций.

Ключевые слова: сопротивление теплопередаче, удельные единовременные затраты, окупаемость, тепловая инерционность.

Введение. Повышение энергоэффективности жилых зданий, продиктованное энергетическим кризисом, потребовало значительного увеличения нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций этих зданий и разработки комплекса энергосберегающих мероприятий. В работах [5; 6 и др.] указывается на необходимость согласованного уточнения этих требований с инвестиционными затратами на создание и модификацию новых производств при условии окупаемости этих затрат. Весомым аргументом такого уточнения является то, что зависимость теплопотерь от приведенного сопротивления теплопередаче имеет ярко выраженный убывающий экспоненциальный вид, из анализа которого можно сделать вывод, что увеличение сопротивления теплопередаче не приводит к заметному уменьшению тепловых потерь.

Цель данного исследования – разработать конструктивное решение теплоизоляционного слоя для трёхслойных стеновых панелей КПД и колодезной кладки, при котором учитываются условия нестационарной теплопередачи (конвекция), повышающие теплозащитные функции ограждающих конструкций зданий.

Постановка проблемы. Основным резервом энергосбережения является снижение потребления энергоресурсов объектами жилищно-общественного назначения, доля которых в общем потреблении строительной отраслью составляет свыше 80%. Приведение теплотехнических свойств объектов к современному европейскому уровню позволит кроме сбережения энергоресурсов решить проблему обеспечения нормативного уровня комфорта жилой среды, отсутствие которого стало существенной социальной проблемой многоквартирных жилых домов и зданий социального назначения.

Анализ предварительных исследований. Проведенный анализ материалов исследований и публикаций [1–4] свидетельствует о наличии проблем использования современных теплоизоляционных материалов. В частности, *пенополистирол*, обладая низкой теплопроводностью, имеет ряд отрицательных свойств: недолговечность, горючесть и экологическая опасность. Как показывает опыт его использования в строительной отрасли, заложенный в стены пенополистирол через 10–15 лет разрушается. Такие же недостатки характерны и для *минераловатных изделий* – через 7–9 лет они переходят в пылевидное состояние, что небезопасно с экологической точки зрения. Таким образом, использование пенополистирола и минераловатных изделий в строительстве ведет к тому, что уже через 7–10 лет ограждающие конструкции не будут обеспечивать требуемое термическое сопротивление.

Ячеистые бетоны, несмотря на преимущества в сравнении с другими теплоизоляционными материалами, имеют существенные недостатки: высокое водопоглощение (приводит к низкой влаго- и морозостойкости); повышенная их гидрофобность (снижает адгезию к поверхности и затрудняет штукатурные работы); низкая прочность в сочетании с большой плотностью и недостаточными теплоизоляционными свойствами (сужает область применения таких бетонов) [5].

Материалы и методы исследования. Проектирование тепловой защиты зданий начинается с анализа климатических условий района будущего строительства. В первом приближении теплопотери пропорциональны снижению температуры и длительности периода с низкими температурами, что характеризуется величиной «градус-суток» отопительного периода. Однако применяются и иные схемы подсчета, в частности по характеристике тепловой инерции ограждения (D_d), где может использоваться более одного значения D_d [7; 8]. В работах авторов [9; 10] введено понятие «эквивалентная температура»,

которое отражает степень суровости климата – совместное влияние температуры воздуха и ветра в зависимости от приспособленности объекта к каждому из факторов. Одновременно с этим предлагается использовать понятие «стандартные условия» и вводить индекс суровости климата, соответствующий максимально возможному отклонению от своего стандартного значения.

По существующей методике требуемыми теплозащитными свойствами служат два показателя: величина сопротивления теплопередаче R_0^p и теплоустойчивость, которую оценивают по характеристике тепловой инерции ограждения D . Параметр R_0^p определяет сопротивление ограждения передаче тепла в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических температурных колебаний, т.е. нестационарных условий теплопередачи. Важно, чтобы соблюдалось условие, при котором расчетное сопротивление теплопередаче R_0^p , определяемое как сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждения R_i и сопротивлений теплообмену на внутренней R_e и наружной R_n поверхностях ограждения, было больше минимально допустимого санитарно-гигиенического сопротивления теплопередаче R_0 :

$$R_0^p \geq R_0, \quad (1)$$

где $R_0^p = R_e + \sum R_i + R_n$; $R_i = \delta / \lambda_c$; $R_0 \geq n(t_e - t_n) / \Delta t_n \alpha_e$, δ – толщина отдельного слоя в сечении ограждения, м; λ_c – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м °С); n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; t_e – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий, °С; t_n – расчетная зимняя температура, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92; Δt_n – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С.

«В строительной теплотехнике большое значение имеют вопросы, связанные с периодическими колебаниями температур и тепловых потоков» [8]. В естественных условиях адаптационного периода режим теплопередачи через ограждения в большей степени является нестационарным, что отражается на их теплонакопительной способности. «Эта способность зависит от плотности материала ограждений, и у тяжелых стен она выше, чем у легких конструкций. Зимой помещения с большей теплонакопительной способностью при отключении отопления охлаждаются с меньшей скоростью, а летом избыточная энергия в дневное время может накапливаться для того, чтобы передать ее в воздух помещения в прохладные ночные часы» [9]. Наиболее холодные и жаркие периоды года отмечены особенно резкими изменениями температуры и солнечной радиации. Эти периоды наибольшего охлаждения и наибольшего нагрева при проектировании ограждений и систем отопления являются экстремальными, поэтому основные теплотехнические расчеты должны выполняться с учетом нестационарности условий. Расчет переменных процессов необходим для замены сложного нестационарного явления простым стационарным. При этом надо находить такие условия замены, при которых точность упрощенного расчета не выйдет за пределы допустимых погрешностей [10]. В связи с этим для инженерных расчетов значения R_n предлагается следующее условие: $R_n \geq R_0 + \epsilon R_0$, (6) где ϵR_0 – поправка, учитывающая нестационарность теплопередачи и инерционность конструкции.

Тепловая инерция также характеризует степень затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха и её влияние на амплитуду колебаний температуры воздуха внутри помещения: чем больше величина теплонакопительной способности ограждающей конструкции, тем менее значимо влияние колебания наружного воздуха. При медленном понижении температуры, до начала периода резкого похолодания, распределение температуры в ограждении в каждый момент времени практически соответствует стационарному. В период резкого похолодания в каждый момент времени распределение температуры заметно отличается от стационарного. Амплитуда изменения температуры на внутренней поверхности ограждения A_{te} будет отставать от изменений наружной амплитуды A_{tn} . Для стационарного режима теплопередачи отношение между амплитудами соответствует

$$A_{te} / A_{tn} = R_e / R_0. \quad (2)$$

В условиях нестационарной теплопередачи периода резкого похолодания, для ограждения определенной тепловой инерции выражение (2) записывается в виде

$$A_{te} / A_{tn} = R_e / \psi R_0, \quad (3)$$

откуда

$$\psi = v R_e / R_0, \quad (4)$$

где v – показатель сквозного затухания в ограждении разового отклонения A_{tn} температурной волны, зависящей от тепловой инерции конструкции; $v = A_{te} / A_{tn}$.

Результаты исследования и их обсуждение. Коэффициент теплоинерционности ограждающих конструкций зданий можно оценить экспериментально по результатам длительных натурных наблюдений, фиксирующих нестационарность теплопередачи с последующей статистической обработкой полученных данных по амплитудам колебаний температуры наружного воздуха и на внутренней поверхности ограждения. Нами предложена *методика ускоренного определения характеристик теплопередачи на моделях*, в которых менялись конструктивные характеристики утеплителя.

Для проведения эксперимента создана установка и модель трёхслойной стеновой конструкции (рисунок 1). Конструктивная система четырёх её боковых стенок следующая: картон 3 мм; пеноплекс 20 мм (плотность 35 кг/м³); пенополистирол 30 мм (плотность 35 кг/м³); панель ПВХ 10 мм (в которой воздушные каналы направлены вертикально); фольга. Основание установки: картон 3 мм; пеноплекс 20 мм (плотность 35 кг/м³); пенополистирол 30 мм (плотность 35 кг/м³); фольга. В середине основания установки расположена инфракрасная лампа.

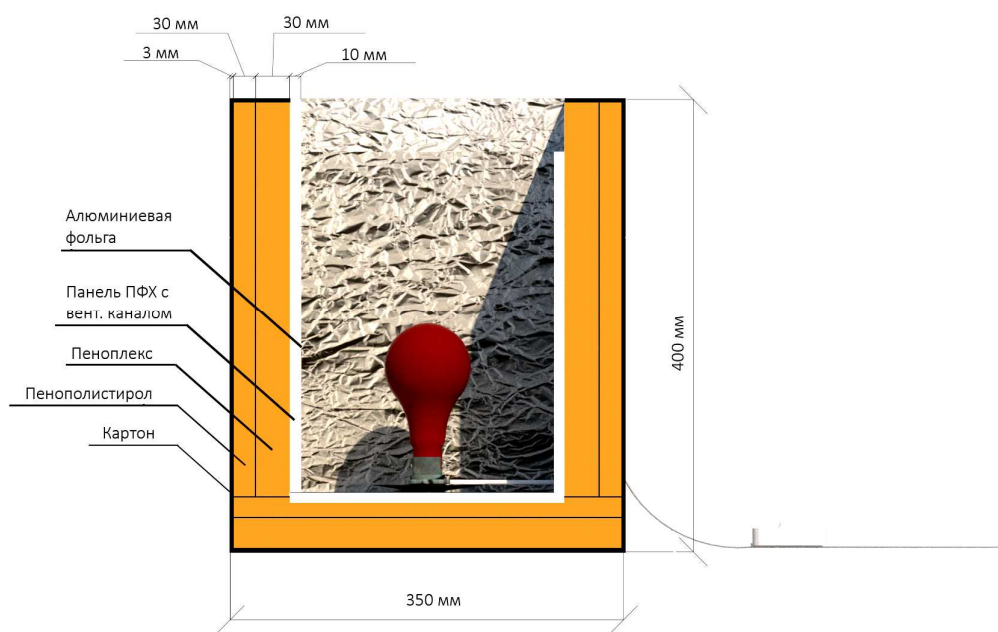


Рисунок 1. – Разрез установки

Таким образом, имея два вида утеплителя: трёхслойную стеновую панель и сочетание пеноплекса и пенополистирола, возможно с использованием созданной нами установки и модели стеновой конструкции выполнить сравнение теплоизоляционных показателей и выбрать наиболее оптимальный из них.

Модель состоит из двух сотобразных панелей (по 15 мм каждая), в которых вертикально расположенные воздушные каналы обернуты в фольгу и помещены в картонный короб (рисунок 2).

В основании короба расположены рёбра высотой 15 мм, которые образуют воздушные каналы.

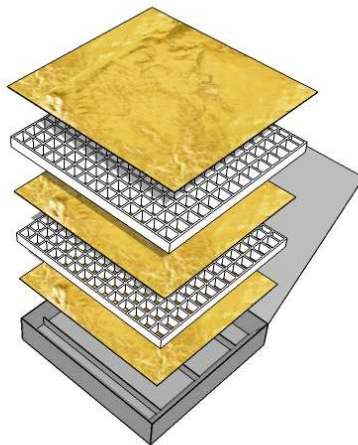


Рисунок 2. – Модель трёхслойной стеновой конструкции

Поместив модель в установку, на которой для измерения температуры утеплителя разместили четыре датчика (рисунок 3): датчик № 1 располагался на внешней стороне испытываемой модели; датчик № 2 – внутри боковой стенки на глубине 100 мм от верха стенки; датчик № 3 – на внешней стороне боковой стенки; датчик № 4 – на внутренней стенке установки.

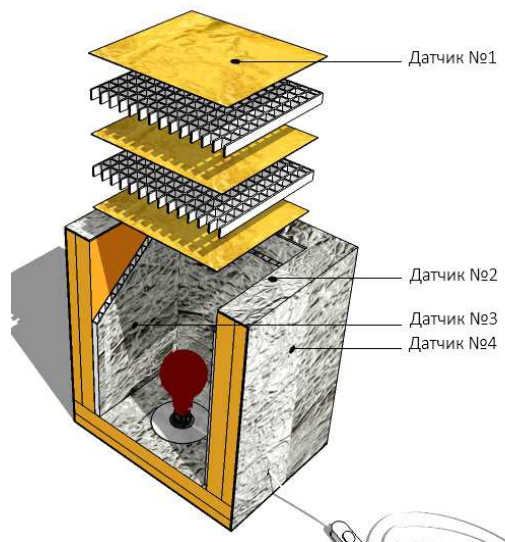


Рисунок 3. – Расположение датчиков

Для определения значений температуры использовалась система измерения физических величин PhyZModule (датчики B57164-K 222-J и B57164-K 103J). По достижении внутренним пространством температуры 60 °С снимались показания датчиков в течение 30 минут. Полученные результаты отображены на графике (рисунок 4).

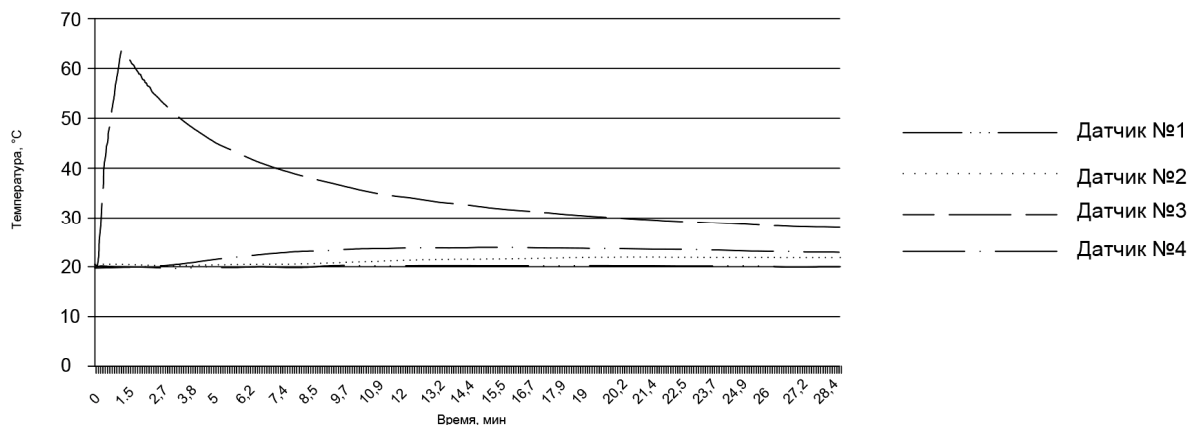


Рисунок 4. – Динамика изменения температуры

Из рисунка 4 видно, что тепло через модель уходит медленнее, чем через боковые стенки установки. Это можно объяснить тем, что большая часть тепла отражается от модели в замкнутое пространство установки.

Закключение. Представляется, что лучшим вариантом утеплителя, исходя из проведенного эксперимента, будет конструкция с применением алюминиевой фольги, уложенной в средней части ограждающей конструкции (алюминиевая фольга отражает до 97% лучистого теплового инфракрасного излучения). Такое решение требует комплексного подхода при устройстве отопления зданий, а именно применения высокотехнологичной и экономичной электрической лучистой системы (ПЛЭН) в виде устанавливаемой в потолке резистивной греющей (пожаробезопасной) алюминиевой фольги с минимальным расходом электроэнергии (КПД выше 95%, расход 10...20 Вт/ч на 1 м² общей площади). В этом случае имеет место равновесие излучаемого и отражаемого в наружных стенах и перекрытиях инфракрасного тепла. В результате можно отказаться от водяного отопления из-за большого расхода металла и значительных

теплопотерь в подающих уличных сетях, что также значительно улучшит комфорт проживания людей и дизайн интерьеров всех помещений, а главное позволит значительно снизить материалоемкость и сметную стоимость возводимых зданий. Кроме того, предлагаемая конструкция может быть задействована на вводимой белорусской АЭС, что позволит максимально использовать её мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будівельне матеріалознавство на транспорті : підручник для вузів / О.М. Пшінько [та ін.]. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
2. Кривенко, П.В. Будівельне матеріалознавство : підручник / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський. – К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 704 с.
3. Пшінько, А.Н. Модифицированный теплоизоляционный неорганический материал на основе алюмосиликатного сырья как альтернатива существующим утеплителям / А.Н. Пшінько, А.В. Краснюк, А.С. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Вып. 61. – Д. : ПГАСА, 2011. – С. 344–349.
4. Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник / Ю.Л. Бобров [и др.]. – М. : Инфра-М, 2003. – 265 с.
5. Основы энергоресурсосбережения в жилищной и коммунальной сфере / П.Г. Грабовый [и др.] ; под общ. ред. Л.Н. Чернышова. – Иркутск : Байкальский филиал «Сосновгеология» ФГУП «Урангеологоразведка», 2008. – 429 с.
6. Грызлов, В.С. Технично-економическая оценка повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе / В.С. Грызлов // Вестн. Череповец. гос. ун-та. – 2010. – № 3 (26). – С. 74–78.
7. W. Blasi. Bauphysik. Verlag Europa Lehrmittel. Nourney. Vollmer GmbH & Co. 2001. – 480 p.
8. Ливчак, В.И. Градусо-сутки отопительного периода как инструмент сравнения уровня энергоэффективности зданий в России и других странах / В.И. Ливчак // Энергосбережение. – 2015. – № 6. – С. 20–25.
9. Гагарин, В.Г., Чжоу Чжибо. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае / В.Г. Гагарин, Чжоу Чжибо // Жилищное строительство. – 2015. – № 7. – С. –18–22.
10. Матрюков, С.И. Оценка степени суровости климата Севера Евразии в зимний период / С.И. Матрюков, Н.В. Червякова // Навигация и гидрография. – 2014. – № 38. – С. 66–714.

Поступила 20.06.2019

INSULATION MATERIAL AND THEIR CONVECTIVE PROPERTIES

**D. SHABANOV, E. BRIANTSEV, A. YAGUBKIN,
I. KRUPENCHIK, S. ZMITROVICH**

The heat transfer resistance of building envelopes is considered as the main characteristic in their design, i.e. determining the thickness of the section, the choice of appropriate heat-insulating materials, their energy-saving and economic feasibility. It is shown that all measures for the insulation of external walls should be correlated with the limit values of specific lump-sum costs at which these measures pay off. Proposals are made to clarify the methodology for assigning standard values for heat transfer resistance recommended by ТКР 45-2.04-196-2010 "Thermal protection of buildings". The proposals are based on regulatory regional sanitary and hygienic requirements, which are a direct consequence of the theory of heat transfer and the characteristics of the thermal inertia of building envelopes.

Keywords: heat transfer resistance, specific lump sum costs, payback, thermal inertia.

УДК 699.822

**КОМПЛЕКС СОСТАВОВ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СТЫКА ТРУБ
СО СТЕНКОЙ ФУНДАМЕНТА**

канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ
(Полоцкий государственный университет);
В.И. БЕЛОШАПКА
(Нефтезаводмонтаж, Новополоцк)

В представляемой работе проанализированы герметизирующие материалы, применяемые для набивки сальника. Выбрана методика определения прочности и герметичности составов. Рассмотрена технология набивки сальника, а также приведены результаты испытаний набивного сальника на герметичность с использованием полномасштабной модели с диаметром основной трубы 57 мм. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использованные нами в качестве набивки материалы являются наилучшим решением обозначенной проблемы.

Ключевые слова: герметизирующие материалы, дефект, сальник, гильза, набивка, мастика, лента.

Дефекты сальника в сооружениях возникают в результате деформации их отдельных элементов. Основными дефектами являются протечки в местах соприкосновения деталей и составов, различных по свойствам и характеристикам используемых материалов, в примыканиях гильзы и стенки ограждающей конструкции. Причинами нарушения герметичности могут быть также производственно-технические и климатические факторы.

Для предотвращения попадания влаги внутрь сооружения используют специальные герметизирующие составы в сальниковой набивке. Материалы, используемые для герметизации стыков, должны обладать высокой эластичностью, необходимой прочностью на разрыв, хорошей адгезией, высокими прочностными и деформативными показателями, атмосферостойкостью, водо- и воздухонепроницаемостью, технологичностью и ремонтпригодностью. Для герметизации стыков используются мастичные, прокладочные и набивные ленточные составы. Герметичность проходки зависит от устройства из комплекса материалов водонепроницаемого слоя между гильзой и основной трубой.

Дефекты сальника в сооружениях возникают в результате деформации их отдельных элементов. Основными дефектами, как было сказано выше, являются протечки в местах соприкосновения деталей и составов, в примыканиях гильзы и стенки ограждающей конструкции. В результате протечек снижаются влагозащитные свойства ограждения, что влечет за собой либо снижение герметичности соединения, либо полное локальное разрушение данного узла с возможностью повреждений основной трубы. Переменные притоки грунтовых вод снижают прочностные качества ограждающих конструкций и узлов проходок, что приводит к уменьшению нормативного срока службы сооружения.

Для предотвращения этих нежелательных явлений используют специальные герметизирующие составы сальниковой набивки. Причинами нарушения герметичности являются производственно-технические и климатические условия [1]. Материалы, используемые для герметизации стыков, должны обладать высокой эластичностью, необходимой прочностью на разрыв, хорошей адгезией, высокими прочностными показателями, водо- и воздухонепроницаемостью, технологичностью и ремонтпригодностью. Для герметизации стыков используются мастичные, прокладочные и набивные ленточные составы.

Мастичные составы подразделяются на *самотвердеющие* и *нетвердеющие*. К самотвердеющим относятся мастики на основе тиоколов, кремнийорганических соединений и бутилкаучуков; к нетвердеющим – полимерные композиции [2].

Тиоколовые – вязкотекучие пастообразные мастики, состоящие из герметизирующих и вулканизирующих составов. После смешивания компонентов происходит необратимый процесс вулканизации и превращения пастообразной массы в резиноподобный материал, который будет повторять изменения размеров стыков, возникающие под воздействием колебаний и внешних сил. Тиоколовые мастики отличаются высокой деформативностью и прочностными свойствами: хорошей адгезией к бетону, атмосферостойкостью, воздухо- и водонепроницаемостью, технологичностью [3]. Недостаток тиоколовых герметиков – невозможность производства работ при отрицательной температуре наружного воздуха.

Эластосил представляет собой однокомпонентный пастообразный материал, способный переходить в резиноподобное состояние в результате взаимодействия с влагой. Хранят его в емкостях из влагонепроницаемых материалов (патронах, тубах и т.д.). Эластосил-11-06 может эксплуатироваться в интервале рабочей температуры –55...+200 °С [4].

Бутилкаучуковые составы – самовулканизирующиеся двухкомпонентные высоковязкие композиции. Выпускают герметики марок ЦПЛ-2, БГМ-1, БГМ-2, гермабутил-УМ и гермабутил-2М. Поставляют их в виде отдельно упакованных компонентов № 1 и № 2. Мастики гермабутил-УМ и гермабутил-2М – в парафиновых бочках вместимостью 20 кг. Расфасовывают в двух вариантах: оба компонента мастичные или один компонент мастичный, другой – в виде порошка. Герметики и праймер приготавливают смешиванием соответствующих компонентов в соотношении, указанном в паспорте [9].

Мастика тиоколосодержащая ЛТ-1 предназначена для герметизации стыков кирпичных, бетонных и других конструкций. Обладает высокими техническими характеристиками. Материал практически не поддаётся старению, стиранию, разрыву. Обладает высокой адгезией к металлу, бетону, кирпичу, дереву. Устойчив к ультрафиолетовому, а также кислотному (щелочи, растворители) воздействию. Получил широкое распространение в строительной сфере, на объектах повышенной опасности. Является двухкомпонентным материалом. Благодаря наличию тиокола в качестве основного компонента мастика имеет низкую проницаемость для газов. Рабочий интервал: от –60 до +70 °С [5].

Прокладочные материалы выпускают в виде полос и жгутов различных профилей и поперечного сечения, в основном используют в сальниках нажимного типа.

Пороизол – пористый, эластичный и долговечный материал. Производят его с незакрытыми порами на поверхности и с защитным поверхностным слоем (применяют без дополнительной обработки). При установке в шов герметик обжимают на 30...50% первоначального объема [6].

Гернит – пористый высокоэластичный прокладочный материал серо-коричневого цвета с воздухо- и водонепроницаемой пленкой на поверхности. Изготавливают его в виде жгутов диаметром 20, 40, 60 мм и длиной 3 м. Выпускают пористый гернит П и плотный гернит С, обладающий большей прочностью при растяжении и лучшими деформативными свойствами. Гернит более долговечен, чем пороизол, и обладает большим относительным удлинением [7].

Бентонитовый шнур – широко используемый сегодня для герметизации швов и не только благодаря своим отличным техническим характеристикам, но и надежной его защите различных строительных конструкций от воздействия грунтовых вод. Без этого прокладочного материала практически не обходятся работы по выполнению гидроизоляции коллекторов, насосных станций, резервуаров и др. Нередко именно бентонитовый шнур используется при уплотнении бетонных отверстий, предназначенных под укладку канализационных и водопроводных труб. Для его изготовления используется глина бентонитовая, а также невулканизированный полимер в виде бутилкаучука. Основная особенность бентонитового шнура в том, что при контакте с жидкостью он увеличивается в своих размерах, способствуя тем самым надежной гидроизоляции различных конструкций [8].

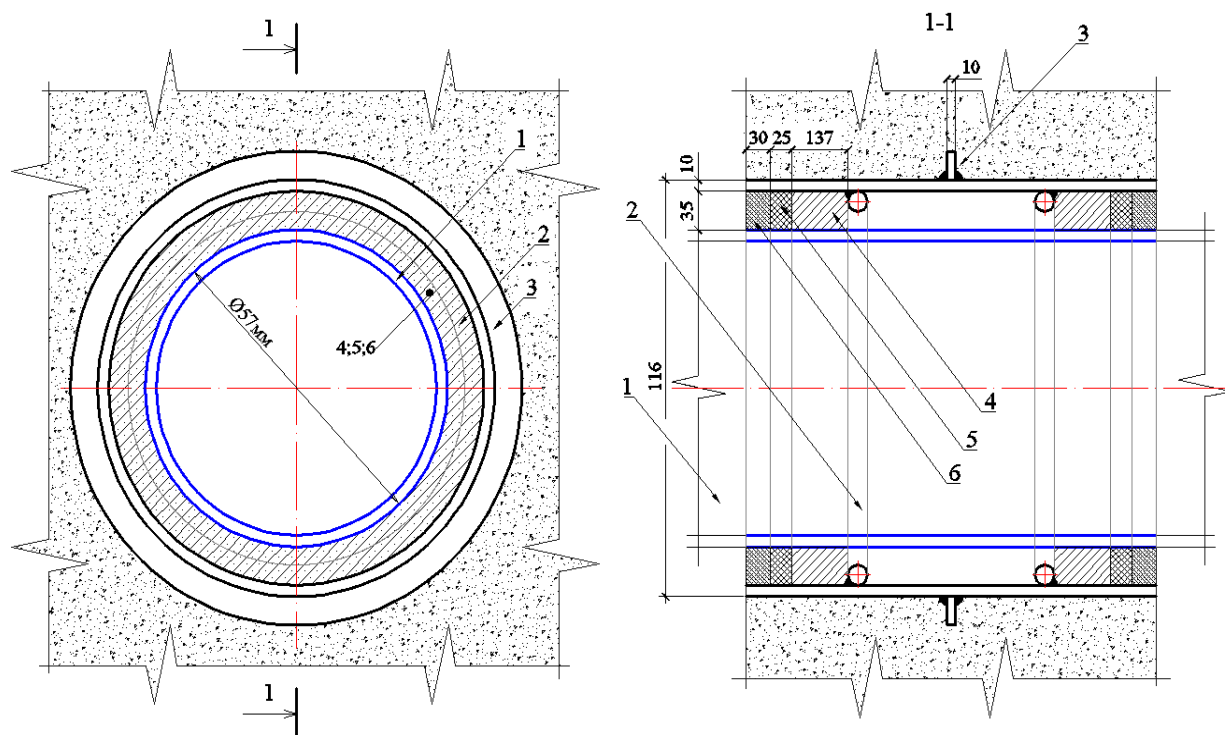
Лента «Герлен» представляет собой однородный эластичный материал, выполненный на основе синтетического каучука, смол, пластификаторов и наполнителей. Клеящая поверхность ленты изолирована защитной силиконовой бумагой. Ленту «Герлен» производят двух видов: дублированную нетканым материалом (Герлен Д) и недублированную (Герлен) [9]; выпускают полосами шириной 80...200 мм, длиной 12 м и толщиной 3 мм. Допускаемые отклонения, мм: по длине 10, по ширине 0,5, по толщине 0,3...0,5. В обозначении ленты после названия указывают ширину (герлен-100 – ширина ленты 100 мм). К недостаткам ленты следует отнести невозможность ее наклеивания при температуре наружного воздуха ниже 10 °С. Ленточные герметики не нашли широкого применения в устройстве сальниковой набивки, так как этот тип герметизирующего состава требует дополнительных работ для качественного герметичного стыка [10]. К преимуществам ленты следует отнести возможность герметизации стыков сложной конструктивной формы.

При устройстве стыка сальника используется несколько видов герметизирующих материалов – именно их работа в комплексе препятствует попаданию влаги за пределы ограждающей конструкции. Для моделирования стыка (рисунок 1) рассматривается набивка из просмоленной пеньковой пряди, мастика ЛТ-1, а также «Пенетрат Аква Стоп».

В настоящее время «Пенетрат» является последней разработкой в области герметизирующих составов. Применяется он как на открытом воздухе, так и во влажной среде, даже в тех случаях, когда обычные составы вымываются, а полимерные составы не дают прочного сцепления. Пенетрат – сверхбыстротвердеющий гидроизоляционный состав, способный остановить поток воды из трещин, свищей, швов и других отверстий в бетоне и камне. Водоостанавливающий гидроизоляционный состав «ГС Пенетрат Аква Стоп» разработан по ТУ ВУ 100926738.017-2011.

В отличие от аналогичных смесей белорусского и импортного производства, в состав которых входит обычный портландцемент и различные добавки, «Пенетрат Аква Стоп» создан на специальном цементе. Механизм работы материала основан на свойствах специальных цементов – быстро набирает прочность и увеличивается в объеме после контакта с водой.

Полученные ранее результаты в ходе научно-исследовательской работы по проверке максимальной прочности материалов на разрыв показали, что смесь «Пенетрат Аква Стоп» имеет преимущества перед асбестоцементом. В связи с этим возникло решение – изучить комплексную работу сальника с применением современного состава «Пенетрат Аква Стоп».



1 – основная труба диаметром 57 мм; 2 – упор; 3 – ребро; 4 – каболка водопроводная;
5 – гидроизоляционная смесь «Пенетрат Аква Стоп»; 6 – замазка из мастики ЛТ-1

Рисунок 1. – Устройство набивного сальника

Так как испытание сальника на герметичность проводится с несколькими герметизирующими материалами, соответственно, технология набивки будет иной. Набивка, зачеканка, замазка с использованием асбестоцементной смеси, мастики БН70/30 и просмоленной пеньковой пряди подробно описана в серии «5.900-2 Сальники набивные Ду 50...1400 мм для пропуска труб через стены».

Технология набивных сальников, предназначенных для пропуска металлических труб через стены сооружений в мокрых и сухих грунтах с применением смеси «Пенетрат Аква Стоп», мастикой ЛТ-1 и каболки водопроводной, следующая:

Зазор между пропускаемой трубой и корпусом сальника плотно набивается каболкой водопроводной (жгутовой) по ТУ-17 РСФСР 40-4266-91 с пропиткой по ГОСТ6617-76. Диаметр жгута должен быть больше величины зазора. Материал для заполнения должен быть сухой и не должен содержать костры и посторонних примесей. Вводимую в зазор каболку необходимо послойно уплотнять (конопатить) сильными ударами молотка, возможно применение пневматической трамбовки. Зачеканка производится сразу после заделки зазора каболкой. Гидроизоляционную смесь ГС «Пенетрат Аква Стоп» смешивают с водой. Смешивание производится только вручную, быстро и тщательно, до получения консистенции жесткого раствора из расчета 0,16...0,17 л воды на 1 кг сухой смеси. Не следует перемешивать слишком долго и приготавливать раствора больше, чем можно нанести за 1 минуту при 20 °С, так как одноминутный раствор сразу становится непригодным для использования. Повторно затворять водой не допускается.

Для замазки применяется мастика ЛТ-1 по ТУ РБ 100162417.016-2001 – двухкомпонентная тиолсодержащая. Перед применением отверждающая паста вводится в основную. Композиция перемешивается электродрелью с закрепленным на ней миксером в течение 5...6 минут до полного совмещения основной и отверждающей паст. Цвет мастики должен быть однородным, без разводов.

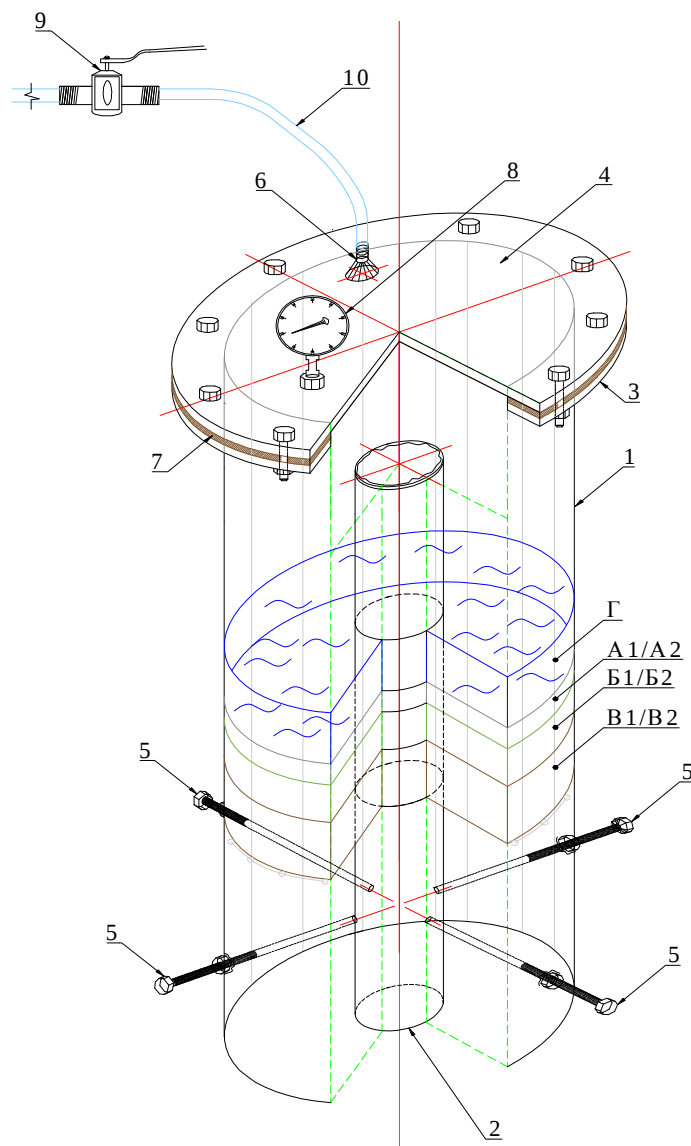
Приготовленная мастика жизнеспособна в течение продолжительного времени (2...24 ч при температуре 23 °С). В зазор мастику наносят вручную шпателем. Запрещается наносить мастику во влажных условиях, в частности при выпадении осадков.

Изучение комплексной работы набивки сальника невозможно произвести, имея лишь общие данные и характеристики каждого состава в отдельности. Так, для максимальной информативности опыта на герметичность сальника трубопровода с помощью программного комплекса AutoCAD разработана модель (рисунок 2) набивного сальника, соответствие которой реальному сальнику составляет 100%.

Очевидно, что точность решения в этом случае максимальна, а ущерб от применения модели минимален. Объект повторяется во всех своих деталях – фактически, создается точно такой же объект путем копирования его размерных характеристик, указанных в серии.

Для компоновки сальника использовались данные по серии «5.900-2» [1].

В качестве основной трубы выбран диаметр 50 мм, гильзы – 89 мм. Использование таких размеров деталей сальника удовлетворяет условиям проведения опыта с минимальными погрешностями.



- 1 – гильза; 2 – основная труба с герметичным оголовком; 3 – приварной фланец с элементами крепления;
 4 – крышка; 5 – элементы крепления основной трубы относительно центра гильзы; 6 – штуцер; 7 – прокладка;
 8 – манометр; 9 – запорная арматура подачи кислорода; 10 – шланг высокого давления;
 А1 – мастика БН70/30; А2 – мастика ЛТ-1; Б1 – асбестоцементная смесь; Б2 – смесь «Пенетрат Аква Стоп»;
 В1 – просмоленная пеньковая прядь; В2 – каболка водопроводная; Г – столб воды

Рисунок 2. – Модель набивного сальника

Набивка выполняется послойно через верхнюю крышку (4), закрепленную к гильзе через прокладку болтами М8; толщина слоев набивки составляет: А1/А2 = 30 мм; Б1/Б2 = 25 мм; В = 137 мм.

После того как набивка завершена, заливается водопроводная вода, соответствующая требованиям СТБ 1114-98; столб воды минимальный – порядка 20 мм, основное усилие на набивку будет воссоздаваться давлением кислорода, пошагового добавляемого в камеру.

В установке поочередно подвергалось испытанию 10 образцов, в 5-ти из которых используется набивка по серии, в остальных – набивка современных смесей, в частности «ПенетратАкваСтоп». Подъем давления деаэрированной воды производился ступенями по 0,2 атмосферы в течение 1...5 мин с выдержкой в течение одного часа на каждой ступени до давления, при котором появляются признаки фильтрации в виде отдельных капель.

При отсутствии филътрата в виде капель в течение 96 часов герметичность сальника дополнительно измеряется путем помещения сорбента в нижнюю камеру. Если сорбент не изменяет свою массу более чем на 2%, это говорит о том, что сальник полностью препятствует проникновению влаги в нижнюю камеру при воздействии на него столба воды под давлением. В ходе проведения лабораторных испытаний получены результаты, представленные в таблице.

Результаты испытаний сальников на герметичность

Наименование набивного сальника	Номер образца	Максимальное давление, воспринимаемое сальником		Среднее значение максимального давления воспринимаемого сальником (МПа)
		появление отдельных капель (МПа)	открытая течь, потеря давления в камере (МПа)	
Устройство сальника по серии «5.900-2»	1	0,745	0,78	0,775
	2	0,72	0,775	
	3	0,725	0,78	
	4	0,73	0,77	
	5	0,72	0,77	
Устройство сальника с применением герметизирующего состава «ПенетратАкваСтоп»	1	0,845	0,91	0,91
	2	0,83	0,9	
	3	0,835	0,905	
	4	0,84	0,915	
	5	0,85	0,92	

По результатам проделанной работы (см. таблицу) можно сделать вывод, что устройство сальниковой набивки с применением гидроизоляционной смеси «ПенетратАкваСтоп» не уступает набивному сальнику, выполненному по серии «5.900-2 Сальники набивные Ду 50...1400 мм для пропуска труб через стены» [1]. При небольшом отличии в максимальной нагрузке сальник с применением смеси «Пенетрат Аква Стоп» является также менее затратным и трудоемким в процессе его устройства.

Таким образом, в результате проведенных исследований с применением фактически полномасштабной модели, имеющей диаметр основной трубы 57 мм, определено, что устройство набивного сальника с применением гидроизоляционного состава «Пенетрат Аква Стоп» обеспечивает герметичность сальника при воздействии на него прямого столба воды.

Следует отметить, что выбранная методика определения прочности и герметичности составов не требует дополнительных многолетних и дорогостоящих исследований, что немаловажно для определения технически правильных решений такого рода узлов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использованные материалы в качестве набивки, зачеканки и замазки являются наиболее целесообразным решением по всем показателям по сравнению с серией «5.900-2». Следовательно, применение рассматриваемых материалов и технологии могут быть использованы промышленностью в целях улучшения качества, экономии энергии, а также уменьшения материальных ресурсов, затраченных на устройство проходки трубопровода через стенку фундаментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубы металлические и соединительные части к ним. Ч. 4. Трубы из черных металлов и сплавов литые и соединительные части к ним. Основные размеры. Методы технологических испытаний труб : сборник. – М., 2010. – 239 с.

2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mirznani.com/a/320247/materialy-dlya-germetizatsii-stykov>. – Дата доступа: 29.08.2018
3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bestreferat.ru/referat-57776.html>. – Дата доступа: 29.08.2018.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lavandamd.ru/index.php?option=com_content&view=article&catid=113:2011-03-10-14-04-04&id=30626:2010-03-15-19-22-33. – Дата доступа: 29.08.2018.
5. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://slavbelstroy.by/category/germetiki-i-mastiki/tiokolovye/mastika-tiokolovaya-lt-1>. – Дата доступа 29.08.2018.
6. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://agpipe.ru/articles/lineinoe_rasshirenie_trub. – Дата доступа: 08.02.2019.
7. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ronl.ru/referaty/tehnologiya/206243/>. – Дата доступа: 29.08.2018.
8. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://samastroyka.ru/bentonitovyj-shnur-vidy-primenenie.html>. – Дата доступа: 29.08.2018.
9. Системы внутренней канализации зданий. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.01-54-2007 (02250). – М., 2008.
10. Системы внутреннего водоснабжения зданий : ТКП 45-4.01-52-2007 (02250). Строительные нормы проектирования. – М., 2008.

Поступила 07.06.2019

COMPLEX OF COMPOSITIONS FOR SEALING THE JOINT OF PIPES WITH THE WALL OF THE FOUNDATION

A. SHVEDOV, V. BELOSHAPKA

In the presented work, the sealing materials used for packing the oil seal are analyzed. The method of determining the strength and tightness of the compositions was chosen. The technology of the stuffing box as well as the results of tests printed seal for leaks using a full-scale model with a diameter of the main pipe 57 mm the Obtained results indicate that we used as the packing materials are the best solution to these problems.

Keywords: *sealing materials, defect, oil seal, sleeve, packing, mastic, tape.*

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 69.059

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УСТРОЙСТВУ ОГОЛОВКОВ КОНСТРУКЦИИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

канд. техн. наук, доц. **И.Л. ОПАНАСЮК; С.В. ДАНИЛОВ**
(Белорусско-Российский университет, Могилев)

Рассматривается эффективность усиления железобетонных колонн, зависящая не только от технико-экономических показателей способа усиления и принятых организационно-технологических решений, но и от эффективности совместной работы конструкции усиливаемой колонны и элементов усиления. Выполнен анализ технико-экономических показателей железобетонных колонн, усиленных стальной облоймой с обетонированием, и распределения трудоемкости производства бетонных работ по высоте усиливаемой колонны. Обоснованы рациональные технические решения по устройству оголовка конструкции усиления железобетонных колонн. Теоретически и экспериментально обоснованы конструктивно-технологические решения, обеспечивающие включение в совместную работу элементов усиления и восстанавливаемых железобетонных колонн, что обеспечивает увеличение несущей способности колонн, а следовательно, повышает надежность и безопасность эксплуатации восстанавливаемых строительных конструкций несущих каркасов зданий и сооружений.

Ключевые слова: восстановление железобетонной колонны стальной облоймой с обетонированием; технические решения формирования оголовка усиления железобетонной колонны; способы нагружения и включения в совместную работу.

Введение. Железобетонные колонны, являясь конструктивными элементами каркасов зданий и сооружений, относятся к элементам первой степени ответственности, снижение эксплуатационных качеств которых может привести к полному или ограниченному отказу работы несущих конструкций.

Техническое состояние железобетонных колонн определяется их соответствием показателям качества, предъявляемым при проектировании, изготовлении, монтаже и их эксплуатации. Если хотя бы один из показателей качества вышел за предельное значение или не выполняется одно из требований нормативной документации, значит, железобетонная колонна имеет дефект.

Анализ дефектов, присущих железобетонным колоннам, показал, что все они в той или иной степени влияют на снижение несущей способности железобетонных колонн. В соответствии с существующей методикой [1] оценку технического состояния железобетонных колонн производят по пяти категориям технического состояния. В зависимости от категории технического состояния назначают соответствующие мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн. Наиболее сложными и трудоемкими в исполнении являются технические решения по восстановлению железобетонных колонн, относящихся к IV категории технического состояния, характеризующейся многочисленными значительными дефектами (таблица 1).

Таблица 1. – Мероприятия по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн

Категория технического состояния железобетонных колонн	Характерные дефекты и повреждения	Мероприятие по восстановлению эксплуатационных качеств железобетонных колонн
1	2	3
I – исправное (хорошее) состояние. Дефекты устраняются в процессе технического обслуживания	Единичные малозначительные дефекты, не снижающие несущую способность и долговечность колонны	Покрытие защитными составами во время технического обслуживания колонн
II – работоспособное (удовлетворительное) состояние. Дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта	Единичные или многочисленные малозначительные дефекты, существенно не снижающие несущую способность и долговечность колонны	Затирка трещин ремонтными составами, восстановление защитного слоя бетона во время текущего ремонта колонн
III – ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) состояние. Дефекты устраняются в процессе ремонта и усиления	Многочисленные малозначительные или единичные значительные дефекты. Несущая способность и долговечность существенно снижены	Ремонт с удалением поврежденного бетона, исправление поврежденной арматуры, бетонирование сколов, инъектирование трещин, усиление поврежденных участков колонн

Окончание таблицы 1

1	2	3
IV – неработоспособное (неудовлетворительное) состояние. Дефекты устраняются в процессе капитального ремонта и усиления посредством увеличения поперечного сечения с предварительной разгрузкой	Многочисленные значительные или единичные, многочисленные критические дефекты	Усиления с увеличением поперечного сечения на всю высоту колонн путем устройства железобетонных обойм, односторонних и двухсторонних наращиваний, стальных обойм и стальных обойм с обетонированием
V – предельное (предаварийное) состояние. Требуется вывод людей из опасной зоны, срочная разгрузка колонн и устройство временных креплений с последующей разборкой и заменой	Массовые значительные или многочисленные, массовые критические дефекты	В отдельных случаях применяют технические решения, характерные для IV категории технического состояния, либо разборку и замену конструкции колонны

Основная часть. Практика восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн, относящихся к IV категории технического состояния, показывает, что наиболее часто для этих целей применяют такие способы усиления, как: устройство железобетонных обойм и рубашек; одностороннее и двухстороннее наращивание сечения колонны; усиление стальными обоймами без обетонирования и с обетонированием, характеризующимися различными по величине технико-экономическими показателями.

Выполненная аналитически-расчетным методом оценка приведенных технических решений по трудоемкости производства работ и прямым затратам, в основу которых заложены нормативные данные ресурсно-сметных норм и затрат труда, показала незначительный разброс их технико-экономических показателей, не определяющих приоритетность рассматриваемых вариантов восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн [2].

Важнейшими принципами оценки проектных решений являются комплексный подход к анализу оценочных показателей и системный подход к выбору рациональных решений [3]. Комплексный подход предполагает учет в процессе оценки всей совокупности оценочных показателей, значимо влияющих на эффективность принимаемых решений. В связи с этим выполнена многокритериальная оценка и технико-экономическое обоснование наиболее эффективного способа восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн с использованием метода выбора множества недоминируемых вариантов [3].

Данный метод позволяет учитывать: разноразмерные показатели эффективности (стоимость, материалоемкость, продолжительность, трудоемкость производства работ и другие показатели); существующие временные и пространственные ограничения (сжатые сроки, стесненные условия производства работ); позволяет оптимизировать методы, минимизировать технологические расчеты с помощью ЭВМ и обосновать наиболее рациональный вариант восстановления эксплуатационных качеств железобетонных колонн.

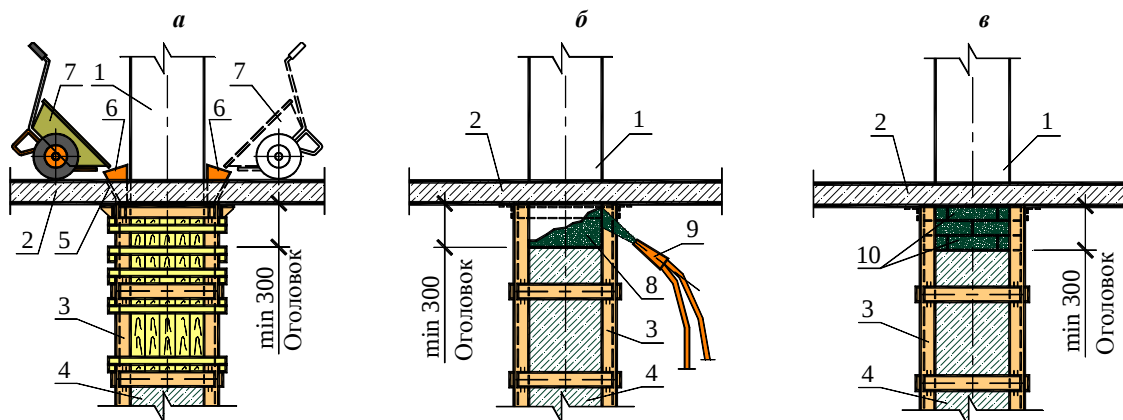
Метод выбора множества недоминируемых вариантов реализуется в несколько этапов:

- составление исходной матрицы принятия решения;
- составление нормализованной матрицы принятия решения;
- определение взвешенной матрицы;
- определение множества согласия и несогласия;
- определение матриц согласия и несогласия; определение доминирующих матриц согласия и несогласия;
- определение агрегированной матрицы доминирования; удаление менее предпочтительных вариантов.

Полученные результаты исследований показали, что наиболее эффективным является способ восстановления железобетонных колонн стальной обоймой с обетонированием [2]. В то же время при реализации этого способа на завершающем этапе существует ряд неисследованных конструктивных и организационно-технологических решений по устройству оголовка конструкции усиления. Сложности устройства оголовка при усилении колонн стальной обоймой с обетонированием связаны со сложностью укладки в него бетонной смеси.

Техническая реализация формирования оголовка усиления железобетонной колонны зависит от конструктивного решения сопряжения колонны с перекрытием, которое может быть плоским либо балочным. Наиболее технически сложно выполнить формирование оголовка усиления стальной обоймой с обетонированием при сопряжении железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием (покрытием). Исследования по формированию оголовка конструкции усиления выполнены для трех вариантов производства работ, таких как:

- устройство бетонного оголовка с подачей бетонной смеси через технологические отверстия в перекрытии (рисунок 1, а);
- торкретирование оголовка высокопрочными растворными смесями (рисунок 1, б);
- устройство оголовка из мелкозернистых бетонных камней (рисунок 1, в).



а – устройство бетонного оголовка с подачей бетонной смеси через технологические отверстия;
б – устройство оголовка торкретированием высокопрочными растворными смесями;
в – устройство оголовка с использованием мелкозернистых бетонных камней;
 1 – усиливаемая колонна; 2 – безбалочное плоское перекрытие; 3 – стальная обойма; 4 – бетон усиления;
 5 – технологическое отверстие; 6 – распределительная воронка; 7 – тележка; 8 – торкрет-бетон;
 9 – сопло торкрет-установки; 10 – мелкозернистые бетонные камни на растворе с расширяющимся цементом

Рисунок 1. – Технические решения по устройству оголовка конструкции усиления железобетонной колонны при сопряжении ее с безбалочным плоским перекрытием (покрытием)

Для определения наиболее рационального технического решения по формированию оголовка усиливаемой железобетонной колонны определены затраты труда на производство работ при их усилении посредством устройства стальной обоймы с обетонированием. В качестве примера принята железобетонная колонна сечением 400×400 мм, высотой 3,6 м и сопряжением с безбалочным плоским перекрытием.

В калькуляцию затрат труда включены следующие работы: установка, переустановка и разборка инвентарных подмостей; установка и разборка щитовой опалубки; приготовление, подача и поярусная укладка бетонной смеси в опалубку, а также работы, связанные с формированием оголовка колонны. Работы по высоте разбиты на три яруса. Высота каждого яруса составляет 1,2 м. Для каждого яруса определены трудозатраты производства работ (рисунок 2).

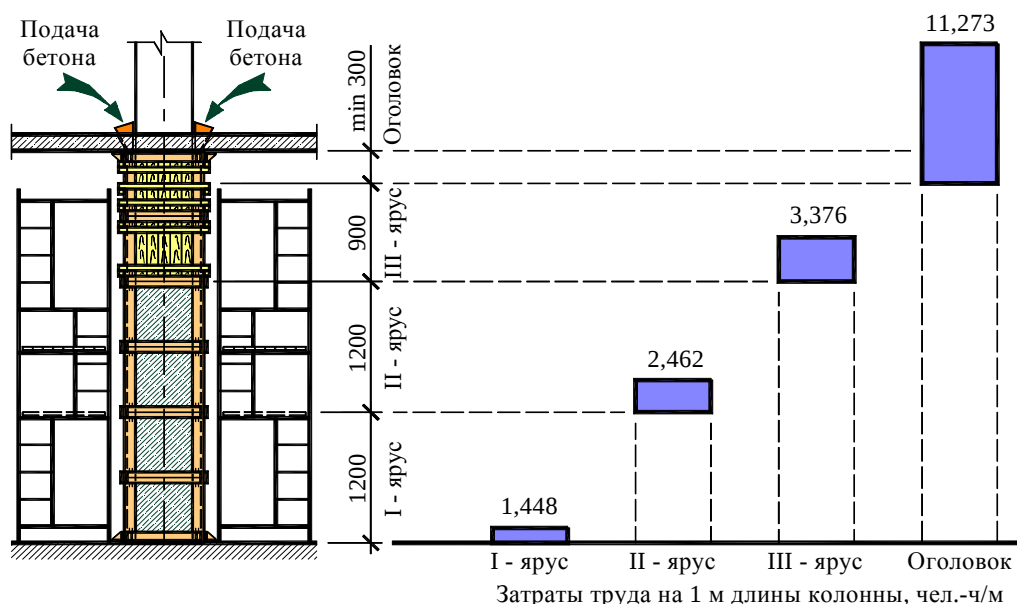
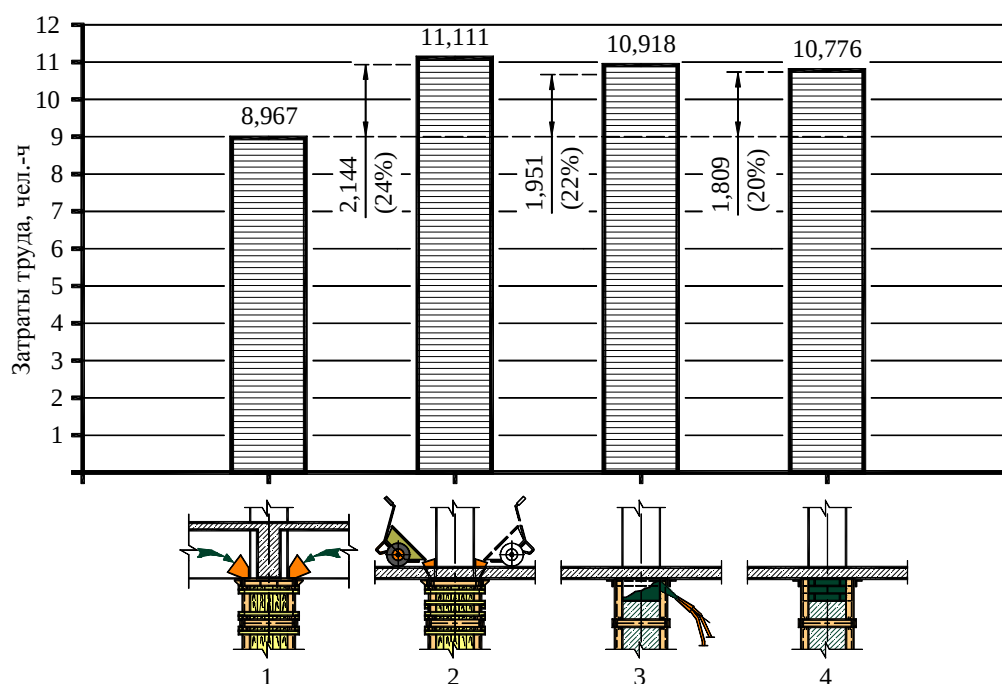


Рисунок 2. – Распределение затрат труда на производство работ с устройством бетонного оголовка и подачей бетонной смеси через технологические отверстия

На третьем ярусе отдельно выделен верхний участок – оголовек колонны, высотой не менее 300 мм. Для этого участка отдельно определены трудозатраты по устройству опалубки, укладке бетонной смеси, торкретированию высокопрочными растворными смесями, а также устройство оголовка из мелкозернистых бетонных камней с использованием раствора на расширяющемся цементе.

Как видно из гистограмм, приведенных на рисунке 2, распределение трудовых затрат по ярусам производства работ неравномерно. Увеличение затрат труда на II и III ярусах при одинаковых объемах работ происходит из-за необходимости подачи применяемых материалов на значительную высоту. При устройстве оголовка конструкции усиления при сопряжении усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием значительное увеличение затрат труда связано с ограниченным доступом к месту производства работ, сложностью подачи и укладки бетонной смеси. Дополнительные затраты при устройстве бетонного оголовка также связаны с устройством и заделкой технологических отверстий для подачи и укладки бетонной смеси и малыми объемами опалубочных работ. Трудоемкость устройства бетонного оголовка усиления колонны, приведенная к одному метру длины колонны, в 3...5 раз больше трудоемкости поярусной укладки бетонной смеси в конструкцию усиления.

При применении способа торкретирования оголовка высокопрочными растворными смесями и устройстве оголовка из мелкоразмерных бетонных камней необходимость устройства технологических отверстий отпадает. При этом затраты труда на устройство оголовков данными способами ниже устройства бетонного оголовка (рисунок 3).



Технические решения формирования оголовка конструкции усиления колонны

- 1 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с балочным перекрытием через проемы в верхней части опалубки; 2 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с безбалочным плоским перекрытием через технологические отверстия;
3 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с безбалочным плоским перекрытием способом торкретирования; 4 – устройство оголовка конструкции усиления колонны с безбалочным плоским перекрытием с использованием мелкоразмерных бетонных камней

Рисунок 3. – Затраты труда на устройство оголовков усиливаемых колонн при различных их сопряжениях с перекрытием

Затраты труда на устройство оголовка конструкции усиления через технологические отверстия в перекрытии при сопряжении усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием составляют 11,111 чел.-ч, что на 24% больше по сравнению с аналогичным усилением железобетонной колонны при сопряжении ее с балочным перекрытием (см. рисунок 3).

При устройстве оголовка способом торкретирования высокопрочными растворными смесями с сопряжением усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием затраты труда составляют 10,918 чел.-ч, что на 22% больше по сравнению с аналогичным усилением железобетонной колонны при сопряжении ее с балочным перекрытием (см. рисунок 3).

Затраты труда при устройстве оголовка усиливаемой колонны с использованием мелкоразмерных бетонных камней с ее сопряжением с безбалочным плоским перекрытием составляют 10,776 чел.-ч, что на 20% больше по сравнению с аналогичным усилением железобетонной колонны при сопряжении ее с балочным перекрытием (см. рисунок 3).

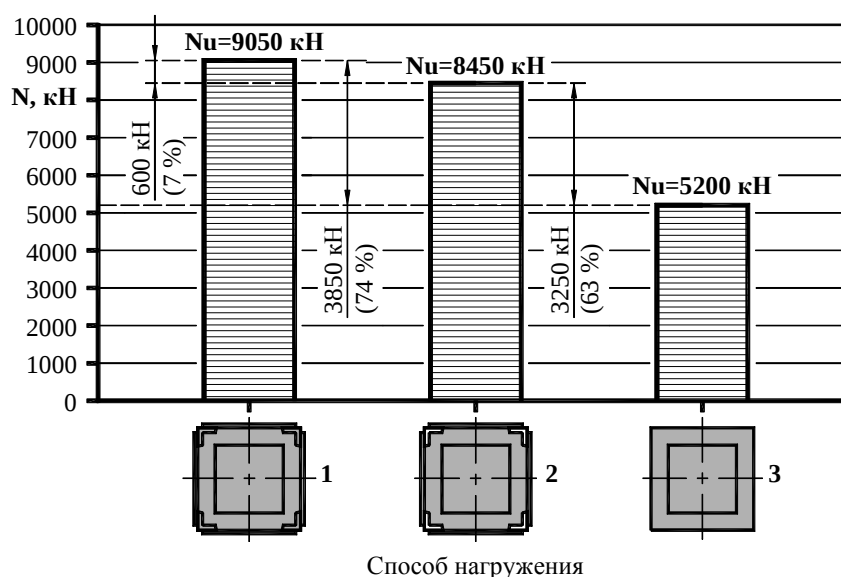
Из приведенного выше анализа следует, что при сопряжении усиливаемой железобетонной колонны с безбалочным плоским перекрытием наиболее рациональным и перспективным из рассматриваемых технических решений является формирование оголовка конструкции усиления бетонными вкладышами. При таком решении затраты труда на 2...4% ниже рассматриваемых способов.

Учитывая значительную трудоемкость и сложность устройства оголовка усиления колонны, становится очевидным, что при определенных условиях (неразрушенной верхней части железобетонной колонны) усиление стальной обоймой с обетонированием может быть выполнено без формирования оголовка [4].

При наличии оголовка конструкции усиления нагрузка на усиливаемую железобетонную колонну может передаваться по всему сечению усиления или на бетонное ядро, а при его отсутствии – только на сечение усиливаемой колонны [5; 6].

С целью обоснования необходимости устройства оголовка проведены теоретические и экспериментальные исследования несущей способности железобетонных колонн, усиленных стальной обоймой с обетонированием при различных способах их нагружения.

Теоретические исследования выполнены с использованием метода конечных элементов, позволяющего учесть конструктивно-технологические особенности и характер взаимодействия элементов усиления и усиливаемой колонны. Исследования проводились для усиливаемых моделей колонн сечением 400×400 мм и высотой 3,6 м. Результаты теоретических исследований моделей усиливаемых железобетонных колонн приведены на рисунке 4.



1 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием, по всему сечению оголовка; 2 – при нагружении модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием, на бетонное ядро оголовка; 3 – при нагружении модели железобетонной колонны без оголовка

Рисунок 4. – Результаты теоретических исследований по определению несущей способности моделей усиливаемых железобетонных колонн

Анализ полученных результатов показал, что наибольшей несущей способностью обладает модель железобетонной колонны, усиленная стальной обоймой с обетонированием при передаче нагрузки по всему сечению (рисунок 4) – первый способ нагружения. При таком нагружении предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 9050 кН, что на 7% больше, чем при передаче нагрузки на бетонное ядро исследуемой модели колонны (второй способ нагружения), и на 74% выше по сравнению с моделью железобетонной колонны без оголовка (рисунок 4).

Исследования модели железобетонной колонны, усиленной стальной обоймой с обетонированием при передаче нагрузки только на бетонное ядро (второй способ нагружения), позволили установить следующее: предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 8450 кН, что на 63% больше, чем при нагружении модели железобетонной колонны без оголовка (рисунок 4). При нагружении модели железобетонной колонны без оголовка предельное напряженно-деформированное состояние наступает при достижении нагрузки 5200 кН (см. рисунок 4).

Для подтверждения теоретических изысканий проведены экспериментальные исследования по определению несущей способности опытных образцов колонн при тех же схемах нагружения, данные которых подтвердили результаты теоретических исследований. Экспериментальные исследования выпол-

нялись на 16 опытных образцах колонн сечением 100×100 мм и высотой 600 мм, усиленных стальной обоймой, и на 8 опытных контрольных образцах без усиления.

Закключение. На основании результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено рациональное конструкторское решение по устройству оголовков конструкции усиления железобетонных колонн, доказана необходимость их устройства, несмотря на трудоемкость и сложность формирования. Наиболее эффективным способом нагружения служит приложение нагрузки по всему сечению усиливаемой колонны – одновременно на бетонное ядро и стальную обойму усиления, что позволяет на 7% и более повысить несущую способность железобетонных колонн, усиленных стальной обоймой с обетонированием, по сравнению с нагружением только на бетонное ядро. В целом, усиление железобетонных колонн стальной обоймой с обетонированием позволяет повысить их несущую способность на 70...80%.

Таким образом, включение в совместную работу с колонной всех элементов усиления обеспечивает максимальную несущую способность и требуемые эксплуатационные показатели качества восстанавливаемых железобетонных колонн.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что для технико-экономического обоснования способов восстановления железобетонных колонн и других конструктивных элементов зданий и сооружений рационально применять многокритериальную оценку вариантов производства работ с использованием метода выбора множества недоминируемых вариантов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования : ТКП 45-1.04-305-2016 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 107 с.
2. Опанасюк, И.Л. Исследование способов усиления железобетонных колонн с использованием многокритериального анализа оценочных показателей / И.Л. Опанасюк, С.В. Данилов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 157–163.
3. Завадскас, Э.-К.К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства / Э.-К.К. Завадскас. – Л. : Стройиздат, 1991. – 254 с.
4. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М. : Стройиздат, 1991. – 184 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции (с изм.) : СНБ 5.03.01-02 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2003. – 144 с.
6. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений. Основные требования : ТКП 45-1.03-314-2018 ; МАиС Респ. Беларусь. – Минск, 2018. – 123 с.

Поступила 01.03.2019

THE TECHNICAL SOLUTIONS OF THE DEVICE OF HEADROOM DESIGN STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS

I. OPANASYUK, S. DANILOV

The effectiveness of reinforced concrete columns strengthening depends not only on the technical and economic indicators of the method of strengthening and the adopted organizational and technological solutions, but also on the efficiency of joint work of the reinforced column construction and strengthening elements. The analysis of technical and economic indicators of reinforced concrete columns reinforced with a steel cage with concrete and the distribution of the labor intensity of concrete work on the height of the reinforced column was performed. Explain rational technical solutions for the device tip design of strengthening reinforced concrete columns. Theoretically and experimentally justified design and technological solutions to ensure the inclusion in the joint work of reinforcement elements and recoverable reinforced concrete columns, which provides an increase in the bearing capacity of columns by 7% or more, and as a result increases the reliability and safety of operation of the restored building structures bearing frames of buildings and structures.

Keywords: restoration of reinforced concrete columns with steel form; betonyrovaly-going technical solutions for the formation of the head of strengthening reinforced concrete columns; methods of loading and inclusion in collaborative work.

UDC 699.822

APPLICATION OF STUFFING BOXES AND SLEEVES FOR THE PASSAGE OF PIPELINES THROUGH THE WALLS OF FOUNDATIONS

PHD, associate professor A. SHVEDOV
(Polotsk state university);
V. BELOSHAPKA
(Neftezavodmontazh, Novopolotsk)

The article analyzes the existing options for pipe penetration through the foundation or basement wall. The main methods of the setting joints using sleeves and stuffing boxes are considered. The main advantages and disadvantages of each technology used are highlighted.

Keywords: pipeline, glands, nodes, tightness, efficiency, sleeve.

The technology of setting a passage for a pipeline through a wall depends on the materials used and the type of structure. An incorrect executed pipeline assembly, is a potential hazard of accidents leading to losses. When laying a pipeline during the construction of various structures, the passage of pipes through walls is set by using sleeves and stuffing boxes. This part prevents the penetration of moisture into the structure. At the moment, the use of stuffing boxes and sleeves is in the first place for constructing a sealed joint. The setup of stuffing boxes and sleeves are quite reliable and fully comply with the requirements for them. On the other hand, it can be said that these two methods, despite their cost, are quite laborious, in addition to this, the probability of poor-quality installation of the node itself is high.

During the installation of such joints, a layer-by-layer filling of a seam with special compositions is used, which in turn prevents the ingress of moisture. The gaps that remain between the passable pipes and the bodies of the installed stuffing boxes in the future must be tightly packed. The thickness of the previously received packing should exceed the size of the gap. Packing material should be compacted layer by layer by strong blows of the hammer on the caulk or with the help of pneumatic tools. To a crucial degree, the functionality and efficiency of the packing is determined by the material properties of the packing itself. To ensure the efficient operation of the packing seals, they need to be given a whole range of qualities, the most important of which, along with the lowest possible friction coefficient, is resistance to various influences. The chemical resistance to compacted fluids, thermal resistance to high and low temperatures, mechanical resistance to wear and other mechanical stresses. The easiest way to protect the pipeline from transferring the load of walls and foundations, is to use a "sleeve" (Figure 1).

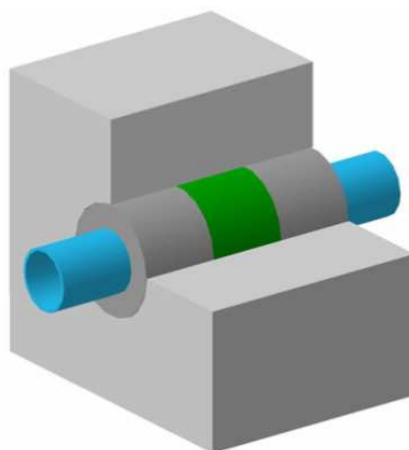


Figure 1. – A joint using a metal sleeve

Most often, the sleeve is a piece of pipe having a larger diameter than the diameter of the pipeline being passed through the wall, sometimes with additional reinforcement elements. This type is used in cases where the probability of deformation of the hole or displacement of the wall or ceiling is sufficiently small. In most cases, when using sleeves, a packing is used that fills the free space between the outer surface of the pipeline and the inner surface of the sleeve itself. A sleeve for the pipeline is a main element. This applies to communications of various facilities – residential, offices or industrial. The item performs a number of functions: mechanical, protective, waterproofing, fire-resisting, sanitary, and also increases the service life of pipelines and facilitates their replacement.

The appliance of sleeves for the pipeline depends on its type: cold and hot water supply; drainage system; heat conduit.

The reasons for using cases (sleeves) when laying main lines through “barriers”:

- the mobility and sensitivity of the direct sections of the compound to temperature extremes;
- the sleeve will protect the structure from seasonal or due to increased strain deformation;
- hypothetical need for the repair, dismantling or replacement of a fragment of the main line; the sleeve allows to carry out these manipulations without destroying the building elements [1].

The main advantages of sleeves:

- speed of installation and cheapness of this node;
- element maintains its integrity when exposed to dynamic loads;
- high degree of protection of the main pipe from various kinds of defects.

Among the disadvantages are such points as:

- the complexity of sealing the joint between the pipe and the sleeve;
- high probability of moisture penetration when working in moisture-saturated soils.

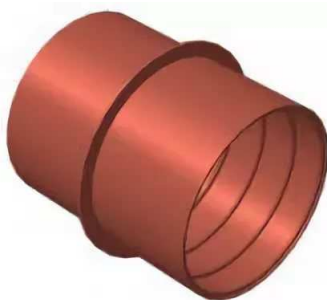


Figure 2. – Stuffing box

The next type, the stuffing box – stuffed (Figure 2). It has a more complex structure compared to the sleeve. Unlike a sleeve, a stuffing box always has reinforcement elements – this is the outer ring and the inner ribs. Stuffed glands are designed to pass metal pipes through the walls of water supply and sewage facilities in wet and dry soils. Stuffing boxes can be used with a pressure drop on it of not more than 0.1 MPa (10 m of column water), a temperature not higher than +50 ° C in non-aggressive media [2].

The outer ring is used to secure the gland in the wall and prevent its displacement. Internal ribs play a dual role: first, they are additional stiffening ribs, and secondly they keep the stuffing box.

The presence of internal ribs in the stuffing box allows you to tamp the packing more tightly, which reduces the permeability of the whole structure, and, accordingly, reduces the likelihood of moisture inside the room.

The advantages include:

- high tightness of this joint with moisture saturated soils;
- reliable fixation of the gland in the design.

The main disadvantages are:

- the need to use a special technology of stuffing the joint;
- the cost of this gland is much higher than the liner.

The most complex design has – pressure gland (Figure 3). A product of this type is a double case (rather than a single case, like a sleeve or a stuffed box gland). Both the one and the second housing of the

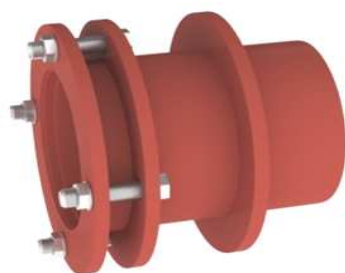


Figure 3. – Pressure stuffing box

pressure gland have welded flanges with matching holes on one side. Such design features, allow even more dense pressing of the stuffing box and, accordingly, almost completely exclude moisture from the external soil through the structure into the room. To facilitate the installation of the inner part of the housing pressure gland often made split, that is, with a cut along the body [3].

Pressure seals are presented in a fairly extensive model range with different diameters and lengths. These are such products for pipeline installation as special metal sealing devices, due to which it is possible to pass sewage, water and sewer pipes easily and quickly through absolutely any structures in wet and dry soils.

Pressure seals of various series are able to withstand increased loads, to work for a long time without failing, ensuring the normal functioning of the pipeline.

At the same time, the glands withstand pressure drops of 0.1...5 MPa, as well as temperatures from –50 to +400 degrees [4].

The advantages include:

- high tightness when exposed to groundwater, and other unfavorable factors;
- extensive range.

The main disadvantages are:

- high price category;
- the design is not complete, consists of numerous details.

A gas-tight seal is used for individual structures. The installation site of the gas-tight gland is the foundation (with minor axial movements). Structurally, the gland is made on the basis of the gland compensator series 4.903-10 issue 7, with a modified length of the body (adjusted depending on the wall thickness) and the replacement of the internal pipe by the heating main pipe. An anti-corrosion coating is applied on the gas-tight seal T1 outside and inside (with BT-177 paint in two layers on the primer GF-020). The price of the gas-tight seal is formed depending on the model chosen, as well as the conditional diameter of the product and the material of execution [5].

The advantages include:

- high tightness in liquid and gaseous media;
- extensive range.

The main disadvantages are:

- high price;
- the design is not complete, consists of numerous details;
- the need to comply with high accuracy when installing the gland in the design.

The analysis of the options of sleeves and stuffing boxes for passing pipes through the foundation showed that the main point is the sealing of this site. The use of various structural models is not advisable without the use of modern sealing materials, which play an important role in preserving the integrity of the pipe and protecting the ingress of moisture into the interior of the structure. At the moment, with the appearance on the market of the newest sealing compounds, the technology for stuffing such joints is very outdated, and requires consideration of this issue from another side.

REFERENCES

1. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://trubsovet.ru/rem/proxod-truboprovoda-cherez-stenu.html>. – Дата доступа: 29.08.2018.
2. Серия 5.900-2 Сальники набивные Ду 50...1400 для пропуска труб через стены. Рабочие чертежи. Лист 3 : Разработка ОАО «Проектный ин-т Союзводоканалпроект» (Москва) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: svkr.ru. – Дата доступа: 29.08.2018.
3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://sankt-peterburg.zavodtm.ru/stati/salniki-dlya-trub-i-truboprovodov-osnovnye-tipy/>. – Дата доступа: 29.08.2018.
4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.center-mts.ru/tehnicheskie-statii/nazhimnye-salniki-konstruktsiya-naznachenie-preimushchestva/>. – Дата доступа: 29.08.2018.
5. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://sankt-peterburg.zavodtm.ru/produkcija/zakladnye-detali/gazonepronicaemyj-salnik-t1>. – Дата доступа: 29.05.2019.

Received 24.06.2019

ПРИМЕНЕНИЕ САЛЬНИКОВЫХ КОРОБОК И ВТУЛОК ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ СТЕНКИ ФУНДАМЕНТОВ

канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ
(Полоцкий государственный университет);
В.И. БЕЛОШАПКА
(Нефтезаводмонтаж, Новополоцк)

Анализируются существующие варианты прохождения труб через фундамент или стену подвала. Рассмотрены основные способы установки стыков с использованием втулок и сальников. Определены основные преимущества и недостатки каждой из используемых технологий.

Ключевые слова: трубопровод, сальники, узлы, герметичность, эффективность, втулка.

УДК 624.042.41(476)

ОПЫТ НОРМИРОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ПРЕДЫСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

канд. техн. наук, доц. В.В. НАДОЛЬСКИЙ;
канд. техн. наук, проф. Ю.С. МАРТЫНОВ; А.В. ОСИПЧИК
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Выполнен обзор и анализ исторического развития базовых положений нормирования ветровых нагрузок, начиная с первого издания СНиП (глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.) и заканчивая настоящим периодом (СНиП 2.01-07-85, изменение № 1). Рассмотрены теоретические положения ТКП EN 1991-1-4. На основе собранной авторами информации сопоставлены значения ветровых нагрузок согласно СНиП и ТКП EN. Сделан вывод, что ветровая нагрузка, определенная согласно СНиП, даже с учетом пульсационной составляющей, не достигает значений, установленных в ТКП EN. При сопоставлении не принимались во внимание геометрические параметры зданий и аэродинамические коэффициенты, что позволило упростить задачу. Для более точного сопоставления необходимо выполнить анализ ветровых нагрузок для реальных объектов с учетом всех факторов, влияющих на ветровую нагрузку.*

Ключевые слова: ветровая нагрузка, аэродинамические коэффициенты.

Введение. Создание системы частных коэффициентов в 1940-х годах послужило предпосылкой к разработке и развитию метода расчета строительных конструкций по предельным состояниям [1]. В то время еще не существовало единого нормативного документа, который бы комплексно регламентировал основные параметры, характеризующие все нагрузки и воздействия. Основными нормативными документами, описывающими эффекты воздействий, были ГОСТ 1645-42 «Расчет строительных конструкций. Нагрузка полезная», ОСТ 90058 «Нагрузка снеговая» и ГОСТ 1664-42 «Расчет строительных конструкций. Нагрузка ветровая».

С 1 января 1955 года вводится в действие первое издание СНиП, в составе которого появляется глава II «Нормы строительного проектирования», в ней – часть Б (глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.), в которой приводятся основные положения проектирования. В августе 1962 года на смену изданию 1954 года приходит глава СНиП II-А.11-62 «Нагрузки и воздействия». Далее, в феврале 1974 года, с утверждением главы СНиП II-6-74 «Нагрузки и воздействия» утрачивает силу глава СНиП II-А.11-62. До введения очередного СНиП 2.01-07-85* «Нагрузки и воздействия» в январе 1987 года предыдущее издание [2] претерпело многочисленные дополнения и изменения (дополнения и изменения от 25 декабря 1980 г. № 206 и от 14 октября 1981 г.). Версия СНиП 2.01-07-85* «Нагрузки и воздействия» уже в Беларуси претерпела одно изменение в июле 2004 года. От издания к изданию нормативные документы уточнялись и дополнялись с учетом актуальных вызовов своего времени и опыта проектирования.

В 2010 году в Республике Беларусь на альтернативной основе вводится Европейская система проектирования, изготовления и монтажа – Еврокоды. Таким образом, на рассматриваемом промежутке времени произошли изменения не только в связи с дополнением и уточнением изначально существующего подхода к определению нагрузок (СНиП), но и переходом к иной, отличающейся теоретическими положениями системе (Еврокод). Определение ветровых воздействий производят в соответствии с ТКП EN 1991-1-4 «Воздействие на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [3]. Насколько глобальными в конечном итоге оказались различия при определении ветровой нагрузки согласно СНиП и Еврокоду, рассмотрим в данной работе.

Ветровая нагрузка на сооружение представляет собой совокупность нормального давления, приложенного к его поверхности или элемента; сил трения, направленных по касательной к внешней поверхности и отнесенных к площади ее горизонтальной или вертикальной проекции; нормального давления, приложенного к внутренним поверхностям зданий с проницаемыми ограждениями, открывающимися или постоянно открытыми проемами.

В силу сложности модели ветрового воздействия и различных теоретических положений, принятых в СНиП и Еврокоде, сравнение ветровой нагрузки представляет собой сложную задачу. В данной работе в общем виде представлены положения определения ветрового воздействия в рамках системы СНиП и Еврокод. Акцент сделан на сравнительный обзор базовых величин (скорости и давления ветра).

Определение ветровой нагрузки согласно СНиП

В соответствии со СНиП 2.01.07-85* [4] ветровая нагрузка определяется как сумма средней и пульсационной составляющих. Нормативное значение ветрового давления w_0 следует принимать в зависимости от ветрового района по данным [4, таблица 5].

Для горных и малоизученных районов нормативное значение ветрового давления допускается определять по формуле:

$$w_0 = 0,61 \cdot v_0^2, \quad (1)$$

где v_0 – скорость ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующая 10-минутному интервалу осреднения и превышаемая в среднем раз в 5 лет.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли согласно [4, п. 6.3] определяют по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте и определяемый согласно [4 п. 6.5]; c – аэродинамический коэффициент, определяемый в соответствии с пунктом 6.6 в [4].

Коэффициент k , учитывающий изменение ветрового давления по высоте, определяется согласно [4, таблица 6] в зависимости от типа местности. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ при высоте сооружения h до 60 м и 2 км – при большей высоте.

Значения аэродинамических коэффициентов и схемы приложения ветровых воздействий в зависимости от геометрических характеристик сооружения приведены в [4, приложение 4].

Значения пульсационной составляющей ветровой нагрузки определяются в зависимости от конструктивных и динамических характеристик рассчитываемого здания или сооружения. При расчете многоэтажных зданий высотой до 40 м и одноэтажных производственных зданий высотой до 36 м при отношении высоты к пролету менее 1,5, и размещаемых в типах местности А и В, т.е. для достаточно жестких зданий и сооружений, пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать. Для указанных зданий и сооружений при сочетании ветровой нагрузки с другими кратковременными нагрузками и учете вероятности одновременного возникновения расчетных значений пульсации скоростного напора по поверхности сооружения (пространственной корреляции) вклад динамической составляющей ветровой нагрузки мал по сравнению с суммарной расчетной нагрузкой на сооружение. Для сооружений, имеющих густой спектр собственных частот колебаний, должны учитываться как вклады самих собственных форм колебаний, так и вклады взаимных корреляций между формами.

Согласно главе II-Б.1 СНиП издания 1954 года [5] вся территория современной Беларуси входила в 1-й географический район и характеризовалась скоростным напором ветра 30 кг/м^2 на высоте до 10 м (таблица 1).

Таблица 1. – Скоростные напоры ветра на высоте до 10 м над поверхностью земли

Год	СНиП	Районы	Нормативный скоростной напор ветра в кгс/м^2
1954	СНиП II-Б.1	I	30
1962	СНиП II-А.11-62	I	27
		II	35
1974	СНиП II-6-74	I	27
1985	СНиП 2.01-07-85	Ia	17
		I	23

В главе СНиП II-А.11-62 [6] произошли изменения в представлении ветровой нагрузки, а именно введено районирование территории по скоростным напорам ветра. Территория Республики Беларусь представлена I и II районами соответственно со следующими значениями скоростных напоров ветра 27 и 35 кг/м^2 на высоте до 10 м. В пришедшей на смену главе СНиП II-6-74 [7] было пересмотрено районирование территорий по скоростным напорам ветра, и территория Беларуси полностью оказалась в I районе, которому соответствовало значение скоростного напора ветра 27 кг/м^2 на высоте до 10 м.

В СНиП 2.01-07-85* [4] снова были пересмотрены ветровые районы и Беларусь вошла в районы Ia и I соответственно со значениями скоростных напоров ветра 17 и 23 кг/м^2 на высоте до 10 м (рисунок 1).

В силу особенностей распределения ветровой нагрузки в зависимости от высоты приложения и типа местности необходимо обратить внимание на коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности. В частности, в первой редакции СНиП [5] эти коэффициенты четко не оговаривались, учитывались интегрально в ветровых напорах для высот до 10, 20 и 100 м. На основании этих значений авторами вычислен поправочный коэффициент (таблица 2).

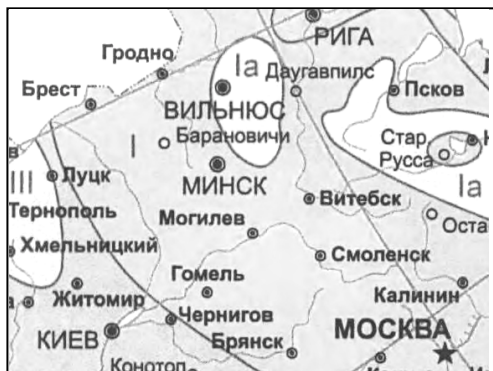


Рисунок 1. – Районирование территории Республики Беларусь по скоростным напорам ветра согласно [5]

Таблица 2. – Поправочные коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора ветра для высот более 10 м согласно СНиП II-Б.1

Высота над поверхностью земли, м	до 10	20	100
Поправочный коэффициент	1,0	1,33	3,33

В главе СНиП II-A.11-62 [6] введена дифференциация величины значения скоростного напора ветра посредством поправочных коэффициентов на изменение скоростных напоров ветра для высот более 10 м.

Таблица 3. – Поправочные коэффициенты на возрастание скоростных напоров ветра для высот более 10 м согласно СНиП II-A.11-62

Высота над поверхностью земли, м	до 10	20	40	100	350 и выше
Поправочный коэффициент	1,0	1,35	1,8	2,2	3,0

Для промежуточных высот значение поправочных коэффициентов определяется линейной интерполяцией. Для каждой зоны высотой не более 10 м поправочный коэффициент допускалось принимать постоянным и равным значению в средней точке зоны.

В последующей редакции СНиП II-6-74 [7] была введена дифференциация коэффициентов в зависимости от типа местности (таблица 4).

Таблица 4. – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности согласно СНиП II-6-74

Высота над поверхностью земли, м	Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности	
	А	Б
10	1	0,65
20	1,25	0,9
40	1,55	1,2
60	1,75	1,45
100	2,1	1,8
200	2,6	2,45
350 и выше	3,1	3,1

Примечания: 1. К типу А относятся открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ).
2. К типу Б относятся города с окраинами, лесные массивы и тому подобные местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м.

В главе СНиП II-6-74 в части дополнения и изменения от 25 декабря 1980 г. № 206 [2] установлены три типа местности вместо двух и пересмотрена таблица коэффициентов, учитывающих изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности, и интерпретация типов местностей (см. таблицу 5). В СНиП 2.01-07-85* [4] в очередной раз была пересмотрена таблица коэффициентов,

учитывающих изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности, и интерпретация типов местностей (таблица 6).

Таблица 5. – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности согласно СНиП II-6-74 (изм. от 25 декабря 1980 г. № 206)

Высота над поверхностью земли, м	Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности		
	А	Б	В
10	1	0,65	0,3
20	1,25	0,9	0,5
30	1,40	1,05	0,63
40	1,55	1,2	0,75
50	1,65	1,33	0,87
60	1,75	1,45	1
70	1,85	1,55	1,1
80	1,95	1,65	1,2
100	2,1	1,8	1,4
200	2,6	2,45	2,2
350 и выше	3,1	3,1	3,1

Примечания: 1. К типу А относятся открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ).
2. К типу Б относятся территории малых и средних городов, территории больших, крупных и крупнейших городов, застроенные зданиями высотой до 20 м, леса.
3. К типу В относятся территории больших, крупных и крупнейших городов, застроенные зданиями высотой свыше 20 м. Для зданий высотой до 40 м, расположенных в местности типа В и рассчитываемых только на статическую составляющую ветровой нагрузки, значения коэффициента, учитывающего изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности, следует умножать на дополнительные коэффициенты 1,7 (при высоте зданий до 20 м) и 1,6 (при высоте свыше 20 м).

Таблица 6. – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности

Высота над поверхностью земли, м	Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥ 450	2,75	2,75	2,75

Примечание: А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра. В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м. С – городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

Принцип определения нормативного значения ветрового давления на основе метеорологических наблюдений также претерпел изменения (таблица 7). Значения частных коэффициентов надежности по ветровой нагрузке пересматривались в сторону увеличения, а в СНиП II-A.11-62 [6] и СНиП II-6-74 [8] была предусмотрена дифференциация коэффициента в зависимости от типа сооружения (таблица 8).

Таблица 7. – Принцип определения нормативного значения ветрового давления

Издание нормативного документа «Нагрузки и воздействия»	Принцип определения нормативного значения ветрового давления
Глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.	Нормативное значение ветрового давления, соответствующее наибольшей скорости ветра, принимаемой по данным метеорологических наблюдений
Глава СНиП II-А.11-62	Нормативное значение ветрового давления, превышаемое в среднем раз в 5 лет для длительного интервала наблюдений
Глава СНиП II-6-74	Нормативное значение ветрового давления на уровне 10 м над поверхностью земли при двухминутном интервале осреднения и превышаемое в среднем раз в 5 лет
СНиП 2.01-07-85	Нормативное значение ветрового давления на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения и превышаемое в среднем раз в 5 лет

Таблица 8. – Значения частных коэффициентов надежности по ветровой нагрузке

Издание нормативного документа «Нагрузки и воздействия»	Значение частного коэффициента для жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений	Значение частного коэффициента для высоких сооружений, при расчете которых ветровая нагрузка имеет решающее значение (башни, градирни и т.п. сооружения)
Глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.	1,2	1,2
Глава СНиП II-А.11-62	1,2	1,3
Глава СНиП II-6-74	1,2	1,3
СНиП 2.01-07-85	1,4	1,4

Методика составления сочетаний нагрузок в СНиП 2.01-07-85* [5] описана пунктами 1.10–1.13 в [5], которые можно представить в виде следующих выражений:

$$\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_i + Q_i \cdot \gamma_i; \quad (3)$$

$$v_0 \sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_i + \sum_{i \geq 1} Q_i \cdot \gamma_i \cdot \psi_i. \quad (4)$$

Символы G , Q обозначают нормативные значения постоянной и переменной нагрузок назначенные согласно [4]. Менее благоприятное усилие из (3) и (4) принимается для дальнейших расчётов.

В самой первой редакции СНиП (глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.) ветровая нагрузка не рассматривалась в сочетании с постоянными нагрузками при отсутствии других переменных нагрузок. В последующих редакциях СНиП значение коэффициента сочетаний при учете одной временной нагрузки принималось равным 1,0, а в сочетании двух и более временных нагрузок – 0,9.

Определение ветровой нагрузки согласно ТКП EN

Первый шаг в определении ветрового воздействия – вычисление базового значения скорости ветра v_b согласно пункту 4.2 в [2]:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}, \quad (5)$$

где $v_{b,0}$ – основное значение базовой скорости ветра, равное характеристическому значению средней скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с низкой растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра; c_{dir} – коэффициент, учитывающий направление ветра; c_{season} – сезонный коэффициент.

Основные значения базовой скорости ветра для территории Республики Беларусь представлены на карте ветровых районов в национальном приложении НП.2.2 [3]. Согласно этой карте на территории Беларуси доминируют два ветровых района с основными значениями базовой скорости ветра 21 м/с и 23 м/с (рисунок 2).

Базовое значение скорости ветра назначено исходя из условия, что вероятность превышения составляет 0,02 для периода повторяемости 1 год, что соответствует среднему периоду повторяемости 50 лет.

Средняя скорость $v_m(z)$ зависит от шероховатости местности, орографии и базового значения скорости ветра v_b :

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b. \quad (6)$$

В формуле (6) $v_{b,0}c_r(z)$ – коэффициент, учитывающий тип местности в соответствии с пунктом 4.3.2 в [8]; $c_0(z)$ – орографический коэффициент, принимаемый согласно [3, пункт 4.3.3].

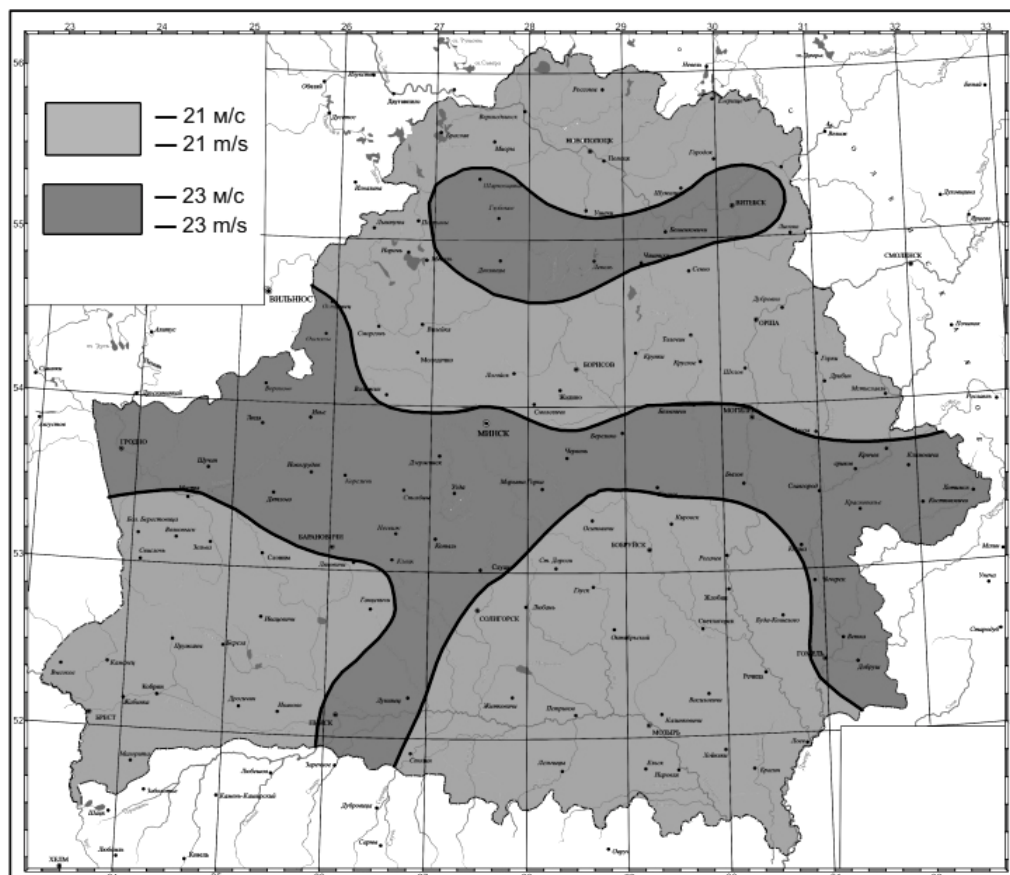


Рисунок 2. – Карта ветровых районов
и соответствующие им основные значения базовой скорости ветра

В [3] принято пять типов местности: 0, I, II, III, IV, с соответствующими параметрами шероховатости. Сооружение принадлежит к определенному типу местности, если расстояние с наветренной стороны с постоянной шероховатостью местности имеет величину, достаточную для образования стабильного профиля скорости ветра.

Коэффициент $c_r(z)$ фактически учитывает изменчивость средней скорости ветра $v_m(z)$ в месте расположения сооружения в зависимости от таких параметров, как: высота над уровнем земли; шероховатость местности с наветренной стороны сооружения для рассматриваемого направления ветра.

Таким образом, коэффициент $c_r(z)$ равен

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{для } z_{\min} \leq z < z_{\max}; \quad (7)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{для } z \leq z_{\min}. \quad (8)$$

Здесь z_0 – параметр шероховатости согласно [3, таблица 4.1]; k_r – коэффициент местности, зависящий от параметра шероховатости z_0 , который можно определить по следующей формуле:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}}\right)^{0,07}, \quad (9)$$

где $z_{0,ji} = z_{0,II}$ 0,05 м (тип местности II, [3, таблица 4.1]); $z_{\min}$ – минимальная высота [3, таблица 4.1], $z_{\max}$ составляет 200 м.

Орографический коэффициент $c_0(z)$ применяется в случаях, когда орография (горы, утесы и т.п.) повышает скорость ветра более чем на 5%. Рекомендуемый метод определения значения орографического коэффициента $c_0(z)$ указан в [3, приложение А.3]. Однако влиянием орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° . Величина учитываемого расстояния с наветренной стороны должна превышать 10-кратное значение высоты выступающего орографического элемента.

Согласно пункту 4.3.4 в [3] влияние более высоких близлежащих зданий на определение ветровых воздействий требуется учитывать, если рассчитываемое сооружение тесно примыкает к другому сооружению, высота которого не менее, чем в 2 раза, превышает высоту близлежащей застройки. Метод учета близлежащей застройки представлен в приложении А.4 в [3].

После определения средней скорости ветра $v_m(z)$ вычисляется интенсивность турбулентности согласно пункту 4.4 в [3]:

$$l_v(z) = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{для } z_{\min} \leq z < z_{\max}; \quad (10)$$

$$l_v(z) = l_v(z_{\min}) \quad \text{для } z \leq z_{\min}, \quad (11)$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Значение коэффициента турбулентности указано в национальном приложении Н.П.2.14 [3], принимается 1,0.

Пиковое значение скоростного напора, включающее средние и кратковременные изменения (колебания) скорости, определяется согласно пункту 4.5 в [3] по формуле:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z), \quad (12)$$

где ρ – плотность воздуха, которая зависит от высоты над уровнем моря, температуры и барометрического давления. Величина плотности воздуха ρ указана в национальном приложении Н.П.2.16 [3] и принимается без изменения $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$.

Расчет ветрового давления на поверхности осуществляется в соответствии с пунктом 5.2 в [3].

В EN 1990 [8] для сочетания нагрузок предложена схема сочетания с использованием двух выражений (6.10а) и (6.10b), переписав данные выражения для принятых условий, получим следующие формулы:

$$\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_i + \sum_{i \geq 1} Q_i \cdot \gamma_i \cdot \psi_{0,1}^{(i)}; \quad (13)$$

$$\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \xi \cdot \gamma_i + Q_i \cdot \gamma_i + \sum_{j > 1, i \neq j} Q_j \cdot \gamma_j \cdot \psi_{0,1}. \quad (14)$$

Менее благоприятное усилие из (13) и (14) принимается для дальнейших расчётов. В формулах (13) и (14) G_k , Q_k – характеристические значения постоянной и переменной нагрузок; γ_G и ξ – коэффициенты, равные 1,35 и 0,85 соответственно; γ_Q – частный коэффициент для ветрового воздействия, составляющий 1,5; ψ_0 – коэффициент сочетаний для ветровой нагрузки, равный 0,6.

Анализ значений коэффициента, учитывающего изменение средней скорости ветра от высоты и типа местности

На основе предположения, что типы местности А, В, С [9] соответствуют типам местности II, III, IV [3], вычислим значения коэффициента, учитывающего изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты и типа местности для [3], результаты представим в виде графика (рисунок 3).

Из графика следует, что кривые зависимости коэффициента, учитывающего изменение средней скорости ветра исходя из высоты и типа местности, существенно различаются. При этом значения коэффициентов, вычисленных согласно СНиП, а также их зависимость от высоты намного значительнее по сравнению с аналогичными, вычисленными согласно Еврокоду. Отметим, что в процессе исторического развития СНиПов имела место тенденция к уменьшению значений рассматриваемого коэффициента.

Анализ значений ветровой нагрузки, определенной согласно СНиП и Еврокоду

Для сравнения значений ветровой нагрузки приняты следующие начальные условия и допущения:

- ветровой район I (характерен для большей части территории Республики Беларусь) при определении ветровой нагрузки согласно СНиП [9];

- ветровые районы с базовыми скоростями ветра 21 и 23 м/с согласно ТКП EN [3];

- ветровые нагрузки определены для высоты 10 м над уровнем поверхности земли;

- сравнения выполнены без учета аэродинамических коэффициентов;

- предполагается, что типы местности А, В, С [9] соответствуют типам местности II, III, IV [3].

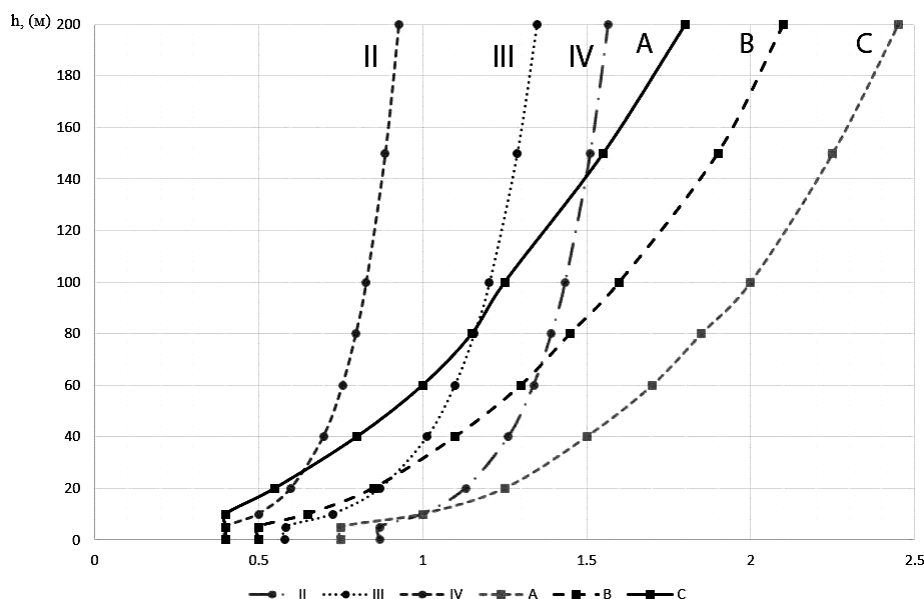


Рисунок 3. – Коэффициент, учитывающий изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты и типа местности

В СНиП нормируется давление ветра, а не скорость, как это предусмотрено в Еврокоде, поэтому значение скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли пересчитано посредством формулы (1). При нормативном значении ветрового давления 0,23 кПа базовая скорость ветра составляет 19,42 м/с.

Приведем в соответствие ветровой нагрузке, определенной согласно СНиП с учетом пульсационной составляющей, пиковое значение скоростного напора, включающее средние и кратковременные изменения (колебания) скорости, и сведем результаты в таблицу 9. Пульсационная составляющая определена согласно [9, пункт 6.7а] без учета коэффициента пространственной корреляции пульсации давления ветра, так как согласно этому пункту ветровое давление определяется без учета сил инерции, что соответствует пиковому значению скоростного напора.

Ввиду принятых начальных условий и допущений пульсационная составляющая w_p определена следующим образом:

$$w_p = w_m \cdot \zeta. \quad (15)$$

Значения базовой скорости ветра согласно [3] были получены для значений $c_{dir} = 1$ (максимальное значение) и $c_{dir} = 0,71$ (минимальное значение).

Таблица 9. – Сравнение значений ветровых нагрузок

Типы местности	СНиП [9]	ТКП EN 1991-1-4 [3]			
Основное значение базовой скорости ветра, м/с					
	19,42	21		23	
Базовое значение скорости ветра, м/с					
	19,42	21	14,91	23	16,33
Средняя скорость ветра для типов местности по СНиП и Еврокод, м/с					
A/II	19,42	21,14	15,01	23,15	16,44
B/III	15,66	15,86	11,26	17,37	12,33
C/IV	12,28	11,33	8,04	12,41	8,81
Ветровое давление, учитывающее среднюю и пульсационную составляющую, согласно СНиП [9] и пиковое значение скоростного напора согласно [3], кПа					
A/II	0,40	0,65	0,33	0,78	0,39
B/III	0,31	0,47	0,24	0,57	0,29
C/IV	0,25	0,32	0,16	0,39	0,20

Значение ветрового давления, определенное согласно СНиП [9] с учетом пульсационной составляющей, находится в границах пиковых значений скоростных напоров, определенных согласно ТКП EN [3]:

при основном значении базовой скорости ветра 21 м/с значение ветрового давления находится в середине интервала распределения значений, а при основном значении базовой скорости ветра 23 м/с оно стремится к минимальному значению интервала распределения значений для районов II, III, IV.

Заключение. Параметры ветровой нагрузки претерпели значительные изменения с момента введения первой редакции СНиП [5]. Можно отметить следующие основные изменения: а) снижение значения нормативного скоростного напора (от 30 до 23 кг/м²); б) введение новых ветровых районов и корректировка их границ; в) учет изменчивости скоростного напора ветра в зависимости от высоты и типа местности; г) снижение значений коэффициентов учета скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности; д) изменение интерпретации (определения) типов местности; е) увеличение значения частного коэффициента надежности по ветровой нагрузке (от 1,2 до 1,4) и исключение дифференциации значений частных коэффициентов для различных типов сооружений.

Анализируя последнюю редакцию СНиП 2.01.07-85* с изм. 1 [9] и ТКП EN 1991-1-4 [3], можно отметить существенные различия в моделях ветрового воздействия. Они касаются: а) определения и значений базовой скорости ветра; б) частных коэффициентов; в) коэффициентов сочетаний; г) коэффициентов, учитывающих изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты и типа местности; д) учета внутреннего давления; е) схем распределения ветровой нагрузки по ограждающим конструкциям здания; ж) подходов к учету пульсационной и динамической составляющих ветровой нагрузки.

Следует отметить также, что согласно ТКП EN [3] пиковое значение скоростного напора всегда учитывает порывы ветра, в то время как в СНиП [4] при определенных условиях допускается вычислять ветровую нагрузку только от средней составляющей скорости ветра, что приводит к существенной разнице значений ветровой нагрузки.

Относительно принципа определения нормативного значения ветрового давления, то согласно СНиП 2.01-07-85* [4] за нормативное значение принимается ветровое давление на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения и превышаемое в среднем один раз в 5 лет. Согласно ТКП EN [3] нормирование основного значения базовой скорости ветра аналогично СНиП [4], за исключением лишь периода повторяемости – 50 лет для ТКП EN [3]. Это предполагает различные степени уровней обеспеченности значений ветровой нагрузки, по этой причине их прямое сравнение некорректно. Согласно австралийским [10; 11], канадским [12] и американским нормам [13] принцип определения значения ветрового давления идентичен принятому в СНиП [4], за исключением периода повторяемости и интервала осреднения. Согласно нормам [10–13] период повторяемости принят равным 50 лет, а период осреднения 3 секунды. Меньший период осреднения объясняется географическим расположением территорий, для которых характерны погодные условия с сильным порывистым ветром.

Ввиду широкого ряда отличий в моделях ветровой нагрузки, принятых в СНиП [4] и ТКП EN [3], их сравнение и анализ является достаточно сложной задачей. Со всеми принятыми в данной работе условиями и допущениями ветровая нагрузка, определенная согласно СНиП [4], при учете пульсационной составляющей оказалась сопоставимой с нагрузкой, определенной согласно ТКП EN [3], только при минимальном значении коэффициента c_{dir} .

Использование методики определения ветровой нагрузки согласно ТКП EN [3] приводит к повышению ветрового давления (напора) на 12...37,5% по сравнению с вычисленным по методике СНиП [4]. Более объективное сопоставление необходимо производить на основе данных для реальных объектов проектирования для каждого типа местности с учетом аэродинамических коэффициентов. Подобное сравнение выполнено для железобетонных зданий [14].

Таким образом, существенное отличие в моделях и разбросе значений ветрового воздействия требует дальнейшего тщательного анализа этих моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет строительных конструкций по предельным состояниям / В.А. Балдин, [и др.] ; под ред. В.М. Келдыша. – М. : Госстройиздат, 1951.
2. Дополнения и изменения № 206 (к СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия). – Введ. 25.12.1980. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1980.
3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 132 с.
4. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.01.87. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
5. Нормы строительного проектирования : СНиП II-Б.1. – Введ. 01.01.1955. – М. : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1954.

6. Нагрузки и воздействия: СНиП II-A.И-62. – Введ. 01.01.1963. – М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву, архитектуре и строительным материалам, 1962.
7. Нагрузки и воздействия: СНиП II-6-74. – Введ. 01.09.74. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1976.
8. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.2012. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 96 с.
9. Изменение № 1 (к СНиП 2.01-07-85. Нагрузки и воздействия). – Введ. 01.07.2004. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2005. – 5 с.
10. Structural design actions. – Part 0: General principles [By Authority of New Zealand Structure Verification Method B1/VM1]: AS/NZS 1170.0:2002 General principles : approved on behalf of the Council of Standards Australia on 29 March 2002 and on behalf of the Council of Standards New Zealand on 28 March 2002. – Standards Australia Limited/Standards New Zealand, 2002.
11. Structural design actions. – Part 2: Wind actions: AS/NZS 1170.2:2011 Wind actions : approved on behalf of the Council of Standards Australia on 23 November 2010 and on behalf of the Council of Standards New Zealand on 10 December 2010. – Standards Australia Limited/Standards New Zealand, 2011.
12. Limit States Design of Steel Structures: CAN/CSA-S16-01. – Ontario : Standards Council of Canada, 2001. – 162 p.
13. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures: ASCE/SEI 7-05. – Reston : American Society of Civil Engineers, 2006.
14. Тур, В.В. Сравнительный анализ моделей ветровых воздействий на здания и сооружения / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Проблемы современного бетона и железобетона. – Вып. 4. – 2012.

Поступила 11.06.2019

**PRACTICE OF A WIND LOAD STANDARDIZATION
FOR THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS:
BACKGROUND AND CURRENT STATE**

V. NADOLSKI, Yu. MARTYNOV, A. OSIPCHIK

*This article provides an overview and analysis of the historical development of the basic provisions of wind load rationing from the first edition of the SNiP (chapter II-B.1 of the SNiP of 1954) to the current period (SNiP 2.01-07-85 * change No. 1), also presented the theoretical provisions of the EN 1991-1-4. Based on the information collected, a comparison of wind loads determined according to SNiP and EN 1991-1-4 has been made. Wind load, determined according to SNiP, even if the pulsation component is taken into account, does not reach wind load values, determined according to EN 1991-1-4. When comparing, the geometrical parameters of buildings and aerodynamic coefficients were not taken into account, which allowed to simplify the task and reduce the complexity, however, for a more accurate and reliable comparison it is necessary to analyze wind loads with their account.*

Keywords: wind load, aerodynamic coefficients.

УДК 691.162

ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРЫ БЕТОНА

канд. техн. наук **Д.Н. ШАБАНОВ**; **А.Н. ЯГУБКИН**;
канд. физ.-мат. наук, доц. **С.А. ВАБИЩЕВИЧ**; **Е.С. БОРОВКОВА**; **Е.А. ТРАМБИЦКИЙ**
(Полоцкий государственный университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований акустической эмиссии, возбуждаемых в бетонных образцах в режиме одноосного деформирования. Установлено, что в областях упругих и неупругих деформаций образца возникают сигналы акустической эмиссии. Получены экспериментальные данные, связывающие характеристики акустической эмиссии с механизмом деформирования бетонного образца. Приведенные закономерности могут послужить основой для создания критерия оценки степени опасности бетонных повреждений на объектах различного назначения.

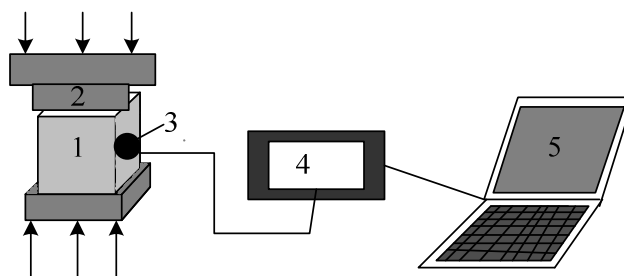
Ключевые слова: акустическая эмиссия, бетонные конструкции, динамика трещинообразования.

Введение. Одна из важных задач в строительстве – обеспечение безопасной эксплуатации объектов. При этом особое внимание представляют конструкции, изготовленные из бетона как наиболее распространенного и востребованного строительного материала.

В процессе эксплуатации строительного сооружения в бетоне накапливаются усталостные повреждения из-за воздействия влажности и коррозионных сред, различной силы и временной протяженности нагрузок, приводящие к микроразрывам в материале, колебаний температур, периодического замораживания и оттаивания, а также из-за нарушения контактов между цементным камнем и заполнителем. Эти повреждения на начальной стадии развития не обнаруживаются средствами магнитного, вихревого и ультразвукового контроля, так как такие активные методы не несут информации о динамике развития дефектов и поведении объекта в процессе влияния перечисленных воздействий. Вопрос о безопасной эксплуатации таких деталей может быть решен только с использованием средств неразрушающего контроля (НК), чувствительных к малозначительным развивающимся дефектам. В связи с этим задача выявления растущих трещин, в том числе находящихся на начальной стадии развития, представляется особенно актуальной. Для решения такой задачи хорошо зарекомендовал себя интегральный метод обследования на основе явления акустической эмиссии (АЭ) [1].

Исследовательская часть. В данной работе проведен ряд экспериментальных исследований при заданной скорости нарастания нагрузки по испытанию бетонных образцов при их циклическом нагружении, вплоть до разрушения. В качестве экспериментального образца использовался бетонный камень кубической формы размером 100 × 100 × 100 мм. При испытаниях бетонного образца одновременно запускаются две программы: одна для регистрации параметров и полных сигналов АЭ, вторая – для регистрации механических величин. Эмиссия возникает только при напряжении, поэтому АЭ контроль обычно проводится путем нагружения контролируемого объекта.

Для проведения испытаний использовались: установка для нагружения – пресс гидравлический ПГМ -500МГ4А; пьезодатчик для регистрации АЭ; осциллограф и компьютер. Комплекс измерительного оборудования представлен на рисунке 1.



1 – образец из бетонного камня; 2 – пресс гидравлический;
3 – пьезодатчик; 4 – осциллограф; 5 – ЭВМ

Рисунок 1. – Компоновка экспериментального оборудования

В процессе нагружения контролируемого объекта в его материале происходят локальные изменения структуры, называемые пластической деформацией. Эти физические явления сопровождаются излу-

чением АЭ сигналов. Акустическая эмиссия представляет собой явление генерации волн напряжений, вызванных внезапной перестройкой в структуре материала. Классическими источниками АЭ является процесс деформирования, связанный с ростом дефектов, например, трещины или зоны пластической деформации, при фазовых превращениях, связанных с изменением кристаллической решетки [2].

Физическим механизмом акустической эмиссии является движение в веществе дислокаций и их скоплений [3]. Генерация и распространение волн напряжения в бетонных конструкциях имеет некоторые особенности. Сам по себе бетон – смесь многокомпонентных поликристаллов, которые взаимодействуют между собой по физико-химическим законам, при этом его структура включает в себя систему пор и микротрещин. Поэтому сигналы акустической эмиссии, распространяясь к поверхности образца, претерпевают существенные изменения вследствие дисперсии скорости звука, трансформации типов волн при дифракции, отражении, преломлении, затухании (рисунок 2). Особенность состоит еще и в том, что законы распространения акустических волн в бетоне имеют весьма сложный характер. Это обусловлено тем, что бетон является упруговязкопластичным неоднородным материалом, физико-механические свойства которого существенно отличаются от условно принятых свойств теоретической изотропной упругой среды. Бетон отличается непостоянством акустического сопротивления его составляющих: цементного камня; щебня или гравия; песка и пор, заполненных воздухом и водой [4].

Таким образом, на основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что в бетоне при распространении акустических волн возникают сложные процессы дисперсии, дифракции, отражения и их преломления при распространении.

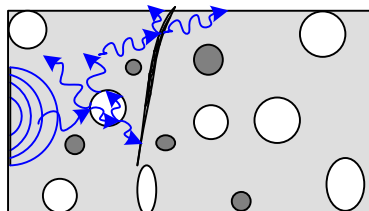


Рисунок 2. – Распространение акустических волн внутри образца

Вследствие многомодальности распространения, трансформации волн различных типов в твердом теле, затухания высокочастотных составляющих и резонансных свойств приёмной аппаратуры сигналы АЭ, регистрируемые на выходе датчика, имеют вид радиоимпульса с затухающей по экспоненте амплитудой колебаний (рисунок 3) [5].

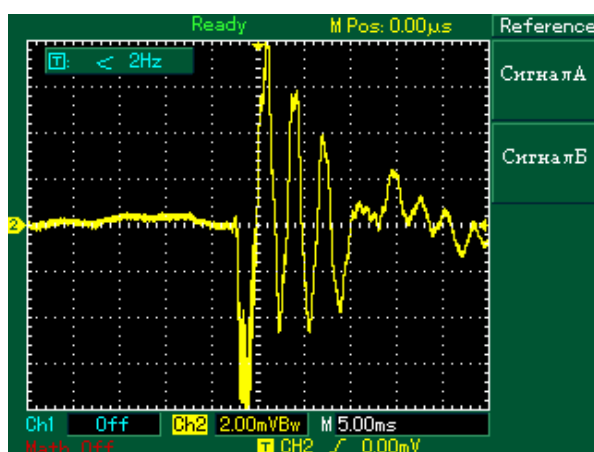
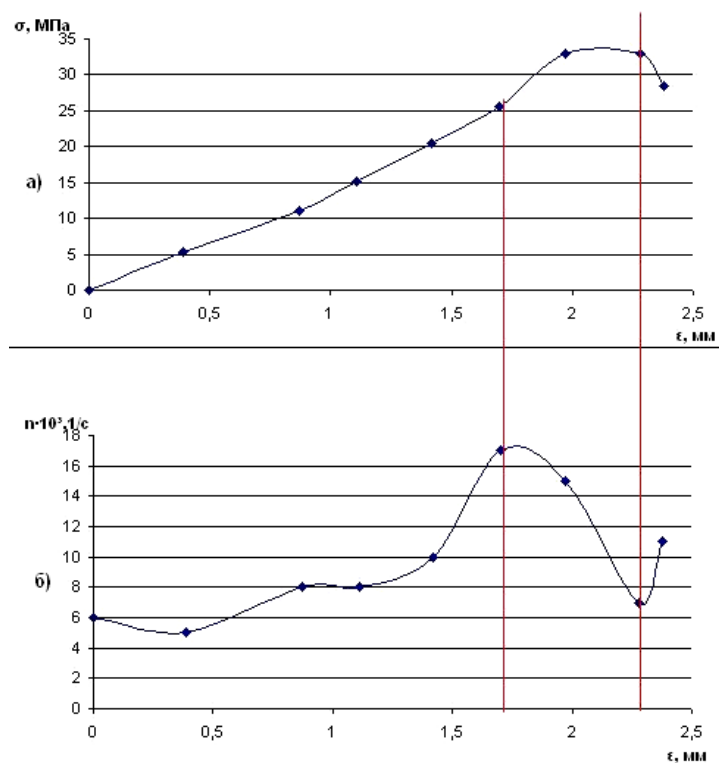


Рисунок 3. – Изображение сигнала акустической эмиссии на выходе преобразователя

Источник АЭ в образце излучает сферическую продольную и поперечную волну. При этом высокочастотная составляющая сигнала претерпевает ослабление, вследствие прямо пропорциональной зависимости коэффициента затухания в материале и частоты. Учитывая особенности распространения волн, перечисленных выше, возникают сигналы, амплитуда которых уменьшается с расстоянием намного медленнее, чем для сферической волны. Вследствие этого регистрируется преимущественно данный вид сигналов.

Основная задача АЭ контроля – выявление показателей, которые отображают образование и рост трещин в бетонной конструкции, таких как место и время образования, оценка размера трещины, ее эво-

люция. Поэтому важно выделить и обработать перечисленную информацию из общего массива данных. В первую очередь, применяют потоковые характеристики АЭ: активность, суммарный счет, число импульсов и скорость суммарного счета. На рисунке 4 представлены графики, связывающие потоковые характеристики с механизмом деформирования в процессе всего испытания бетонного образца.



а – зависимость напряжений σ от относительной деформации ϵ ;

б – зависимость активности АЭ от деформации ϵ

Рисунок 4. – Результаты АЭ испытаний бетонного камня

На начальном этапе циклических испытаний происходит накопление повреждений в области концентратора. В результате данных процессов генерируются акустико-эмиссионные сигналы, незначительно отличающиеся один от другого как по активности, так и по величине амплитуды. При разгрузке и повторном нагружении образца необходимо учитывать такое явление, как «эффект Кайзера» [6], согласно которому акустические сигналы отсутствуют в области упругих деформаций до тех пор, пока не будет превышена первоначальная нагрузка. Этим и объясняется вид графика в первой области на рисунке 4. В неоднородных по своей структуре материалах, т.е. имеющих, в том числе, и естественные трещины, возникает концентрация напряжений вблизи острого края дефекта. В связи с этим образуется локальная зона пластической деформации, от которой появляются импульсы АЭ. Пластическую деформацию связывают с большим количеством возникающих дефектов кристаллической решетки и их перемещением, образованием и движением дислокаций, двойникованием. Активность сигналов резко возрастает в момент перехода от упругой деформации к пластическому течению. Эта закономерность позволяет выявлять в контролируемом объекте локальные места с пластической деформацией и оценивать коэффициент концентрации напряжений [1]. Однако при дальнейшем нагружении образца на участке деформационного упрочнения наблюдается уменьшение регистрируемых импульсов АЭ (вторая область показана на рисунке 4). При увеличении локального напряжения до величины, превосходящей предел прочности материала, возникает скачкообразное увеличение дефекта, т.е. микровзрыв, что также сопровождается сигналами АЭ. Поэтому когда напряжение в образце приближается к исчерпывающему ресурсу материала, начинается резкий рост числа импульсов.

Для оценки состояния объекта и классификации выявленных источников можно воспользоваться критерием Иванова – Быкова (локально-динамический критерий) [7]. Данный критерий позволяет производить оценку в реальном масштабе времени с использованием следующих параметров: U_{i+1}^2 и U_i^2 – квадраты амплитуд соответственно последующего и предыдущего событий из источника, P_{i+1} и P_i – значения внешнего параметра (в данном случае в качестве этого параметра используем деформацию, мм) в моменты регистрации последующего и предыдущего событий соответственно. Здесь $i = 1, \dots, n$ – номер события.

По критерию Иванова – Быкова классификация источника производится следующим образом:

- источник I класса (пассивный), если $W_{i+1} \ll V_{i+1}$;
- источник II класса (активный), если $W_{i+1} < V_{i+1}$;
- источник III класса (критически активный), если $W_{i+1} > V_{i+1}$;
- источник IV класса (катастрофически активный), если $W_{i+1} \gg V_{i+1}$.

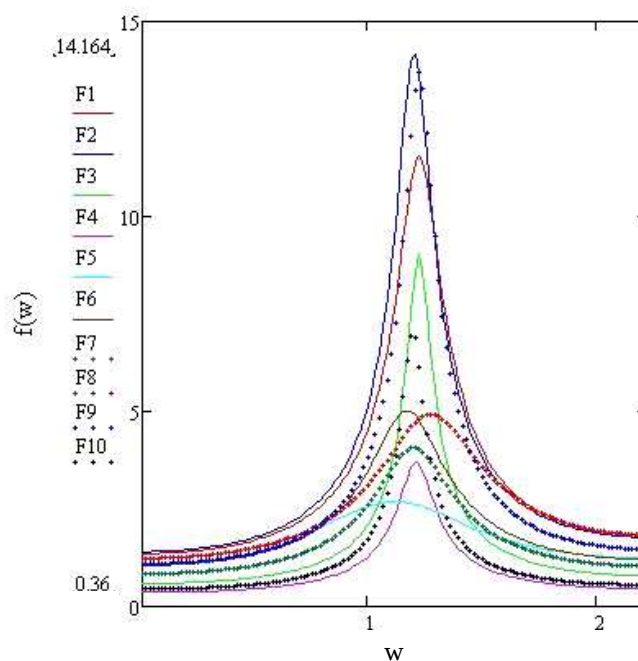
Здесь

$$W_{i+1} = \frac{U_{i+1}^2}{U_i^2}, \quad (1)$$

$$V_{i+1} = \left(1 + \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i}\right)^4 - 1. \quad (2)$$

Приведем примеры некоторых конкретных расчетов, касающихся полученных данных в исследовании. Если воспользоваться точками из первой области, максимальная амплитуда, соответствующая деформации $P_1 = 1,11$ мм, $U_1 = 10,16$ мВ, а $U_2 = 2,72$ мВ и $P_2 = 1,42$ мм. Подставляя эти значения в (1) и (2), получим $W_2 = 0,000217$ и $V_2 = 1,203$. Значит, в этом случае источник пассивный. Если взять другие точки из третьей области $P_3 = 2,06$ мм, $U_3 = 5,76$ мВ и $U_4 = 9,12$ мВ, $P_4 = 2,28$ мм, получим $W_4 = 2,506$ и $V_4 = 0,44$, что относится к катастрофически активному источнику. Таким образом, теоретические вычисления подтверждают правоту обработанных экспериментальных данных.

Еще одной наглядной характеристикой АЭ является амплитудный спектр (рисунок 5). Как уже говорилось выше, из-за неоднородности структуры бетона его разрушение сопровождается предварительным развитием пластических деформаций вблизи концентраторов напряжений (дефектов в виде трещин). На начальной стадии нагружения образца происходит разрушение слабых связей между отдельными структурными элементами. Вследствие этого возникают неупругие деформации, что сопровождается значительной активностью акустической эмиссии, как видно из рисунка 5 (зависимости $F1...F4$).



F1 соответствует нагрузке 22,9 кН; F2 – 52,35 кН;
F3 – 102,3 кН; F4 – 128 кН; F5 – 178 кН; F6 – 229 кН;
F7 – 280,2 кН; F8 – 303,7 кН; F9 – 332,2 кН; F10 – ресурс образца исчерпан

Рисунок 5. – Амплитудный спектр

По мере дальнейшего увеличения нагрузки количество прочных связей между отдельными структурными элементами также увеличивается, при этом активность АЭ уменьшается. При достижении некоторых значений напряжений в образце достигается состояние максимального уплотнения. Это состояние

характеризуется минимумом действующих и возникающих дефектов, а значит и минимумом активности АЭ, возникающей под влиянием нагружения [8]. На графике (см. рисунок 5) это можно проследить на участках F5...F7. При превышении нагрузкой некоторого порогового значения происходит образование новых дефектов, а значит и рост амплитуды сигнала, что видно на рисунке 5 (участки F8...F10).

Таким образом, в заключение проведенного исследования можно сделать следующие **выводы**:

- 1) с помощью регистрации данных акустической эмиссии определена связь между акустическими сигналами и деформационными изменениями в бетонных образцах;
- 2) опираясь на результаты проведенных исследований, можно говорить о возможности использования метода акустической эмиссии в качестве сопровождения бетонных объектов, что выражается в получении информации о возникновении и развитии опасных состояний в режиме реального времени, а также определении ресурсов на любой стадии эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бехер, С.А. Основы неразрушающего контроля методом акустической эмиссии : учеб. пособие / С.А. Бехер, А.Л. Бобров. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2013. – 145 с.
2. Полок, А. Акустико-эмиссионный контроль / А. Полок // Physical Acoustics Corporation (PAC) // Металлы (Metals handbook). – 9-е изд., Т. 17, ASM International. – 1989. – С. 278–294.
3. Красильников, В.А. Введение в физическую акустику / В.А. Красильников, В.В. Крылов. – М. : Наука, 1984. – 403 с.
4. Дурасов, А.С. Физические методы контроля качества бетона / А.С. Дурасов, Н.А. Крылов. – М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву, архитектуре и строительным материалам, 1959. – 103 с.
5. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций [и др.] ; под ред. Л.Н. Степановой. – М. : Радио и связь, 2000.
6. Kaiser, J. Erkenntnisse und Folgerungen aus der Messung von Geräuschen bei Zugbeanspruchung von metallischen Werkstoffen / J. Kaiser // Archiv für das Eisenhüttenwesen. – 1953. – Bd 24, № 1/2. – S. 43–45.
7. Иванов, В.И. О критериях оценки степени опасности дефекта по параметрам акустической эмиссии / В.И. Иванов, С.П. Быков, А.Н. Рябов. – Дефектоскопия. – 1985. – № 2. – С. 62–68.
8. Нарышкин, Д.А. Особенности акустико-эмиссионного корреляционного контроля разрушения горных пород / Д.А. Нарышкин // Сб. трудов Всероссийской науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения А.В. Римского-Корсакова, Москва, 10–11 нояб. 2010 г. ; АКИН. – М. : ГЕОС, 2010. – С. 139–142.

Поступила 11.06.2019

PARAMETERS OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS AND THEIR APPLICATION IN MONITORING THE STATE OF THE CONCRETE STRUCTURE

D. SHABANOV, A. YAGUBKIN,
S. VABISHCHVICH, E. BOROVKOVA, E. TRAMBICKIJ

The results of experimental studies of acoustic emission excited in concrete samples under uniaxial deformation are presented. It is established that acoustic emission signals appear in the areas of elastic and inelastic deformations of the sample. Experimental data were obtained linking the characteristics of acoustic emission with the mechanism of deformation of a concrete sample.

Keywords: acoustic emission, concrete structures, crack formation dynamics.

УДК 624.131.2

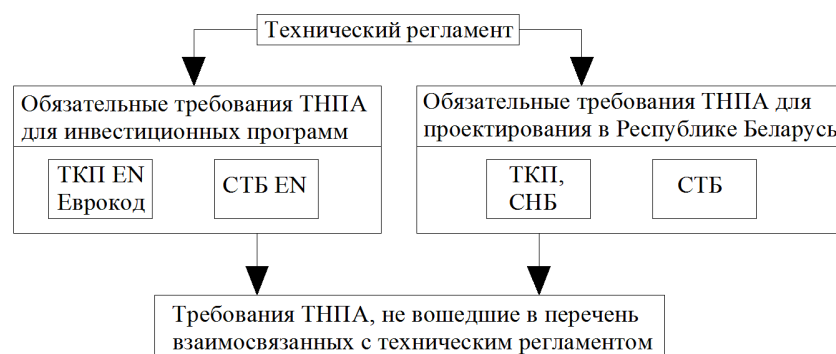
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЕВРОКОДА 7 В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ ФУНДАМЕНТОВ ПО ЕВРОПЕЙСКИМ И НАЦИОНАЛЬНЫМ НОРМАМ

канд. техн. наук, доц. В.Н. КРАВЦОВ
(Институт БелНИИС, Минск)

Освещены вопросы, связанные с введением в действие европейских норм в Республике Беларусь. Рассматриваются их взаимосвязи с национальными нормами. Приведены основные результаты выполненных в РУП «Институт БелНИИС» геотехнических исследований и верификации европейских методов расчета оснований фундаментов в грунтовых условиях белорусского региона с целью уточнения параметров национальных приложений Еврокода 7. Даны комментарии к принципам проектирования по европейским нормам и их анализ. Установлено, что расхождение между результатами расчетов оснований как плитных, так и свайных фундаментов аналитическим методом с использованием физико-механических характеристик грунтов по двум базам национальных норм (ТНПА) Республики Беларусь при достижении предельного состояния составляет 10...50% в зависимости от применяемого проектного подхода – ПП1...ПП3 (Design Approaches – DA1...DA3). Проектные подходы, дающие наименьшее расхождение между базами ТНПА Республики Беларусь, рекомендованы для их закрепления в национальных приложениях Еврокода 7 в качестве основных.

Ключевые слова: нормы европейские и национальные, геотехническое проектирование, плитные и свайные фундаменты, грунтовое основание, несущая способность, проектные принципы расчета.

Введение. Современный национальный комплекс технических нормативно-правовых актов в области архитектуры и строительства (ТНПА) последнего поколения Республики Беларусь с 01.01.2010 г. представлен, кроме блока национальных (белорусских ТКП РБ, СТБ РБ), еще большим блоком европейских (ТКП EN, СТБ EN) норм, схематично отображенных на рисунке.



**Схема нормирования и строительства в Республике Беларусь
с введением Европейских норм по данным РУП «Стройтехнорм» с 2010 по 2015 год**

В сжатые сроки Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь были подготовлены и утверждены 58 Технических кодексов установившейся практики по проектированию, испытанию конструкций, идентичных Еврокодам EN (33-ти из них с национальными приложениями); свыше 668 стандартов (СТБ EN, СТБ ISO) с целью получения конкурентных преимуществ на рынке строительных услуг и возможности получения белорусскими предприятиями CE-маркировки строительных товаров для поставки их в европейские страны.

Сложившееся положение (наличие параллельных баз по проектированию) полностью соответствует европейской практике принятия Еврокодов. Согласно директивам и мандатам ЕС «регулирующие» органы по строительству каждой страны-участницы ЕС в течение, как правило, 3 лет должны обеспечить использование Еврокодов в качестве приоритетной альтернативы ранее существовавшим национальным нормам и правилам проектирования строительных конструкций с последующей отменой последних после проведения соответствующих мероприятий по их актуализации применительно к местным условиям внедряющих стран (верификация методов, разработка национальных приложений, переподготовка специалистов и др.). Однако изучение опыта государств-членов ЕС показывает, что все они до настоящего времени имеют независимую национальную систему нормирования, гармонизированную с Еврокодами только по отдельным направлениям. Учитывая это обстоятельство, РУП «Институт БелНИИС» по зада-

нию Минстройархитектуры Республики Беларусь провел комплекс исследований данной проблемы с целью оценки достоверности методических принципов проектирования Еврокода 7 для грунтовых условий белорусского региона и повышения их эффективного использования в проектной практике строительных организаций. В данной работе приводятся отдельные результаты выполненного исследования по их применению на текущий момент.

Характеристика объекта и методика исследований. Разработка Еврокодов (EN) инициирована Комиссией европейских сообществ (СЕС) в 1975 году в рамках программы по строительству в соответствии со статьей 95 Римского договора. Целью программы являлось формирование системы **единых** гармонизированных технических правил по проектированию строительных конструкций с последующей заменой, в конечном итоге, различных норм стран Евросоюза (ЕС).

Первое поколение Еврокодов, в течение 15 лет разработанное Руководящей комиссией СЕС, состоящей из членов-государств ЕС, опубликовано в конце 1980-х годов и в 1989 году передано для дальнейшей реализации (утверждения, издания) Европейскому комитету по стандартизации (СЕН), что обеспечило им статус стандартов (EN) европейского сообщества ЕС.

Рабочие группы подкомитетов Технического комитета СЕН/Т С250, состоящих из 19 делегатов 19 стран Евросоюза, в 2010 году предложили Программу Еврокодов из 10 стандартов: EN 1990: Еврокод 0, EN 1991: Еврокод 1, EN 1991: Еврокод 9 – и всех их частей (58 стандартов). Еврокоды включают общие правила строительного проектирования традиционных и инновационных конструкций с обязательным привлечением экспертов в последнем случае. Страны-участницы ЕС определяют Еврокоды как рекомендательные документы (альтернативные) для обеспечения единых требований в области гражданского строительства. В них предусмотрена возможность уточнения отдельных параметров и процедур, если они оставлены в Еврокодах (допускаются) для определения на национальном уровне (NDP) каждой страны ЕС. Это, как правило, относится к географическим, климатическим сведениям (например, ветровые, снеговые нагрузки) и справочным материалам, а в Еврокоде 7, дополнительно – к выбору подхода проектирования (ПП / DA) и др. Национальные приложения каждой отдельной страны не распространяются на другие страны ЕС. Официальные редакции Европейских стандартов: немецкий, английский, французский языки. Европейский стандарт по геотехническому проектированию (Еврокод 7) и остальные стандарты из Программы Еврокодов переведены в Республике Беларусь на русский и подготовлены к изданию РУП «Стройтехнорм» в соответствии с требованиями и мандатами СЕН, поэтому соответствуют статусу национальных Европейских стандартов в Республике Беларусь и его официальной английской редакции. Еврокод 7 введен в действие (как и другие стандарты) Минстройархитектуры Республики Беларусь в 2010 году в качестве Кодекса установившейся практики – ТКП EN 1997-1-2009: Еврокод 7 [1; 2] (далее – ТКП EN, или Еврокод 7). Он является версией перевода с английского официальной редакции немецких норм DIN EN 1997-1:2005-10.

Еврокод 7 состоит из двух частей: ТКП EN 1997-1 «Геотехническое проектирование. Часть 1. Основные правила»; EN 1997-2 «Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунтов» [2]. В данной работе рассматривается только часть 1, которая согласно [1] должна применяться совместно с EN 1990 «Еврокод 0: Основы строительного проектирования» (СЕН, 2002) [3] и EN 1991: Еврокод 1 «Воздействия на сооружения» [4].

Часть 1 Еврокода 7 является общим документом, регламентирующим принципы геотехнического проектирования на базе метода расчета по предельным состояниям (LSD). В частности, в нем дается общий расчет геотехнических воздействий массива грунта на структурные элементы сооружения в виде: опор, фундаментов, свай, подземных частей зданий и др., а также деформаций и напряжений, возникающих в грунте от внешних воздействий. Рекомендуемые детальные сведения проектирования (расчетные схемы и принципы, точные формулы, графики и др.) приводятся в «информативных» (рекомендуемых) приложениях и одном нормативном (обязательном) приложении А, где указаны частные множители и **корреляционные коэффициенты** для критических предельных состояний по прочности, деформациям и рекомендованные их значения (могут уточняться в национальных приложениях).

Расчет оснований фундаментов по ТКП EN [1; 2] производится для проверки предельных состояний (*STR* и *GEO*) – по разрушению (несущей способности) и чрезмерным деформациям конструкции фундамента, в том числе его элементов и их основания (грунтов) с учетом требований Еврокодов (0 и 1) [3; 4]. Проверяется условие (здесь и далее номера формул и др. даются по Еврокоду 7 [1]):

$$E_d \leq R_d, \text{ или } V_d \leq R_d, \text{ – при проектировании фундаментов,} \quad (2.5) \text{ или } (6.1)$$

с использованием частных коэффициентов γ , которые применяются или к репрезентативным воздействиям F_{rep} и к результатам этих воздействий V (формулы (6.2а) и (6.2б)), или к характеристическим параметрам грунта X_k и к сопротивлениям R (формулы (6.3а), (6.3б)).

Для проверки предельных состояний по (2.6) и (2.7) на разрушение или предельные деформации при действии вертикальной вдавливающей нагрузки для традиционных фундаментов используются

частные коэффициенты из обязательного приложения А Еврокода 7, собранные в сочетания исходя из 3-х принципов (подходов) проектирования (ПП1...ПП3 / DA1...DA3).

$$E_d(V_d) = E(V) \{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; \alpha_d \}, \quad (2.6a)$$

$$E_d(V_d) = \gamma_E E(V) \{ F_{rep}; X_k / \gamma_M; \alpha_d \}, \quad (2.6b)$$

$$R_d = R \{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; \alpha_d \}, \quad (2.7a)$$

$$R_d = R \{ \gamma_F F_{rep}; X_k; \alpha_d \} / \gamma_R. \quad (2.7b)$$

В проектном **принципе 1 (ПП 1 / DA 1)** используются 2-а сочетания из наборов частных коэффициентов γ :

- сочетание 1: **A1 «+» M1 «+» R1**;
- сочетание 2: **A2 «+» M2 «+» R1** или **A2 «+» (M1 или M2) «+» R4** – для свай и анкеров, где здесь и далее «+» означает «в сочетании с...».

В проектном **принципе 2 (ПП 2 / DA 2)** используется одно сочетание из наборов частных коэффициентов γ – сочетание **A1 «+» M1 «+» R2**.

В проектном **принципе 3 (ПП 3 / DA 3)** также используется одно сочетание из наборов частных коэффициентов как для плитных, так и свайных фундаментов и анкеров – сочетание (**A1* или A2†**) «+» **M2 «+» R3**, где * – для воздействий от сооружений; † – для геотехнических воздействий; **A**, **M**, **R** – обозначения наборов частных коэффициентов для формул (2.6) и (2.7) в сочетаниях (ПП / DA); **A** – набор частных коэффициентов по приложению А Еврокода 7, применяемых к репрезентативным воздействиям F_{rep} или их результатам; **M** – то же, но применяемых к характеристическим параметрам грунта X_k ; **R** – то же, но применяемых к сопротивлениям.

Три проектных подхода приняты в EN: Еврокод 7 в связи с тем, что среди его разработчиков возникли существенные разногласия по формату проверки предельных состояний STR и GEO. Одни настаивали на двойной проверке (неопределенности внешней нагрузки и устойчивости грунта), другие предпочитали использование только одного формата сочетаний наборов частных коэффициентов [5]. Согласно [1] выбор одного из ПП / DA должен происходить на национальном уровне для каждой страны ЕС после соответствующей их верификации и выполнения процедур и регламентов, предусмотренных директивами CEN.

Исходя из этого, для оценки степени достоверности геотехнических методов расчетов Еврокода 7, выбора проектных принципов и параметров для национального приложения ТКП EN в РУП «Институт БелНИИС» по заданию Минстройархитектуры Республики Беларусь с 2014 по 2016 год проводились исследования, включающие сравнительные геотехнические расчеты, по двум базам норм (ТНПА): *национальным* (ТКП РБ, СТБ РБ) и *европейским* (ТКП EN, СТБ ISO) [1–4]; обобщение, анализ их результатов с выводами и рекомендациями. Для этого использовалась также вспомогательная литература по практическому применению Еврокода 7 в ЕС зарубежных авторов (R. Frank, A. Bond, A. Harris, P. Arnold, G.A. Fenton, M.A. Hicks, T. Schweckendiek, B. Simpson, L.L. Trevor, E.R. Farrel, R. Driscoll, P. Scott, J. Powell) [5; 8; 9 и др.] с комментариями и примерами по проектированию реальных объектов.

Расчет деформации и несущей способности основания плитного фундамента по методам Eurocode 7 производился из условия (6.1), где проектные значения нагрузки V_d назначались согласно Еврокоду 0, а сопротивление фундамента R_d и осадки – на основе рекомендуемых в приложениях D и E Eurocode 7 аппроксимированных уравнений теории упругости с использованием следующих предпосылок и исходных факторов:

- прочность грунта определяется расчетными значениями его свойств c_u , c' и ϕ' ;
- рассматриваются самые распространенные в Республике Беларусь конструкции фундамента, со схемами приложения нагрузок по [1] (с учетом эксцентриситета e , наклона нагрузки i , подошвы фундамента α , ее формы s , глубины ее заложения D и др.);
- инженерно-геологические условия строительства соответствуют наиболее характерным для белорусского региона случаям (состав грунтов основания и их расположение по глубине, простиранию и др.), согласно приложению А в [6].

Расчеты выполнены для плитных, ленточных, столбчатых (квадратных, прямоугольных при $b/1 = 1:2$) фундаментов с шириной подошвы от 0,5 до 3 м и глубиной ее заложения от 0,5 до 2,5 м; стандартных забивных свай с поперечным сечением от 200×200 до 400×400 мм; буронабивных – диаметром от 200 до 1000 мм, погруженных в основание до 12 м. В качестве оснований фундаментов рассмотрены наиболее распространенные в Республике Беларусь четвертичные отложения: пески ($c_{II} = 0$, γ_{II} от 16 до 18 кН/м³, ϕ_{II} от 20° до 36°); глинистые грунты (c_{II} от 10 до 50 кПа; γ_{II} от 18 до 22 кН/м³, ϕ_{II} от 20 до 28°).

Результаты исследований, применения и верификации Еврокода 7. Анализ практики применения Еврокода 7 и других введенных в Республике Беларусь стандартов EN свидетельствует о том, что эти стандарты на текущий момент фактически не действуют в требуемом объеме. В результате ускоренной процедуры внедрения Еврокодов ряд ссылочных стандартов (СТБ EN) не актуализирован в части их перевода и утверждения; не организовано в достаточной мере системное обучение в учреждениях высшего и среднего специального образования и переподготовки технического персонала строительных и проектных организаций.

В частности, эффективность применения Еврокода 7, ТКП EN 1997-1-2009. Ч. 1 низка по следующим причинам:

- отсутствие методических Пособий (рекомендаций), разъясняющих на практических примерах принципы, положения их применения и интерпретацию исходя из условий Республики Беларусь, которые согласно директивам СЕН должны разрабатываться и издаваться перед внедрением Еврокодов в каждой отдельной стране;

- отсутствие достоверных (обоснованных) национальных приложений с уточненными частными коэффициентами, расчетными параметрами, рекомендованными проектными принципами ПП / DA, которые каждая страна, применяющая Еврокоды, должна после проведения соответствующих исследований закреплять их в качестве основных.

В то же время результаты выполненных исследований показывают, что основные подходы к геотехническому проектированию в Европейских [1; 2], национальных [6; 7 и др.] нормах схожи, например:

- требования к составу проекта, объему изысканий, методам проектирования, (2-а предельных состояний), а также способам их контроля в зависимости от ответственности объекта, сложности его проектирования, инженерно-геологических условий, нагрузки и т.д.;

- проектирование фундаментов как в [1], так и в [6; 7] основывается на проверке предельных состояний;

- уровень надежности (недопущения предельных состояний) устанавливается путем использования частных коэффициентов и др.

Несмотря на одинаковые подходы в [1] и [6; 7] к обеспечению прочности, устойчивости и непревышению деформации оснований и фундаментов зданий и сооружений в них, однако, имеются существенные отличия: в терминологии; стилистике; оформлении; изложении и подаче технического текста; в выборе теоретических формул и параметров для количественной оценки грунтов; проч., которые обусловлены исторически сложившимися традициями в научных исследованиях и проектировании, что вызывает значительные трудности при освоении Еврокодов у персонала строительных организаций и приводит к ошибкам в расчетах по нормам Еврокодов даже у специалистов высшей категории [10; 11 и др.].

Рассмотрим обозначенную проблему на примере. Для этого ниже приводится *дублирующий геотехнический расчет* по исходным данным в работе [11]: «...выполнены теоретические определения величин несущей способности грунтового основания, представленного суглинком тугопластичным с расчетными характеристиками: $\varphi_n = 20^\circ$; $c_n = 25$ кПа; $\gamma = 19$ кН/м³; $G_k = 300$ кН; $Q_k = 136$ кН. Из расчета по деформациям определены размеры подошвы фундамента 1,5×1,5 м».

Заметим, что приведенные в [11] исходные данные, в том числе обозначения и др., недостаточно информативны и недостаточно корректны для полноценных расчетов по [1] и [7], поэтому представим их в следующем виде.

Дано: рассчитать плитный столбчатый фундамент для каркасного здания без подвала в городе Бресте с соотношением длины к высоте $L/H = 1,5$ с проектными размерами подошвы (в скобках, здесь и далее даются обозначения по Еврокоду 7): $b \times l (B' \times L') = 1,5 \times 1,5$ м ($A' = 2,25$ м²), расположенный в однородном слое суглинка тугопластичного с нормативными (характеристическими) свойствами по результатам изысканий: $\gamma_{II} (\gamma_k) = 19$ кН/м³; $\gamma_{II \text{ насытка}} = 19 \cdot 0,95 = 18,05$ кН/м³; $\varphi_{II} (\varphi') = 20^\circ$; $c_{II} (c_u) = 25$ кПа (для недреннированного сдвига); $c' = 8,5$ кПа (для дренированного сдвига при эффективном напряжении).

Нормативная (репрезентативная) нагрузка на плитный центрально нагруженный фундамент составляет: постоянная $N_G^n (V_{G,rep}) = 300$ кН; временная $N_Q^n (V_{Q,rep}) = 136$ кН; общая $N^n (V_{rep}) = 436$ кН (процентное отношение временной и постоянной нагрузок к их общей величине соответственно 31 / 69).

Так как глубина заложения подошвы плитного фундамента в исходных данных [11] не приводится, за основу принимаем: глубину промерзания глинистых грунтов в Брестской области – $d(D) = 1$ м; уровень подземных вод – ниже активной зоны фундамента.

Расчеты выполняются по Еврокоду 7 [1] для условий: **А** – без дренирования; **Б** – с дренированием основания; по нормам Республики Беларусь [7]: **В** – неоднородный грунт, что соответствует условию **Б** по методике Еврокода 7 [1].

А. Расчет для недренированного основания производится по формуле (D1) в [1] и по всем проектным принципам ПП1...ПП3 / DA1...DA3, так как преимущественный метод не оговорен в [1] (здесь и далее нумерация формул соответствует Еврокоду 7 [1]):

$$R_d / A' = (\pi + 2)c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q = (\pi + 2)c_u \cdot s_c + q, \quad (D1)$$

где обозначения см. выше в тексте и в приложении D [1] ($s_c = 1, 2$ – для квадратной формы подошвы, $b_c, i_c = 1$).

Расчет по ПП1 для сочетаний 1 и 2

В **сочетании 1 (A1+M1+R1)** частные коэффициенты γ не равны 1 только в наборе A1: $\gamma_Q = 1,5$; $\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$ (см. приложение A [1]). Тогда

$$V_d / A' = \gamma_E \cdot V_{d,rep} / A' = \frac{(\gamma_G \cdot V_{G,rep} + \gamma_Q \cdot V_{Q,rep})}{A'} = \frac{(1,35 \cdot 300 + 1,5 \cdot 136)}{2,25} = 270,67 \text{ кПа.}$$

$$R_d / A' = 5,14 \cdot 25 \cdot 1,2 + 1 \cdot 1,9 = 173,2 \text{ кПа} < V_d / A' = 270,67 \text{ кПа.}$$

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

В **сочетании 2 (A2+M2+R1)** частные коэффициенты не равны 1 в наборах A2 ($\gamma_Q = 1,3$) и M2 ($\gamma_{cu} = 1,4$) ($\gamma_{qu} = 1,4$). Тогда

$$V_d / A' = \gamma_E \cdot V_d / A' = \frac{1 \cdot 300 + 1,3 \cdot 136}{2,25} = 211,91 \text{ кПа;}$$

$$R_d / A' = (\pi + 2) \cdot c_u / \gamma_{cu} \cdot s_c + q / \gamma_{qu} = 5,14 \cdot (25 / 1,4) \cdot 1,2 + (19 \cdot 1) / 1,4 = 123,71 \text{ кПа.}$$

Это меньше давления под подошвой фундамента от нагрузки $V_d / A' = 211,91 \text{ кПа}$.

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

Расчет по ПП2 (сочетание A1+M1+R2)

В наборе A1: $\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$ в наборе R2: $\gamma_{R,V} = 1,4$ (для сопротивления сжатию).

Тогда $V_d / A' = 270,67 \text{ кПа}$ (см. выше сочетание 1 в ПП1).

$$R_d / A' = 5,14 \cdot 25 \cdot 1,2 + 1 \cdot \frac{1 \cdot 19}{1,4} = 167,77 \text{ кПа} < 270,67 \text{ кПа.}$$

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

Расчет по ПП3 (сочетание A1+M2+R3)

В наборе A1: $\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$; в наборе M2: $\gamma_{cu} = 1,4$, $\gamma_{qu} = 1,4$.

Тогда $V_d / A' = 270,67 \text{ кПа} \leq R_d / A' = 5,14 \cdot (25 / 1,4) \cdot 1,2 + (1 \cdot 19) / 1,4 = 123,71 \text{ кПа}$.

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

Таким образом, при использовании ПП1...ПП3 (DA...DA3) для расчета недренированного основания плитного квадратного фундамента его краткосрочная предельная проектная несущая способность по исходным данным настоящего примера не обеспечена ($V_d \leq R_d$). Следовательно, требуется увеличить ширину фундамента или глубину заложения его подошвы.

Б. Расчет для дренированного основания производится по рекомендуемой формуле (D2) в [1]:

$$R / A' = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma, \quad (D2)$$

где b_c, b_q, b_γ – коэффициенты наклона подошвы и нагрузки, равные 1;

N_c, N_q, N_γ – коэффициенты несущей способности, которые являются функциями проектного угла внутреннего трения φ' , определяются с учетом частных коэффициентов и назначаются согласно проектным принципам ПП1...ПП3 (DA1...DA3) по [1].

Для **ПП1 сочетание 1** ($\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,5$; $\gamma_{cu} = \gamma_\varphi = \gamma_\gamma = 1$), получим:

$$N_Q = e^{\pi \tan \varphi' / \gamma_\varphi} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi' / \gamma_\varphi}{2} \right) = e^{3,14 \cdot \tan 20^\circ / 1} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{20^\circ / 1}{2} \right) = 6,40,$$

где $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi' / \gamma_\varphi = (6,40 - 1) \cdot \cot 20^\circ / 1 = 14,84$; $N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi' / \gamma_\varphi = 2 \cdot (6,40 - 1) \cdot \tan 20^\circ / 1 = 3,93$;

$b_c = b_q = b_\gamma = 1$; $i_c = i_q = i_\gamma = 1$; $q' = \gamma \cdot D = (19/1) \cdot 1 = 19$ кПа; $s_q = 1 + (B'/L') \cdot \sin \varphi' = 1 + (1,5/1,5) \cdot \sin 20^\circ / 1 = 1,34$;
 $s_\gamma = 0,7$; $s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) = (1,342 \cdot 6,40 - 1) / (6,40 - 1) = 1,41$. $V_d / A' = 270,67$ кПа (см. расчеты по А);
 $R / A' = (8,5 / 1) \cdot 14,84 \cdot 1 \cdot 1,41 \cdot 1 + 19 \cdot 6,40 \cdot 1 \cdot 1,34 \cdot 1 + 0,5 \cdot (19 / 1) \cdot 1,5 \cdot 3,93 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 380,25$ кН > 270,67 кН.

Условие $V_d \leq R_d$ – удовлетворяется.

Для **ПП1 сочетание 2** ($\gamma_G = 1,3$; $\gamma_c = \gamma_\varphi = 1,25$, $\gamma_\gamma = 1,0$), с учетом $\varphi' / 1,25 = 16^\circ$, получим:

$$V_d / A' = (1 \cdot 300 + 1,3 \cdot 136) / 2,25 = 211,91 \text{ кПа},$$

$N_q = 4,33$; $N_c = 11,60$; $N_\gamma = 1,91$; $s_q = 1,28$; $s_c = 1,36$; $s_\gamma = 0,7$; $q' = 1 \cdot (19/1) = 19$ кПа;

$R / A' = (8,5/1,25) \cdot 11,60 \cdot 1 \cdot 1,36 \cdot 1 + 19 \cdot 4,33 \cdot 1 \cdot 1,28 \cdot 1 + 0,5 \cdot 19/1 \cdot 1,5 \cdot 1,91 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 231,64$ кПа > 211,91 кПа.

Условие $V_d \leq R_d$ – удовлетворяется.

Для **ПП2** ($\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$, $\gamma_{RV} = 1,4$) получим

$V_d / A' = 270,67$ кПа (см. А) < $R / A' = 333,44$ кПа (см. ПП1, сочетание 1, где $q' = (1 \cdot 19) / 1,4 = 13,57$).

Условие $V_d \leq R_d$ – удовлетворяется.

Для **ПП3** ($\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$, $\gamma_c = \gamma_\varphi = 1,25$), с учетом $\varphi' / 1,25 = 16^\circ$, получим:

$V_d / A' = 270,67$ кПа; $N_c = 11,60$; $N_q = 4,33$; $N_\gamma = 1,91$; $q = 19$ кПа; $s_q = 1,342$; $s_c = 1,41$; $s_\gamma = 0,7$;

$R_d / A' = 231,64$ кПа (см ПП1, сочетание 2) < 270,67 кПа (см. А).

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

В. Расчет по национальным нормам (ТНПА) ТКП 45-5.01-67-2007 [7]

Оценка несущей способности основания фундаментов производится согласно [7] с использованием нормативных нагрузок и характеристик грунтов (для II группы предельных состояний) исходя из выполнения следующих условий: $p_m < R$ (для центрально нагруженных фундаментов), где p_m – среднее давление под подошвой фундамента, кПа, от нормативной нагрузки N' ; R – расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента, определяемое по формуле (5.16) в [7]:

$$R = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{k} (M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d \cdot \gamma_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma_{II} + M_c + c_{II}). \quad (5.16)$$

Здесь, согласно [7], для суглинка тугопластичного при $\varphi_{II} = 20^\circ$: $\gamma_1 = 1,2$; $\gamma_2 = 1,1$; $M_\gamma = 0,51$; $M_q = 3,06$; $M_c = 5,66$; k и $k_z = 1$. Тогда

$$R = \frac{1,2 \cdot 1,1}{1} (0,51 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 19 + 3,06 \cdot 1 \cdot 18,05 + 5,66 \cdot 25) = 278,88 \text{ кПа} > p_m = 436/2,25 = 193,78 \text{ кПа}.$$

Условие $p_m < R$ **обеспечено**. Ширина фундамента подобрана с существенным запасом (разница между p_m плюс 31% более допускаемых 10% по [7]).

Итоговые результаты сравнительных расчетов, приведенных в [11], и дублирующего расчета (см. выше), выполненных по нормам [1] и [7], сведены в таблицу.

Из вышеперечисленных сравнительных расчетов следует, что в примере работы [11] некорректно приняты исходные данные для расчета по Еврокоду 7 и в формуле DA2, рекомендуемой в [1] для оценки несущей способности дренированных грунтов, использовалось значение сцепления $c_u = 25$ кПа (при **недренированном** сдвиге), а как сцепление c' (для **дренированного** грунта, при эффективном давлении), которое в несколько раз ниже. Очевидно, это привело к значительному завышению результатов расчета, о чем свидетельствуют данные, представленные в таблице.

Анализ выполненных в РУП «Институт БелНИИС» исследований во всем диапазоне нагрузок, типов грунтов и фундаментов, их характеристик (см. приведенную выше методику) показал, что отклонения между результатами аналитических расчетов при использовании свойств грунтов по двум базам ТНПА Республики Беларусь как для плитных, так и свайных фундаментов не превышают $i = (10 \dots 50)\%$. Наименьшие расхождения ($i = 5 \dots 20\%$) имеют место при расчетах предельных состояний дренированных оснований фундаментов по сочетанию 2 ПП1 / DA1 и DA3 / DA3 в диапазоне углов внутреннего трения φ , составляющем $20 \dots 30^\circ$ (пески) и $20 \dots 28^\circ$ (глинистые грунты), при ширине подошвы плитных фундаментов $b = (0,5 \dots 2)$ м с глубиной ее заложения до 2 м.

Указанная закономерность относится также к сваям. При этом совпадение результатов между двумя базами ТНПА для них существенно зависит от диаметра или размера большей стороны сваи. Чем больше диаметр свай, тем выше процент отклонения в результатах расчетов по двум базам ТНПА Республики Беларусь. Расхождение может превышать 100% и более [12].

Итоговые результаты сравнительных расчетов для основания фундамента 1,5×1,5 м ($A = 2,25 \text{ м}^2$, $N^n = 436 \text{ кН}$)

Вариант расчета	Давление под подошвой фундамента		Предельное расчетное сопротивление грунта R согласно [7] и R_d/A' (числитель), кПа, и его отклонение от эталонного значения (знаменатель), %, по методам					Примечания
	ТКП РБ [7]: p_m , кПа (нормативное)	ТКП ЕН [1]: V_d / A' , кПа (проектное)	ТКП ЕН: Еврокод 7 [1] для проектных принципов				ТКП РБ [7] (эталон)	
			ПП1		ПП2	ПП3		
			сочетание 1	сочетание 2				
1 Дублирующий:								
А – для недрениро- ванного основания	193,78	270,67; 211,91 для сочетания 2 ПП1/DA1	$\frac{173,2}{(-)38}$	$\frac{123,71}{(-)56}$	$\frac{167,77}{(-)40}$	$\frac{123,71}{(-)56}$	—	В ТКП РБ по варианту “А” расчет не предусмотрен. Эталон условно принят по варианту “Б”
Б – для дрениро- ванного основания	То же	$\frac{380,25}{(+27)}$	$\frac{173,2}{(-)38}$	$\frac{123,71}{(-)56}$	$\frac{167,77}{(-)40}$	$\frac{123,71}{(-)56}$	—	
А – для недрениро- ванного основания	193,78	270,67; 211,91 – для сочетания 2 ПП1/DA1	$\frac{173,2}{(-)38}$	$\frac{123,71}{(-)56}$	$\frac{167,77}{(-)40}$	$\frac{123,71}{(-)56}$	—	
Б – для дрениро- ванного основания	То же	То же	$\frac{380,25}{(+27)}$	$\frac{231,64}{(-)17}$	$\frac{333,44}{(+17)}$	$\frac{231,64}{(-17)}$	$\frac{278,88}{0}$	
2 По статье [11]:								
А – для недрениро- ванного основания	193,78	—	—	—	—	—	—	В [11] по варианту “А” данных нет. Эталон условно принят по варианту 1 “Б”
Б – для дрениро- ванного основания	То же	См. вариант 1	$\frac{758,18}{(+63)}$	$\frac{476,62}{(+41)}$	$\frac{541,56}{(+48)}$	$\frac{476,44}{(+41)}$	$\frac{599,02}{(+53)}$	
Расхождения ре- зультатов между методами [1] и [7], %, указанные в работе [11]	То же	То же	149	102	77,8	56,0	142,5	Некорректные данные

Выводы

1. Ускоренная процедура введения в Республике Беларусь европейских норм по геотехническому проектированию не позволила выполнить в необходимом объеме указания директив СЕН ЕС и национальной «Программы мероприятий по внедрению Еврокодов», связанные с изданием методической литературы, переподготовкой технического персонала организаций, оснащением лабораторий оборудованием по стандартам ЕН на испытания грунтов и др. В результате Еврокод 7 до настоящего времени не актуализирован.

2. Анализ Еврокода 7 [1] и национальных норм [6; 7], практика их применения показывают следующее: несмотря на одинаковые принципы и подходы, заложенные в этих нормах, к обеспечению прочности, устойчивости, недопущению предельных деформаций оснований и фундаментов, в них имеются существенные отличительные особенности, обусловленные исторически сложившимися традициями в области теории (применения расчетных моделей), проектирования, производства, технологии проведения работ, в том числе в терминологии, стилистике и форме изложения технического и нормативного материала, что затрудняет их восприятие и приводит к значительным ошибкам при расчетах даже среди специалистов высшей квалификации (см. дублирующий расчет к работе [11]). Для успешного завершения внедрения Еврокода 7 в практику проектирования оснований и фундаментов в Республике Беларусь необходимо скорректировать Программу по их внедрению, в частности: *завершить* сравнительные исследования по оптимизации расчетных принципов, положений и схем Еврокода 7 с учетом грунтовых условий Республики Беларусь, на основе которых актуализировать его национальные приложения и гармонизировать их с национальными ТНПА; *обеспечить* методическое сопровождение внедрения ТКП ЕН 1997-1-2009: Еврокод 7 в проектную практику строительных организаций посредством обучающих семинаров для их сотрудников, издания соответствующих методических документов (рекомендаций) с комментариями по применению частных и общих положений норм ЕС, примерами расчетов и др.

3. Выполненные в РУП «Институт БелНИИС» сравнительные исследования эффективности в условиях белорусского региона двух нормативных баз ТНПА Республики Беларусь (европейских, национальных) по геотехническому проектированию показали, что наибольшее совпадение между результата-

ми аналитических расчетов по ним оснований фундаментов с использованием физико-механических характеристик грунтов достигается при использовании проектных подходов Еврокода 7-ПП1 (сочетание 2) и ПП3 в диапазоне углов внутреннего трения грунта ϕ от 20 до 28° при ширине подошвы плитного фундамента (0,5...2) м с глубиной ее заложения до 2 м, которые рекомендованы для закрепления в национальных приложениях ТКП EN в качестве основных. Подобная закономерность прослеживается и для свай. При этом наилучшее совпадение результатов наблюдается для свай с диаметром или большей стороной (200...500) мм [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Ч. 1. Общие правила : ТКП EN 1997-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 121 с.
2. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Ч. 2. Исследование и испытания грунта : ТКП EN 1997-2-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 140 с.
3. Еврокод 0. Основы проектирования строительных конструкций : ТКП EN 1990-2011*. – Введ. 15.11.2011. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2015. – 86 с.
4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Ч. 1-2...7. Общие воздействия: ТКП EN 1991-1-...7-2009. – Введ. 10 дек. 2009. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2010.
5. Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design – General Rules / R. Frank [and oth.]. – London : Thomas Telford LTD, 2004. – 213 p.
6. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.01-254-2012. – Введ. 05.01.2012. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2012. – 164 с.
7. Фундаменты плитные. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-67-2007. – Введ. 05.09.2007. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2008. – 36 с.
8. Driscoll, R. EC7 – Implications for UK practice. Eurocode geotechnical design / R. Driscoll, P. Scott, J. Powell. – London : CIRIA, 2008. – 120 p.
9. Eurocode 7: Geotechnical design. Worked examples / A. Bond [and oth.]. – Italy: European union, 2013. – 160 p.
10. Никитенко, М.И. Отличия при расчете плитных фундаментов по Европейским и национальным нормам / М.И. Никитенко, С.В. Игнатов // Строительная наука и техника. – 2011. – № 2(35). – С. 19–22.
11. Тур, В.В. Проектирование фундаментов на естественном основании (распределяющих) согласно Еврокоду 7 / В.В. Тур, А.Н. Тарасевич, В.Н. Дедок // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XXI междунар. семинара / БрГТУ ; редкол.: Н.Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2018. – Ч. 1 – С. 379.
12. Krautsoo, U. Comparative analysis of European and Belarusian standards for geotechnical design of pile foundations in the context of the Republic of Belarus [Electronic resource] / U. Krautsoo // Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers. – Minsk : Institute BelNIIS. – 2018. – Vol. 10. – P. 28–50. – Режим доступа: <https://doi.org/10.23746/2018-10-03>.

Поступила 02.06.2019

PRACTICE IN THE APPLICATION OF EUROCODE 7 IN THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE COMPARISON RESULTS OF THE GEOTECHNICAL CALCULATION OF BASES FOUNDATION ACCORDING TO EUROPEAN AND NATIONAL STANDARDS

V. KRAVTSOV

In article the questions connected with enforcement of the European norms in Republic of Belarus and their interrelations with national standards are taken up. The main results of the geotechnical researches executed in RUP "Institute of BELNIIS" and verification of the European methods of calculation of foundations of the bases are given in soil conditions of the Belarusian region for the purpose of specification of parameters of national applications of Evrokod 7. Comments on the principles of design on European are given, to norms and their analysis. It is established that the divergence between calculation results of foundations of both the slabby, and pile bases, an analytical method with use of physicommechanical characteristics of soil on two bases of national standards (TNLA) of Republic of Belarus at achievement of a limit state, makes 10...50%, depending on the applied design approach – DA1...DA3 (III1...III3). Design approaches which give the smallest divergence between TNLA bases of Republic of Belarus are recommended for their fixing in national applications of Evrokod 7 as the main.

Keywords: European and national standards, geotechnical design, slab and pile foundations, base foundation, bearing capacity, design approaches of calculation.

УДК 691.3

**СТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ БЕТОНОВ
С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ К СУЛЬФАТНОЙ КОРРОЗИИ****А.В. ЛАСТОВСКАЯ; канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЕНОВА; САТИ РАБИХ
(Полоцкий государственный университет)**

Проведен краткий анализ ускоренных методов определения сульфатостойкости бетона на основе цемента. Получены результаты исследования стойкости цементного камня к сульфатной коррозии на малых образцах по показателям массы, плотности, прочности. Установлено, что значение массы и плотности цементного камня, модифицированного полимерными добавками DLP2141, DLP2000, после нахождения в агрессивной среде изменяется менее активно по сравнению с образцами без добавки. Снижение прочности на сжатие цементного камня с полимерными добавками происходит менее интенсивно по сравнению с цементным камнем без добавок. Методика испытаний по показателям массы, плотности и прочности позволяет оценить влияние сульфатосодержащей среды на процессы структурообразования модифицированного цементного камня. Установлено, что полимерные добавки DLP2141, DLP2000 повышают сульфатостойкость цементного камня.

Ключевые слова: агрессивная среда, сульфатная коррозия, полимерные добавки, ускоренные методы определения сульфатостойкости.

Введение. Долговечность бетона и железобетона зависит от большого числа факторов, основными из которых являются: условия эксплуатации; вид и состав бетона; степень агрессивности грунтовых вод, воздействию которых подвергаются конструкции. В пресных водоемах содержание сульфат-ионов достигает 60 мг/л; в минерализованных грунтовых водах – 200...400 мг/л; в морской воде – 2500...2700 мг/л [1]. Сульфаты, находящиеся в агрессивной среде, соприкасающейся с цементным камнем, способны в значительной степени повысить растворимость составляющих цементного камня и вызвать развитие обменных реакций с замещением катиона в сульфате на ион кальция из цементного камня (коррозия второго вида). Вместе с тем действие сульфатов может стать причиной развития процессов коррозии третьего вида [2].

Коррозионная стойкость бетонов определяется двумя главными показателями – проницаемостью для агрессивных сред и способностью цементного камня и заполнителя вступать в химическое взаимодействие с компонентами агрессивных сред. Показано [3], что при взаимодействии компонентов цементной матрицы бетона с агрессивной средой образуется два типа коллоидов: 1-й состоит из геля кремнекислоты, который образуется в результате взаимодействия силикатной составляющей цементного камня с агрессивной средой; 2-й тип образуется в результате химической реакции компонентов агрессивной среды с основными частями цементного камня, содержащими ионы кальция: CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и т.д.

В последние десятилетия внимание исследователей привлекают два деструктивных процесса – позднее образование этtringита $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ и таумасита $\text{Ca}_6[\text{Si}(\text{OH})_6]_2 (\text{SO}_4)_2 (\text{CO}_3)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$. Обзор отечественных и зарубежных работ по вопросам образования этtringита и таумасита приведен в [4; 5].

Низкая проницаемость бетона обеспечивается комплексом мероприятий:

- применением добавок;
- назначением гранулометрического состава заполнителей и минеральных добавок, обеспечивающих получение структуры бетона с минимальным объемом и минимальными размерами пор и капилляров;
- уплотнением бетонной смеси;
- оптимальными режимами твердения.

Один из эффективных способов снижения интенсивности массопереноса и, соответственно, получения бетонов высокой коррозионной стойкости – применение водоредуцирующих и гидрофобизирующих добавок в цементных бетонах. На строительном рынке широко представлены полимерные добавки – водорастворимые смолы, латексы и поливинилацетаты. Практика показывает, что влияние полимерных добавок на свойства цементно-полимерных композиций зависит от ряда факторов, в том числе от условий твердения и характеристик цемента, так как для твердения минеральной и полимерной матрицы необходимы разные условия [6; 7]. В связи с этим изучение влияния полимерных добавок на основе винилацетата – сополимера этилена и акрила (торговой марки Dow Chemical Company) – на стойкость цементного камня к сульфатной коррозии является актуальной задачей.

Методы исследований сульфатостойкости цементного камня. Испытания на коррозионную стойкость требуют длительного времени, отсюда понятно стремление исследователей разработать такие методы, чтобы получить верные результаты в самый короткий срок. Для испытания цементов на устойчивость к химической агрессии обычно применяют образцы из цементных композитов, которые помещают в соответствующую агрессивную среду, наблюдая за изменением их внешнего вида, образцы испытывают на прочность при изгибе и сжатии, определяют величину расширения, динамического модуля упругости и т.д.

Разработанный В.В. Киндом метод малых образцов – разновидность метода Коха и Штейнеггера. В качестве образцов В.В. Кинд использовал призмы с размерами $1 \times 1 \times 3$ см, в качестве заполнителя – песок, более крупный, чем обычно (вольский с $M_{кр} = 2,4 \dots 2,5$), чтобы придать образцам более пористую структуру. Благодаря этому агрессивные растворы легче проникают вглубь образца и быстрее разрушают его, что позволяет ускорить сроки испытаний.

Анстетт [8] предложил метод испытания цементов на сульфатостойкость, основанный на измерении расширения прессованных образцов-цилиндров из измельченного затвердевшего цементного камня с добавкой 50% масс. двуводного гипса, помещенных во влажные условия. Сульфатостойкость оценивалась по расширению диаметра опытного образца, которое ограничивалось 1,25%.

Миллер [9] снова обратился к методу измерения расширения образцов в сульфатной среде с применением цилиндров размерами 5×10 см. В результате установил, что удлинение образцов 0,25 мм на каждые 10 см длины соответствует потере прочности на 50...70%. О стойкости образцов можно также судить и по тому, сколько времени требуется для расширения их в сульфатном растворе на 0,25 мм. Однако в дальнейшем Миллер [10] пришел к выводу о недостаточной надежности своих ранних опытов.

Торвальдсон, Ларму и Вигфуссон [11] за меру агрессии принимали величину набухания образцов в сульфатных растворах, причем они сравнивали между собой прочность на изгиб образцов цементного раствора 1:3 после нахождения их в воде и растворе сульфата натрия, а также расширение призм того же состава.

Мерриман [12] разработал и применил ускоренный метод испытания на сульфатостойкость. Образцы-пластины с размерами $5 \times 10 \times 0,6$ см, изготовленные из чистого цементного теста, после суточного хранения в формах во влажной камере помещал в 10%-ный раствор сульфата натрия. Признаком сульфатостойкости Мерриман считал отсутствие трещин и искривлений на образцах после 28-суточного хранения.

В Рекомендациях по способам защиты бетона в условиях сульфатной агрессии [13] предлагается методика ускоренного метода определения сульфатостойкости бетона, основанная на сравнении скорости поглощения агрессивных ионов SO_4^{2-} испытуемым цементным камнем. Для определения сульфатостойкости бетона на обычном портландцементе рекомендуется изготавливать образцы-кубики размерами $5 \times 5 \times 5$ см, твердение которых следует проводить по режиму, соответствующему режиму тепловой обработки для конкретных элементов конструкций. Состав бетона подбирают таким образом, чтобы обеспечить марку по водонепроницаемости не менее В8. На каждое испытание изготавливают по 6 образцов-близнецов из одного замеса. Образцы помещают в эксикатор и заливают раствором сульфата натрия в количестве 5 л, приготовленного из расчета 2,8 г безводного сульфата натрия (Na_2SO_4) в 1 л дистиллированной воды. Если на испытание назначают образцы разных составов бетона, раствор сульфата натрия следует заготовить сразу на весь объем работы.

После погружения образцов в агрессивный раствор в сроки, соответствующие 1, 3, 6, 9 и 12 неделям, из каждого эксикатора отбирают пипеткой пробы агрессивного раствора для определения ионов SO_4^{2-} в количестве 100 мл. Содержание ионов SO_4^{2-} определяют в каждой пробе и в исходном агрессивном растворе, приготовленном для испытания кубиков. Для определения содержания в растворе сульфатных ионов в отобранную пробу исследуемого раствора в количестве 100 мл добавляют 1 мл концентрированной соляной кислоты (HCl), нагревают и доводят почти до кипения. В 25 мл 2,5%-ного раствора BaCl, доведенного до кипения, добавляют при помешивании исследуемый раствор и оставляют на нагревательном приборе на 3 ч, накрыв стакан с исследуемым раствором часовым стеклом. Раствор, охладив затем до комнатной температуры, фильтруют через плотный фильтр (синяя лента). Осадок количественно переносят на фильтр и промывают теплой водой до исчезновения в промывных водах реакции на ион хлора (по азотнокислородному серебру). Фильтр с осадком переносят в тигель, высушивают в сушильном шкафу и прокаливают при температуре 800...900 °C до постоянной массы. Рассчитывают содержание сульфатных ионов SO_4^{2-} в растворе (мг/л).

На основе проведенного анализа методов исследования сульфатостойкости цементного камня при проведении эксперимента предложено оценивать коррозионную стойкость модифицированного цементного камня по трем показателям: массе, плотности и прочности. Образцы цементного камня без добавок и с добавками полимеров высушивались до постоянной массы и помещались в сульфатосодержащую среду. По достижении 28, 60 и 120 суток образцы извлекались из агрессивной среды для определения массы, геометрических характеристик и оценки внешних изменений.

Для приготовления 2%-ного раствора применялся десятиводный сульфат натрия $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. Сульфат натрия кристаллизуется из водных растворов с десятью молекулами воды ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) (в таком виде называется глауберовой солью). Основные физические свойства сульфата натрия (Na_2SO_4): молярная масса – 142; плотность (20 °C) – 2,68 г/см³; температура плавления составляет 883 °C; растворимость в воде (20 °C) – 19,2 г/100 мл.

Массу соли и массу раствора определяли следующим способом:

- молярная масса – $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 142,04$ г/моль;
- молекулярная масса – $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 142,04 + 10 \cdot 18 = 322,19$ г/моль;
- на один литр дистиллированной воды рассчитывается количество молей:

$$0,02 = \frac{142n}{1000 + 322n} \Rightarrow n = 0,1475 \text{ моль};$$

- масса глауберовой соли составляет $m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,1475 \cdot 322 = 47,5$ г.

Используемые материалы

Для проведения исследований применялся портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» ЦЕМ I, 42,5Н, удовлетворяющий требованиям СТБ EN197-1-2015[3]. Показатели физико-механических характеристик цемента: плотность – 3200 кг/м^3 ; НГЦТ – 25%; активность – 45 МПа.

В качестве добавок использовались: полимерная добавка на основе акрила Primal SM330; полимерные добавки на основе винилацетата – сополимер этилена DLP2141 и DLP2000.

Полимерная добавка Primal SM330 представляет собой молочную, белую жидкость, удельная плотность которой составляет $1,06 \text{ г/см}^3$; сухой остаток – 46,5...47,5%; pH – 9,5...10,5; $t_{\text{пленикообр.}} = 10^\circ\text{C}$.

Полимерная добавка DLP2141 – белый сыпучий порошок на основе винилацетата – сополимер этилена (остаточная влажность макс. 2%; объемная плотность 0,400...0,550 г/мл; зольность 10...14%; pH 7,5; $t_{\text{пленикообр.}}$ составляет 3°C).

Полимерная добавка DLP2000 представляет собой белый сыпучий порошок на основе винилацетата-сополимер этилена, остаточная влажность макс. 2%; объемная плотность 0,375...0,525 г/мл; зольность 10...14%, pH 6, $t_{\text{пленикообр.}}$ составляет 3°C .

Ранее было установлено, что дозировка исследуемых полимерных добавок не должна превышать 3% от массы цемента, а наиболее благоприятным температурным режимом является режим с температурной обработкой t , равной 60°C , в течении 2-х часов. При заданной дозировке и режиме твердения изготавливались образцы кубики с ребром 20 мм. В возрасте 7 суток определялась влажность образцов при помощи влагомера МГ4Б, взвешивались на весах ВК-300 и определялись их геометрические характеристики, после чего погружались в агрессивный раствор. По достижении 28 и 60 суток нахождения модифицированного цементного камня в агрессивной среде образцы извлекались из раствора, высушивались до постоянной массы, после чего проводились испытания на прочность при сжатии на прессе ПГМ-500МГ4А, также определялась масса образцов, измерялись геометрические характеристики и фиксировались внешние изменения образцов-кубиков.

Экспериментально установлено:

- образцы цементного камня, модифицированные полимерной добавкой DLP2000, набирают массу после 28 суток нахождения в агрессивной среде на 8,4%;
- через 60 суток первоначальная масса увеличилась на 2,9%, т.е. за период с 28 до 60 суток произошло снижение массы на 5,5%;
- при дальнейшем нахождении в течение последующих 60 суток в агрессивной среде масса незначительно увеличилась на 1,6%.

Результаты измерений плотности цементного камня представлены в таблице 1, динамика изменения массы образцов показана в таблице 2.

Таблица 1. – Влияние агрессивной среды на плотность цементного камня

Наименование полимерных добавок	Плотность модифицированного цементного камня, кг/м^3						
	до погружения в агрессивную среду в возрасте 7 суток	после извлечения из раствора	после сушки образцов	после извлечения из раствора	после сушки образцов	после извлечения из раствора	после сушки образцов
		28 суток в растворе		60 суток в растворе		120 суток в растворе	
Без добавок	1695,83	2059,03	1727,08	2129,86	1896,08	1931,2	1693,75
DLP2141	1654,17	1959,03	1663,89	2013,54	1688,19	1931,33	1545,30
DLP2000	1559,72	2009,03	1690,04	1958,68	1648,61	1833,75	1566,25
PrimalSM300	1691,67	2072,92	1736,53	2168,40	1819,79	1898,75	1713,75

Таблица 2. – Влияние агрессивной среды на массу модифицированного цементного камня

Наименование полимерных добавок	7 суток до погружения		28 суток в растворе		7 суток до погружения		60 суток в растворе		7 суток до погружения		120 суток в растворе	
	Поверхностная влажность образцов до погружения W (%)	Масса до погружения m (г)	Масса после извлечения из агрессивной среды, m (г)	Масса после сушки, m (г)	Поверхностная влажность образцов до погружения W (%)	Масса до погружения m (г)	Масса после извлечения из агрессивной среды, m (г)	Масса после сушки, m (г)	Поверхностная влажность образцов до погружения W (%)	Масса до погружения m (г)	Масса после извлечения из агрессивной среды, m (г)	Масса после сушки, m (г)
Контрольный образец	14,7	12,210 (100)	14,825 (121,42)	12,435 (101,84)	14,5	12,535 (100)	15,335 (122,3)	12,795 (102,07)	14,6	12,58 (100)	15,45 (123,1)	13,55 (107,71)
DLP2141	13,8	11,910 (100)	14,105 (118,43)	11,980 (100,59)	13,4	12,070 (100)	14,497 (120,1)	12,155 (103,98)	13,7	11,95 (100)	14,35 (120,1)	12,36 (103,43)
DLP2000	15,5	11,230 (100)	14,465 (128,81)	12,1683 (108,36)	15,1	11,540 (100)	14,102 (122,2)	11,87 (102,86)	15,4	11,96 (100)	14,67 (122,76)	12,53 (104,76)
Primal SM330	13,2	12,180 (100)	14,925 (122,54)	12,503 (102,65)	13,4	12,535 (100)	15,612 (124,6)	13,1025 (104,53)	13,3	12,04 (100)	15,19 (126,16)	13,71 (113,8)

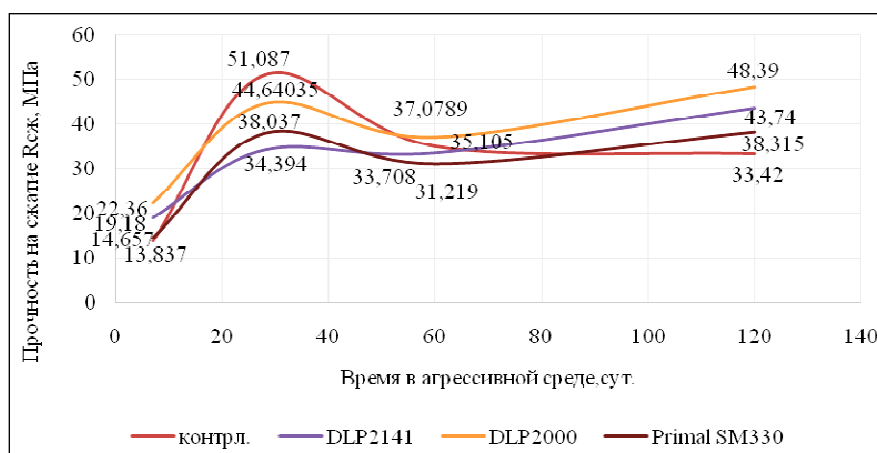
Образцы цементного камня, модифицированные полимерной добавкой DLP2141, спустя 60 суток нахождения в агрессивной среде увеличили свою массу на 3,98%, к 120 суткам этот показатель не изменился.

Образцы цементного камня, модифицированные полимерной добавкой Primal SM330, и образец без добавки, погруженные в агрессивную среду, весь период исследований набирали массу. Спустя 120 суток масса образцов, модифицированных полимерной добавкой Primal SM330, увеличилась на 13,8%, а образцов без добавки – на 7,71%. При этом плотность цементного камня под воздействием агрессивной среды образцов без добавок изменилась: спустя 28 и 60 суток соответственно увеличилась на 1,8 и 11,8% (таблица 2).

Плотность цементного камня, модифицированного добавкой DLP2141, увеличилась на 0,6 и 2,1% соответственно через 28 и 60 суток нахождения в агрессивной среде.

Плотность цементного камня, модифицированного добавкой Primal SM330, увеличилась на 2,7 и 7,6% соответственно спустя 28 и 60 суток нахождения в агрессивной среде.

Через 120 суток нахождения в агрессивной среде показатели плотности у всех исследуемых образцов уменьшились до уровня первоначальных значений до погружения в агрессивную среду.



Влияние агрессивной среды на прочность цементного камня

Результаты эксперимента показали, что спустя 28 суток нахождения в агрессивной среде произошло повышение прочностных характеристик цементного камня как без добавок, так и с полимерными добавками. Данное явление, характеризующееся повышением значений физико-механических свойств в агрессивной среде, получило название «позитивной коррозии», что, возможно, связано с развитием физико-химических процессов, вызывающих уплотнение и кольтматацию пор, и подтверждается результатами определения массы и плотности образцов.

Период с 28 по 60 сутки нахождения в агрессивном растворе характеризуется снижением прочности на сжатие – период деградации. Прочность цементного камня без добавок снизилась в 1,8 раза по сравнению с прочностью, набранной в агрессивном растворе через 28 суток. Для цементного камня, модифицированного добавками DLP2141, DLP2000 и Primal SM330, снижение прочности произошло соответственно в 1,11; 1,05; 1,36 раза. Снижение прочности цементного камня с полимерными добавками происходит менее интенсивно по сравнению с цементным камнем без добавок. Можно предположить, что полимеризация усиливает процесс кольтматации пор, в результате чего снижается количество отложений малорастворимых веществ и затормаживаются процессы коррозии. За период с 60 по 120 суток прочность начинает снова увеличиваться, по сравнению со значениями в возрасте 60 суток для цементного камня, модифицированного добавками DLP2141, DLP2000 и Primal SM330 и без добавок этот показатель вырос в 1,4; 1,14; 1,17; 1,15 раза соответственно.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать следующие **выводы**:

- в присутствии полимерных добавок DLP2141, DLP2000 замедляется рост значений плотности и происходит снижение значений прочности на сжатие при воздействии на цементный камень агрессивной среды;

- методика испытаний малых образцов по показателям массы, плотности и прочности в раннем возрасте позволила получить сопоставимые результаты по исследуемым параметрам, характеризующим процессы, происходящие в структуре модифицированного цементного камня в условиях сульфатосодержащей среды;

- анализ данных по исследуемым параметрам позволяет утверждать, что полимерные добавки DLP2141, DLP2000 повышают сульфатостойкость цементного камня, так как накопление продуктов

коррозии в структуре модифицированного цементного камня идет менее активно и, как следствие, их деструктивное влияние менее выражено по сравнению с цементным камнем без добавок, что подтверждается показателями массы, плотности и прочности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение стойкости бетона в условиях агрессивной среды / Б.Г. Клочко [и др.], 2004. – 188 с.
2. Рязанова, В.А. Обеспечение сульфатной коррозии бетона в условиях направленного влагопереноса / В.А. Рязанова // Башкирский химический журнал. – 2016. – Т. 23, № 3. – С. 45.
3. Федосов, С.В. Сульфатная коррозия бетона / С.В. Федосов, С.М. Базанов. – М. : АСВ, 2003. – 192 с.
4. Брыков, А.С. Сульфатная коррозия цементных бетонов / А.С. Брыков // Цемент и его применение. – 2014. – № 6. – С. 96–103.
5. Кинд, В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях / В.В. Кинд. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1955. – 320 с.
6. Ружицкая, А.В. Влияние условий твердения и характеристик редиспергируемых полимерных порошков на свойства цементно-полимерных композиций / А.В. Ружицкая, Е.Н. Потапова // Успехи в химии и химической технологии. – 2009. – Т. XXIII, № 7(100). – С. 36.
7. Несветаев, Г.В. Влияние добавок-модификаторов на процессы гидратации портландцемента / Г.В. Несветаев, Т.А. Малютина // Строительство-2003 : материалы междунар. конф. – Ростов н/Д : РГСУ, 2003. – 17 с.
8. Anstett, F. Methods of testing cement to sulphate / F. Anstett. – Rev. Mat. Concr., 1923. – 162 p.
9. Miller, D. Specimens of concrete expansion by sulphate solution / D. Miller // Univ. Minnesota. Paper. – 1926. – 625 p.
10. Miller, D. Impact of enlargement on the strength of the specimens / D. Miller. – ASTM Rep., 1943.
11. Jhorvaldson, Y. Value as a measure of the expansion patterns of aggression sulphate environments / Y. Jhorvaldson, R. Larmor // Eng. J. April, 1927.
12. Merriman, J. Accelerated test method for sulphate / J. Merriman // Jort Peck Dam. Spec. 1933.
13. Рекомендации по способам защиты бетона в условиях сульфатной агрессии / М-во транспорта строительства, 1984.

Поступила 17.06.2019

RESISTANCE OF CONSTRUCTION STRUCTURES BASED ON CONCRETE WITH POLYMERIC ADDITIVES TO SULFATE CORROSION

A. LASTOUSKAYA, L. PARFENOVA, SATI RABIH

This article analyzes the existing methods for determining the sulfate resistance of concrete based on cement. The results of the study of concrete resistance by three indicators (weight, density, strength) based on Portland cement modified with polymer additives Primal SM330, DLP2141, DLP2000 in the amount of 3% by weight of cement are obtained. It is shown that a variety of methods for determining the resistance of concrete distort the results and research in this direction remains an urgent topic. The use of concrete based on modified cement allows you to create concrete structures with high strength characteristics in aggressive environments, as well as increase durability.

Keywords: aggressive environment, sodium sulfate, sulfate corrosion, polymer additives, methods for determining the durability of concrete.

УДК 624.012.25

ВЛИЯНИЕ ВИДА СЕТОК ДЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ ШВАХ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОРОТКИХ АРМОКАМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

д-р техн. наук, проф. Д.Н. ЛАЗОВСКИЙ; А.М. ХАТКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния коротких армокаменных элементов с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах. Для поперечного армирования опытных образцов использовались традиционно применяемые сетки из перекрестных стержней и сетки в виде плоских спиралей. Предложена усовершенствованная конструкция спиральной сетки с уменьшением шага витков от центральной к внешней части спирали. Экспериментально подтверждена возможность снижения до 10% расхода арматуры на изготовление новых усовершенствованных сеток с сохранением прочности армокаменного элемента. Получены данные о диаграммах деформирования кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней и сетками в виде плоских спиралей. На основании анализа опытных данных установлено влияние вида армирования на значения коэффициента поперечных деформаций.

Ключевые слова: поперечное армирование, каменная кладка, армокаменные элементы, сетки из перекрестных стержней, сетки в виде плоских спиралей, сжатие.

Введение. Опыт применения строительного материала каменной кладки для возведения зданий, сооружений и их отдельных элементов в мировой практике насчитывает тысячелетия, а перспективность ее использования в обозримом будущем не подлежит сомнению благодаря возможности использования местных материалов, достаточно высокой прочности, долговечности, огнестойкости, декоративным качествам, простоте изготовления, оптимальному сочетанию теплотехнических свойств, воздухо- и паропроницаемости и т.п.

С помощью поперечного армирования, размещаемого в горизонтальных растворных швах, получают армокаменные элементы, обладающие высокими технико-экономическими показателями, в частности высоким значением сопротивления сжатию $N_{\text{с}}$, которое является определяющим при проектировании несущих элементов зданий и сооружений.

Для повышения эффективности армирования целесообразно применение сеток из проволоки малого диаметра, что зачастую затруднительно из-за возможных коррозионных процессов, либо применение таких сеток, в которых отсутствуют узлы пересечения отдельных стержней, вызывающие раннее трещинообразование в кладочных изделиях. Исходя из этого предложено армирование зигзагообразными сетками [1], перфорированными стальными лентами [2] и др. В зарубежных исследованиях [3, 4] отмечалась целесообразность использования сеток в виде плоских спиралей, лежащих в одной плоскости и не имеющих узлов пересечения отдельных стержней.

Белорусскими учеными выполнен пилотный проект [5], который показал, что при одинаковом проценте армирования $\mu = 0,13\%$ значение сопротивления сжатию элементов, армированных сетками в виде плоских спиралей, больше по сравнению с образцами, армированными традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней, на 20%. В то же время работа [5] содержит недостаточный объем экспериментального материала для оценки возможности использования сеток в виде плоских спиралей в отечественной строительной практике, что требует проведения дополнительных исследований.

Для возможности применения методики расчета сопротивления сжатию армокаменных элементов, описанной нами в [6], основанной на положениях общей деформационной модели, необходимы экспериментальные данные о диаграммах деформирования кладки с поперечным армированием.

Для достоверного моделирования кладки либо выполнения численных исследований представляет интерес информация об изменении коэффициента поперечных деформаций кладки с поперечным армированием горизонтальных швов, которая в научно-технической литературе содержится в крайне ограниченном объеме.

Экспериментальные исследования

Описание опытных образцов. К армокаменным элементам с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах предъявляются определенные требования, сформулированные на основании инженерной практики и ряда проведенных исследований. Одно из них заключается в соблюдении соотношения размеров поперечного сечения, которое должно находиться в пределах от 0,5 до 2.

Стандарт [7] предписывает определять прочность неармированной каменной кладки на образцах в виде стенок; стандарт [8] – на образцах в виде столбов. Однако требования, предъявляемые к форме

Опытные образцы армокаменных элементов разделены исходя из конструктивного исполнения на восемь основных серий (таблица 1).

Таблица 1. – Характеристика опытных образцов основных серий CI–CVIII

Серия	CI	CII	CIII	CIV	CV	CVI	CVII	CVIII
Используемые кладочные изделия	Кирпич КРО-150/15 СТБ 1160-99 производства КПУП «Обольский керамический завод»				Кирпич КРО 200/25 СТБ 1160-99 производства ОАО «Керамика»			
Количество образцов (шт.)	2	3	3	2	3	3	1	2
Наименование образцов	K1, K2	K3, K4, K5	K6, K7, K8	K9, K10, K18	K11, K12, K13	K14, K15, K16	K17	K19, K20
Тип сеток	–	Тип «Б»	Тип «А»	–	Тип «Б»	Тип «А»	Тип «А»	Тип «А*»
Шаг сеток	–	Один ряд кладки		–	Два ряда кладки			

Представленное исследование выполнено в два этапа. На первом этапе испытаны образцы K1–K16 серий CI–CVI. Образцы серий CI и CIV выполнены без армирования и служили эталонами для сравнения с армированными образцами. Назначение опытных образцов серий CII и CIII состояло в сравнении эффекта от применения сеток в виде плоских спиралей (тип «А») и сеток из перекрестных стержней (тип «Б») при одинаковом расходе арматуры на их изготовление. Той же цели служили образцы серий CV и CVI, но отличались меньшим процентом поперечного армирования.

На втором этапе изготовлены и испытаны образцы K17–K20 серий CVII–CVIII. Серия CVIII служила для сравнения с серией CV, в обеих сериях применялось армирование одним типом сеток в виде плоских спиралей, но в серии CVIII применялись сетки с уменьшенным расходом арматуры за счет изменения шага витков спиралей.

Серия CVII, состоящая всего из одного образца, предназначалась для проверки соблюдения гипотезы плоских сечений на коротких армокаменных элементах с поперечным армированием в горизонтальных швах сетками в виде плоских спиралей при действии продольного усилия N с эксцентриситетом. Известно, что гипотеза плоских сечений соблюдается при использовании традиционных сеток из перекрестных стержней [1], однако экспериментальное подтверждение сохранения плоскостности поперечных сечений при использовании сеток в виде плоских спиралей отсутствует.

Опытные образцы серий CI–CVIII выполнены с размерами, сопоставимыми с размерами реальных элементов зданий, и рассматривались как короткие каменные и армокаменные элементы для исследования их напряженно-деформированного состояния, получения данных о значениях сопротивления сжатию N_u .

Для получения данных о прочности кладки с поперечным армированием в горизонтальных швах и соответствующих ей деформациях выполнены две дополнительные серии испытаний (таблица 2).

Таблица 2. – Характеристика опытных образцов дополнительных серий CIX, CX

Серия	CIX	CX
Используемые кладочные изделия	Кирпич КРО 200/25 СТБ 1160-99 производства ОАО «Керамика»	
Количество образцов (шт.)	2	2
Наименование образцов	C1, C2	C3, C4
Тип сеток	Тип «Б-д»	Тип «А-д»

Опытные образцы серий CIX и CX изготовлены в виде столбиков с поперечным сечением 1×1 кирпич (250×250 мм) высотой восемь рядов кладки и предназначались для получения свойств материала каменной кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах и значений параметрических точек диаграмм деформирования.

Процент поперечного армирования μ принимался аналогичным проценту армирования в сериях CV и CVI. Армирование выполнялось сетками двух типов – традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней и сетками в виде плоских спиралей.

На рисунке 2 показана схема размещения сеток в поперечном сечении образцов и один ряд раскладки кладочных изделий, состоящий из двух целых кирпичей. Заметим, что при использовании сетки типа «А-д» вертикальный шов кладки, являющийся своего рода концентратором напряжений вблизи которого, как правило, развиваются трещины, перевязывается шестью стержнями арматуры против четырех стержней в случае использования сетки типа «Б-д» (см. рисунок 2). В образцах сечением $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ кирпича перевязка вертикальных швов на наиболее «слабых» участках сопряжения половины кирпича, а также ложковых и тычковых рядов при применении сеток в виде плоских спиралей устроена тремя стержнями против двух в случае применения сеток из перекрестных стержней (см. рисунок 1).

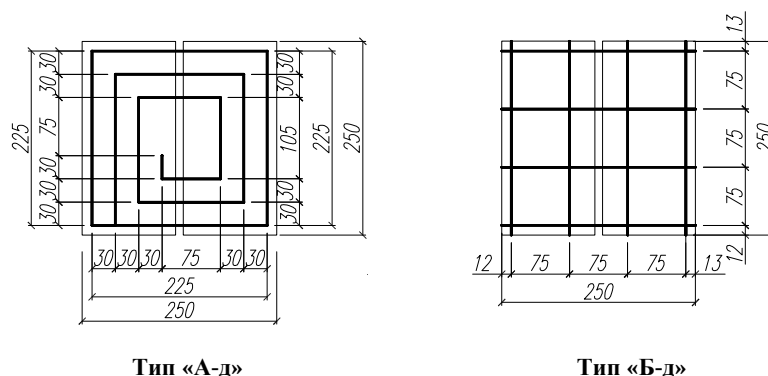


Рисунок 2. – Схемы размещения сеток в поперечном сечении опытных образцов дополнительных серий СІХ, СХ

Методика проведения испытаний. Опытные образцы испытаны в лаборатории кафедры «Строительные конструкции» Полоцкого государственного университета с использованием гидравлического прессового оборудования. Образцы устанавливались с совмещением их геометрических осей с геометрической осью прессы. Верхнюю поверхность образцов для равномерной передачи давления от подушки прессы выравнивали подливкой из тонкого слоя прочного цементно-песчаного раствора состава 1:1. Эксцентриситет продольной сжимающей силы N для образца К17 создавался смещением его оси относительно геометрической оси прессы; продольное усилие N передавалось через катковую опору, а для недопущения разрушения верхней части образца от местного сжатия устраивалась опорная подушка из бетона толщиной 150 мм. Опорная подушка армировалась двумя сетками из проволоки $\varnothing 5$ мм с ячейкой 50×50 мм.

Этапы приложения продольного усилия N назначались не более 10% от предполагаемой разрушающей нагрузки, предварительно рассчитанной по теоретическим данным с учетом прочности исходных кладочных материалов. За разрушающую нагрузку (значение сопротивления сжатию N_u) принималось максимальное значение продольного усилия N по силоизмерителю прессы, достигнутого в процессе испытаний.

Индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм фиксировались продольные и поперечные деформации опытных образцов основных серий CI–CVI и CVIII. При испытании образцов серий CVII, СІХ и СХ замерялись только продольные деформации. Данные о напряженно-деформированном состоянии отдельных стержней сеток поперечного армирования получены путем измерения относительных деформаций с помощью тензометрических датчиков. Полученные при испытании образцов первого этапа исследований результаты определения напряженно-деформированного состояния в стержнях сеток приведены в работе [11]. На основании анализа этих данных установлено, что эффективность использования прочностных свойств арматуры во внутренних витках сеток уменьшается по сравнению с внешними. Это послужило основанием для усовершенствования сеток и получения патента на полезную модель № 9295 «Сетка для поперечного армирования каменной кладки» [12].

Задача полезной модели состояла в повышении сопротивления сжатию армокаменных элементов и эффективном расходовании арматуры путем рационального размещения в плане витков спиральной сетки. Решение поставленной задачи в том, что сетка для поперечного армирования каменной кладки может быть выполнена в виде плоской квадратной или прямоугольной спирали, в которой шаг витков уменьшается от центральной части к внешней. При этом шаг каждого витка a_n не больше предыдущего a_{n-1} и не меньше последующего a_{n+1} .

В соответствии с вышеобозначенными предпосылками сконструированы сетки тип «А*», которые использовались для армирования образцов К19 и К20, испытанных на втором этапе исследований, причем максимальное количество арматуры в сетке для поперечного армирования должно быть сконцентрировано у периметра сечения сжатого элемента, где возникают наибольшие деформации. Благодаря такой

конструкции деформации в витках сетки по всему сечению будут распределяться равномерно, повышая тем самым эффективность использования сетки для поперечного армирования. Схемы усовершенствованных сеток в виде квадратных и прямоугольных спиралей показаны на рисунке 3.

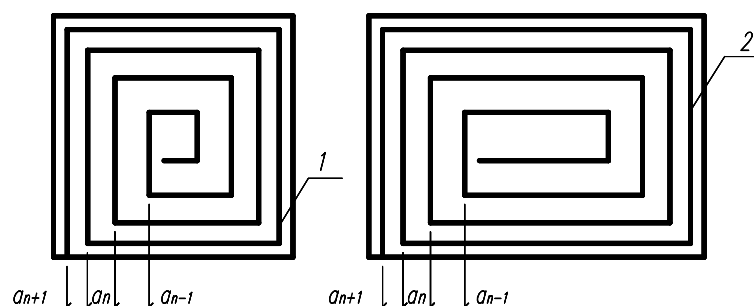


Рисунок 3. – Принципиальная схема конструирования усовершенствованных спиральных сеток для армирования элементов квадратного (1) и прямоугольного (2) поперечных сечений

Напряженно-деформированное состояние коротких армокаменных элементов. Отдельные результаты испытаний опытных образцов, характеризующие их прочностные и деформативные характеристики, представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Отдельные результаты испытаний опытных образцов армокаменных элементов

Серия, образец	N_u (кН)	Среднее N_u (кН)	α	Серия, образец	N_u (кН)	Среднее N_u (кН)	α
CI	K1	650	850	CV	K11	1000	750
	K2	630	900		K12	1100	780
CII	K3	1640	310	CVI	K13	1000	770
	K4	1450	360		K14	1100	800
CIII	K5	1625	480	CVII	K15	1120	760
	K6	1500	360		K16	1050	820
CIV	K7	1675	380	CVIII	K19	950	710
	K8	1675	450		K20	1130	780
CIV	K9	740	1140	где N_u – разрушающее продольное усилие; α – упругая характеристика кладки			
	K10	690	1060				
	K18	785	1090				

Распределение осредненных по высоте относительных деформаций опытных образцов подтверждает правомерность использования в качестве предпосылки методики расчета [6] гипотезы плоского сечения. Распределение деформаций на примере образцов K14 и K17 показано на рисунке 4.

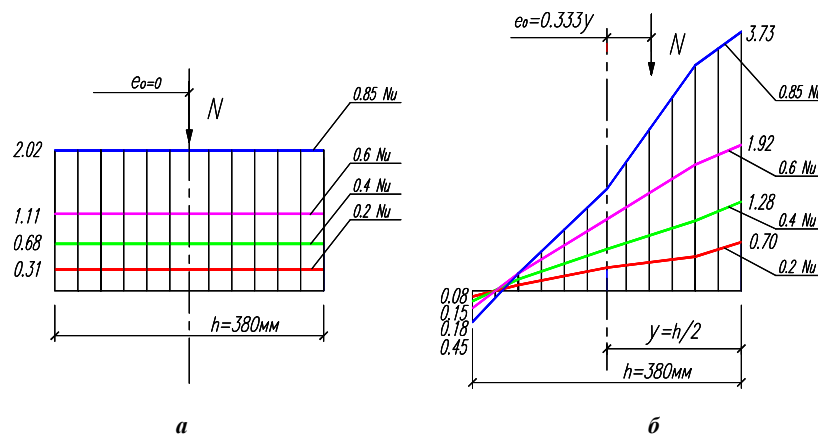


Рисунок 4. – Распределение деформаций $\epsilon_z \cdot 10^{-3}$ по среднему сечению опытных образцов K14 (a) и K17 (б)

На рисунке 5 приведены диаграммы деформирования « $N/N_u - \epsilon$ » опытных образцов. Картина деформирования демонстрирует физическую нелинейность материала как каменной, так и армокаменной кладки с поперечным армированием в горизонтальных швах. Свойство физической нелинейности наиболее ярко проявляется по мере приближения к разрушающему усилию. Следует также отметить значительный разброс в абсолютных и относительных значениях поперечных деформаций даже в пределах одинаковых серий с образцами-близнецами, что может быть связано с неравномерными осадками и изгибом отдельных кирпичей при неодинаковой плотности растворных швов. В целом по мере приближения к разрушающему усилию с образованием и развитием трещин наблюдалось интенсивное увеличение поперечных деформаций.

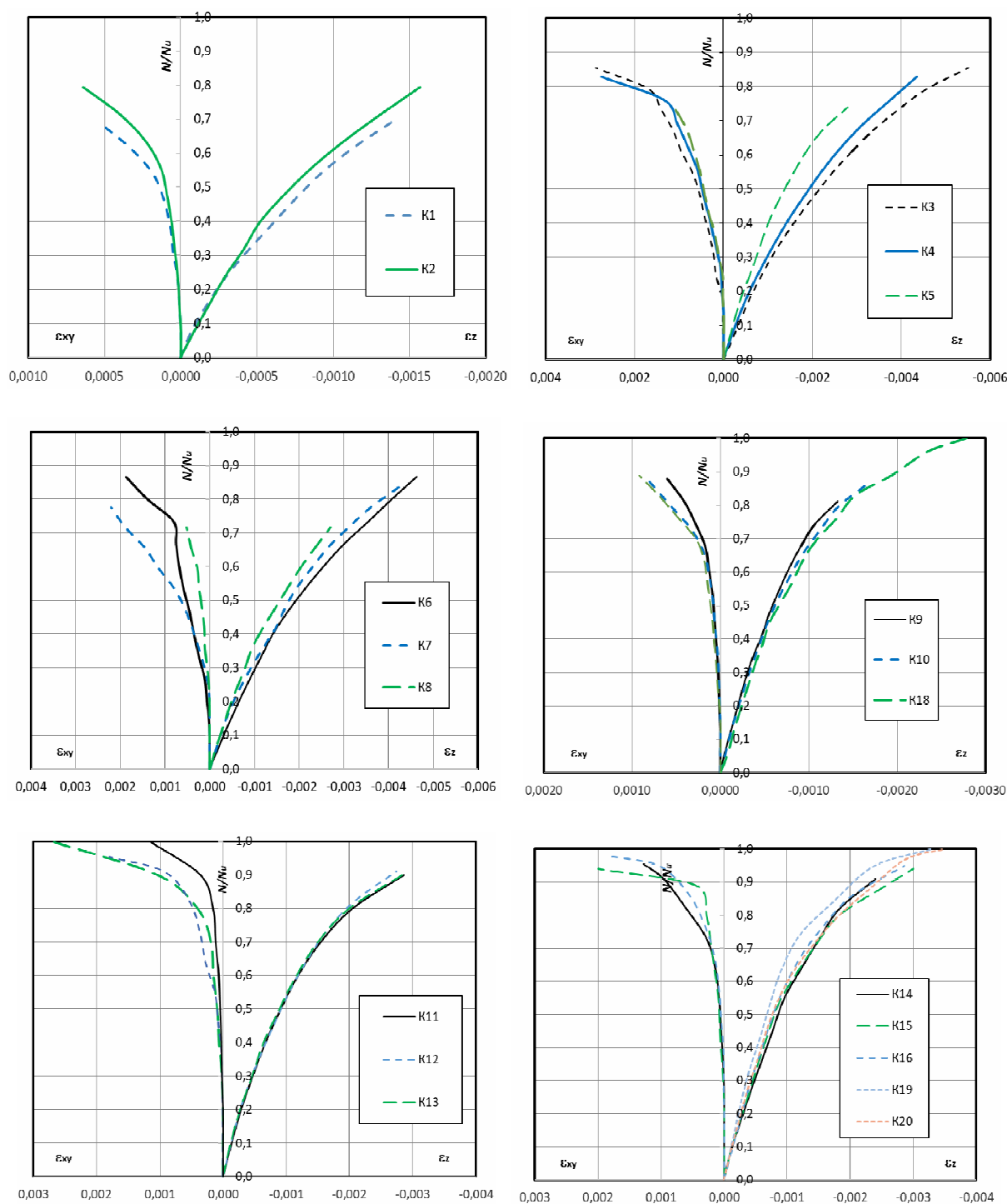


Рисунок 5. – Диаграммы деформирования « $N/N_u - \epsilon$ » опытных образцов

По средним значениям продольных деформаций ε_z и поперечных деформаций ε_{xy} образцов серий СII, СIII построен график изменения коэффициента поперечной деформации $\nu = \varepsilon_z/\varepsilon_{xy}$ в зависимости от уровня нагружения N/N_u , представленный на рисунке 6.

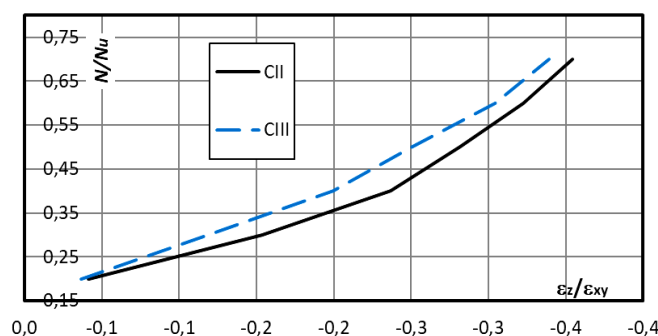


Рисунок 6. – Изменение коэффициента поперечной деформации в зависимости от уровня нагружения N/N_u

Заключение. В результате проведенных исследований получены новые экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии коротких армокаменных с поперечным армированием в горизонтальных швах элементов сетками в виде плоских спиралей на всех стадиях нагружения. Значения сопротивления сжатию благодаря армированию повышаются до 2,5 раз по сравнению с неармированными элементами. Значения сопротивления сжатию армокаменных элементов с поперечным армированием сетками в виде плоских спиралей выше по сравнению с армокаменными элементами с поперечным армированием традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней.

Предложена усовершенствованная конструкция спиральной сетки с уменьшением шага витков от центральной к внешней части спирали. Экспериментально подтверждена возможность снижения до 10% расхода арматуры на изготовление новых усовершенствованных сеток с сохранением прочности армокаменным элементом.

Получены новые данные о диаграммах деформирования кладки с поперечным армированием в горизонтальных растворных швах традиционно применяемыми сетками из перекрестных стержней и сетками в виде плоских спиралей, построены графики изменения значений коэффициента поперечной деформации от уровня нагружения опытных образцов с поперечным армированием.

Экспериментально подтверждена возможность использования предпосылки общей деформационной модели метода расчета сопротивления сжатию коротких армокаменных элементов [6] в виде гипотезы плоских сечений применительно к армокаменным элементам с поперечным армированием сетками в виде плоских спиралей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камейко, В.А. Прочность на сжатие кирпичной кладки с косвенным сетчатым армированием / В.А. Камейко // Экспериментальные исследования каменных конструкций : сб. ст. / Центр. науч.-исслед. ин-т пром. сооружений «ЦНИПО» ; под ред. Л.И. Онищика. – М. ; Л., 1939. – С. 65–89.
2. Рябинин, А.Л. Прочность и деформативность кирпичной кладки, армированной перфорированными стальными лентами, при центральном сжатии : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А.Л. Рябинин ; С.-Петербург. гос. архитектурно-строит. ун-т. – СПб., 2009. – 17 с.
3. Dajun, D. Experimental research on strength of brick masonry reinforced with new type of transverse reinforcement / D. Dajun, L. Xishao, Z. Juan // J. of Building Structures. – 1988. – Vol. 9, № 1. – P. 53–58.
4. Ding Dajun. Two new points of view in theory of masonry strength / Ding Dajun // Brick and Block Masonry : proc. of the 8th intern. Brick a. Block Masonry conf., Dublin, 19–21 Sept. 1988 : in 3 vol. ; ed. J. W. de Courcy. – Dublin, 1988. – Vol. 3. – P. 1531–1538.
5. Гринев, В.Д. Спиральные сетки для поперечного армирования каменной кладки / В.Д. Гринев, В.В. Гринев, Я.С. Яско // Архитектура и строительство. – 2003. – № 1. – С. 62–63.
6. Лазовский, Д.Н. Расчет сопротивления сжатию каменных и армокаменных элементов с учетом физической нелинейности / Д.Н. Лазовский, А.М. Хаткевич // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 16. – С. 41–50.

7. Методы испытаний каменной кладки. Ч. 1. Определение прочности при сжатии = Метады выпрабаванняў каменнай кладкі. Ч. 1. Вызначэнне трываласці пры сціску : СТБ EN 1052-1-2015. – Взамен СТБ EN 1052-1-2009 ; введ. 01.11.15. – Минск : Госстандарт, 2015. – 9 с.
8. Каменные и армокаменные конструкции. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, трещиностойкости и деформативности = Каменныя і армакаменныя канструкцыі. Метады выпрабаванняў нагружэннем. Правілы ацэнкі трываласці, расколінастойкасці і дэфарматыўнасці : СТБ 1376-2002. – Введ. 01.07.03. – Минск : Минстройархитектуры, 2003. – 12 с.
9. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования = Каменныя і армакаменныя канструкцыі. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-5.02-308-2017 (33020). – Взамен СНиП II-22-81 ; введ. 01.01.18. – Минск : Минстройархитектуры, 2018. – VIII, 111 с.
10. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования = Каменныя і армакаменныя канструкцыі. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-5.02-308-2017 (33020). – Взамен СНиП II-22-81 ; введ. 01.01.18. – Минск : Минстройархитектуры, 2018. – VIII, 111 с.
11. Хаткевич, А.М. Напряженно-деформированное состояние арматурных сеток в кирпичной кладке / А.М. Хаткевич // Сб. науч. тр. / Издат. центр БГУ. – Минск, 2012. – Вып. 4 : Проблемы современного бетона и железобетона. – С. 202–215.
12. Сетка для поперечного армирования каменной кладки : полез. модель ВУ 9295 / А.М. Хаткевич, В.Д. Гринев. – Оpubл. 30.06.2013.

Поступила 12.06.2019

INFLUENCE OF THE GRIDS TYPE FOR TRANSVERSE REINFORCEMENT IN HORIZONTAL MORTAR JOINTS ON THE STRESSED-DEFORMED STATE OF SHORT REINFORCED STONE ELEMENTS

D. LAZOVSKI, A. KHATKEVICH

The results of the study of the stress-deformed state of short reinforced stone elements with transverse reinforcement in horizontal mortar joints are presented. For transverse reinforcement of the prototypes, the traditionally used cross-rod grids and grids in the form of flat spirals were used. An improved design of the spiral grid with a decrease in the pitch of the turns from the axis of the cross section to its edge is proposed. The possibility of reducing reinforcement consumption by up to 10% for the manufacture of new improved grids with preservation of strength by an reinforced stone element has been experimentally confirmed. Data on the diagrams of deformation of masonry with transverse reinforcement in horizontal mortar joints by traditionally used cross-rod grids and grids in the form of flat spirals are obtained. Based on the analysis of experimental data, the influence of the type of reinforcement on the values of the coefficient of transverse deformations is established.

Keywords: transverse reinforcement, masonry, reinforced stone elements, cross-rod grids, grids in the form of flat spirals, compression.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК628.3.16

ИННОВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА

канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО; Е.С. ВЕЛЮГО
(Полоцкий государственный университет);
Т.В. КОЗИЦИН
(Аквaproм, Полоцк)

Рассматривается проблема превышения нормативного содержания железа в фильтрате систем водоснабжения, оказывающего негативное влияние на организм человека. Изучены процессы удаления железа из подземных вод. Проанализирована работа фильтров обезжелезивания воды. Показано влияние растворенного кислорода на процесс обработки воды.

Ключевые слова: *фильтрующие загрузки; подземные воды, их состав, свойства; механизм фильтрации; растворенный кислород.*

Водоснабжение населенных мест в Республике Беларусь практически на 100% осуществляется из подземных источников, причем для малых населенных пунктов вода очищается в напорных фильтровальных установках. В большинстве случаев эти установки не обеспечивают нормативное содержание железа в фильтрате, составляющее 0,3 мг/л по СанПиН 10-124-99 РБ.

Преимущественно в подземных водах железо находится в истинно растворенном состоянии в виде бикарбоната двухвалентного железа, которое находится в агрегативно-устойчивом состоянии при наличии большого количества углекислоты в отсутствие растворенного кислорода. Независимо от того, в какой последовательности протекают реакции окисления и гидролиза солей, конечным их продуктом всегда является гидрооксид железа.

Представляется важным знать условия перехода закисного железа в окисное, из растворенного состояния в осадок с образованием соответственно гидрата закиси и гидрата окиси железа.

Процесс удаления железа из подземных источников значительно усложняется при наличии других сопутствующих загрязнителей, влияние которых на процесс обезжелезивания установить достаточно сложно, а в отдельных случаях невозможно. Чаще всего этими загрязнителями являются марганец и растворенные газы в виде азотных соединений, но могут быть и другие минеральные и органические вещества, такие как сульфаты, хлориды, микробиологические загрязнения и др.

Установлено, что сложный состав воды наблюдается в местности, где располагаются болотные массивы. Это характерно для Полесья, Полоцкой низины и других заболоченных территорий [1]. В этом случае вода нестабильного состава может привести к коррозии либо отложению в трубах, непосредственно или косвенно создавая условия, благоприятные для роста специфических бактерий. Кроме того, изменяются ее органолептические свойства. Показатели воды для хозяйственно-питьевых нужд также при ее использовании не соответствуют нормативным значениям СанПиН 10.124-99 РБ.

В настоящее время применяются различные *методы обработки воды сложного состава*: биологический; химическое окисление с использованием озона, хлора, перманганата калия и последующим фильтрованием или отстаиванием [2]. Для обезжелезивания подземных вод известны конструкции установок, работающих в режиме объемного фильтрования, в состав которых входит оборудование для аэрации воды и скорые фильтры, загруженные песчаной, керамзитовой или гравийной загрузкой [1].

Рассмотрим процесс обработки воды сложного состава при ее *аэрировании с последующим фильтрованием*.

Объект исследований – напорные фильтры типа ФОВ (фильтры осветлительные вертикальные) существующих установок обезжелезивания в Витебской области.

Для проведения экспериментов выбраны две установки обезжелезивания с загрузкой напорных фильтров кварцевым песком.

Первая установка работает в условиях забора подземных вод в бассейне заболоченной местности. Для обработки воды использован бактериологический метод, заключающийся в прохождении воды через слой биологически активной загрузки, расположенной над кварцевым песком. Двухвалентное железо под воздействием бактерий превращается в нерастворимые соединения трехвалентного железа, которые совместно с отмирающими бактериями выпадают в осадок или задерживаются как на поверхности, так и в верхних слоях фильтрующей загрузки. У типичных представителей железобактерий *Leptothrix*,

Metallogenium, *Siderocapsa* и др., развивающихся в пресных водах с нейтральной или слабощелочной средой, окисление железа и марганца происходит в результате взаимодействия выделяющейся перекиси водорода с ионами металлов (перекисный механизм). Активная реакция воды *pH* и окислительно-восстановительный потенциал *Eh* могут оказывать существенное влияние на развитие железобактерий, поэтому при использовании биотехнологий необходимо контролировать стабильность воды, что обычно не предусмотрено на станциях обезжелезивания. В данном случае, при условии низкой концентрации аммонийного азота, можно предположить, что в обработанной воде были бы достигнуты нормативные значения по железу с протеканием в основном биохимических процессов. Однако в процессе эксплуатации установлено отсутствие растворенного кислорода в фильтрате, а при вскрытии фильтров в фильтрующей загрузке обнаружены комки с колониями анаэробных железобактерий. Таким образом, наличие в воде аммонийного азота не позволяет достигнуть необходимого эффекта удаления железа.

Исследования по совместному снижению концентраций железа и аммонийного азота были выполнены с изменением интенсивности аэрации напорных скорых фильтров, оставляя неизменными параметры их работы по скорости фильтрования и условиям промывки песка (таблица 1). Предварительно была выполнена замена кварцевого песка и очистка нижней дренажной системы от отложений с заменой поврежденных дренажных колпачков.

Опыт № 1. Скорые фильтры после ремонта были выведены на расчетный режим эксплуатации с упрощенной аэрацией. В фильтрате растворенный кислород отсутствовал.

Опыт № 2. Произведена замена водоструйных насосов с удельной подачей воздуха до $0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (до замены – $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^3$). Содержание растворенного кислорода в фильтрате холодного периода составило $0,5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$; теплого – до $3,5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$.

Опыт № 3. В фильтры произведено добавление в загрузку с действующих скорых фильтров города Витебска биологически активной загрузки, состоящей из железобактерий.

Опыт № 4. Проведен эксперимент с дозированием извести перед фильтрами. Известь дозировалась в течение суток непосредственно в камеру смешения эжектора с одновременным контролем величины *pH*, равной 8. В результате было достигнуто содержание железа в фильтрате $0,23 \text{ мг/л}$, аммонийного азота – $2,0 \text{ мг/л}$. Однако значительный объем дополнительных затрат по организации реагентного хозяйства и приобретению извести не позволил реализовать это решение.

Опыт 5. Учитывая сравнительно положительные результаты опыта № 2, проведен эксперимент по дальнейшему увеличению подачи воздуха перед фильтрами. Для этого к эжектору был подключен воздушный компрессор. В результате установлено, что при достижении удельной подачи воздуха до $0,4 \text{ мгО}_2/\text{л}$ на 1 м^3 воды происходит снижение содержания железа до $0,22 \text{ мг/л}$, аммонийного азота – до $1,8 \text{ мг/л}$ при концентрации растворенного кислорода в фильтрате $1,5...2,0 \text{ мгО}_2/\text{л}$.

Таблица 1. – Показатели качества воды из скважины на различных стадиях ее обработки биологическим методом

Наименование показателей воды	Значения показателей качества воды							
	по НТПА	исходной воды	до опытов после фильтров	опыт № 1	опыт № 2	опыт № 3	опыт № 4	опыт № 5
Водородный показатель, ед. pH	6,5...8,5	7,4...7,7	7,4...7,7	7,5	7,7	7,6	8,2	7,5
Цветность, градусы	20	30	11...20	15	15	15	15	15
Мутность, мг/дм ³	2,6	2,9... 9,0	2,3...5,7	2,8	3,0	2,6	1,5	1,5
Запах, привкус, баллы	2	3	2...3	2	2	2	2	2
Жесткость, мг-экв/дм ³	7,0	6,0...7,0	6,0...7,0	–	–	–	–	–
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,0	6,5	4,3... 6,4	5,5	5,0	6,0	4,5	4,8
Железо общее, мг/дм ³ , в том числе двухвалентное	0,3	3,44 3,1	1...1,6	0,7 –	0,3... 0,7 –	0,6 –	0,23 –	0,2 –
Азот аммонийный, мг/дм ³	2	2,5...3,5	2,5...3,0	2,6	2,5...3,5	2,5	2,0	1,5...1,8
Нитриты, мг/дм ³	3,0	–	0,03	–	–	–	–	–
Нитраты, мг/дм ³	45	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5

Таким образом, применение интенсивной аэрации воды при биологическом методе, кроме удаления общего железа, привело к следующим положительным результатам:

- более эффективное действие кислорода воздуха в воде;
- увеличение скорости химических реакций по переходу аммонийного азота в нитриты и нитраты;
- образование газообразного азота при окислении аммонийного азота кислородом с последующей отдувкой воздухом.

На другой из выбранных установок исследованы способы ввода сжатого воздуха с увеличением его интенсивности в толще фильтрующей загрузки (таблица 2).

Таблица 2. – Показатели качества воды из скважины на различных стадиях ее обработки

Наименование показателей воды	Значения показателей качества воды			
	по НТПА	исходной воды	после фильтра	
			до реконструкции	после реконструкции
Водородный показатель, ед. рН	6,5...8,5	7,4...7,7	7,4...7,7	7,7
Цветность, градусы	20	30	20	15
Запах, привкус, баллы	2	3	2...3	2
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,0	6,5	4,3... 6,4	5,0
Железо общее, мг/дм ³ , в том числе двухвалентное	0,3	3,44 3,1	1,0...1,6 –	0,3 –
Азот аммонийный, мг/дм ³	2	2,5...3,5	2,5...3,0	2,5...3,0
Нитраты, мг/дм ³	45	0,6	0,5	0,6

Для окисления ионов железа (переход двухвалентной формы в трехвалентную) часто применяется обогащение воды кислородом воздуха. Упрощенная аэрация воды в открытых фильтрах производится путем ее свободного излива с высоты 0,5...0,6 м. В напорных фильтрах аэрацию проводят в баке-аэраторе либо путем подачи сжатого воздуха компрессором или водоструйным насосом в трубопровод, по которому вода подается в фильтр [3]. Обычно концентрации растворенного кислорода 2...4 мг/л достаточно для ведения процесса обезжелезивания воды. Однако при обработке подземной воды сложного состава, когда требуется ее насыщение кислородом воздуха в концентрации 10 мг/л и более, удаление соединений двухвалентного железа становится невозможным вследствие того, что весь растворенный в воде кислород может быть израсходован еще в толще загрузки. В результате процессы окисления и задержания железа прекращаются. В некоторых случаях может происходить обратная реакция – задержанное железо в трехвалентной форме начинает восстанавливаться в двухвалентную форму и растворяться обратно в воду.

В процессе работы традиционного фильтра установлена малая эффективность снижения концентрации общего железа (1,0...1,6 мг/л) из-за расходования кислорода воздуха на удаление, прежде всего аммонийного азота. Определено, что недостатком известной конструкции является сбор и отвод избыточного воздуха, осуществляемый в верхней части корпуса фильтра. Это позволяет растворить в воде не более 2...4 мг/л кислорода (на каждые 0,1 МПа давления воздуха), что в данном случае будет недостаточным для полного окисления двухвалентного железа в трехвалентное и его осаждения на зернах загрузочного слоя в присутствии аммонийного азота.

Для решения данной проблемы были рассмотрены варианты увеличения концентрации растворенного кислорода в воде. Реализация поставленной задачи достигнута путем переоборудования фильтра обезжелезивания воды, в частности системы удаления избыточного воздуха, которая в известной конструкции выполнена в виде перфорированного трубопровода, располагаемого в нижней половине зернистого фильтрующего слоя, соединенного с верхним патрубком [4].

Отличительным признаком переоборудованного фильтра является иная форма выполнения системы выпуска избыточного воздуха и ее расположение в конструкции фильтра – организация потока воздуха производится сверху вниз через большую часть зернистого фильтрующего слоя, что сопровождается принудительной вентиляцией загрузки, полным окислением двухвалентного железа в трехвалентное и его дальнейшим задержанием на зернистой фильтрующей загрузке, обеспечивая тем самым содержание железа в фильтрате в пределах нормы.

Вода, насыщенная кислородом воздуха и содержащая двухвалентное железо, равномерно распределяется по поверхности зернистого фильтрующего слоя. По мере продвижения воды в толще зернистого фильтрующего слоя растворенный в воде кислород расходуется на окисление двухвалентного железа и других веществ, содержащихся в воде. То есть, с одной стороны, происходит расходование растворенного кислорода воды на окисление содержащихся в воде веществ, а с другой – происходит восстановление концентрации растворенного в воде кислорода за счет непрерывного перехода кислорода в воду из параллельнодвигающегося потока воздуха. Избыточный воздух отводится в нижней половине зернистого фильтрующего слоя.

Таким образом, за счет того, что подача воздуха осуществляется в верхнюю часть фильтра, а отвод воздуха – в нижней части фильтра, организовывается принудительный поток воздуха снизу-вверх через

зернистый фильтрующий слой. Использование инновационной конструкции фильтра позволит повысить степень очистки воды от соединений двухвалентного железа с потребностью в кислороде более 10 мг/л путем увеличения количества растворенного кислорода в воде. Установка отличается простотой в конструкционном решении, также проста и в эксплуатации. Следует отметить, что место отвода воздуха зависит от качества исходной воды и в каждом конкретном случае определяется индивидуально.

В заключение проведенного исследования можно сделать следующие **общие выводы:**

- обработка подземных вод сложного состава от железистых соединений зависит от концентраций сопутствующих загрязнений, условий забора воды из скважин, причем влияние этих факторов установить достаточно сложно, а в некоторых случаях невозможно;

- выбор метода обработки воды должен осуществляться непосредственно у источника водоснабжения на основании произведенных опытов;

- при отсутствии положительных результатов работы существующих напорных установок обезжелезивания необходима их реконструкция. В случае применения кварцевой загрузки это возможно, применяя интенсивную аэрацию либо используя воздушные компрессоры, либо изменения системы отвода избыточного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ющенко, В.Д. Анализ применения фильтрующих материалов для удаления загрязнений из подземных вод сложного состава / В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго, С.И. Пивоварова // Вестник Полоц. гос. ун-та. Серия Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 16. – С. 116–119.
2. Николадзе, Г.И. Улучшение качества подземных вод / Г.И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1987. – 240 с.
3. Особенности совместного удаления железа и аммонийного азота из подземных водоисточников в сооружениях напорного типа / В.Д. Ющенко [и др.] // Развитие инженерно-технических методов природообустройства и водопользования : сб. науч. трудов. – Калининград, 2018. – С. 98–108.
4. Фильтр обезжелезивания воды : полез. модель ВУ 12086 / Т.В. Козицин, В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго. – Опубл. 02.01.2019.

Поступила 20.06.2019

INNOVATIONS IN THE TECHNOLOGY OF CLEANING UNDERGROUND WATERS OF COMPLEX COMPOSITION

V. YUSHCHENKO, E. VELYUGO, T. KOZITSIN

The problem of exceeding the normative iron content in the filtrate of water supply systems, which has a negative effect on the human body, is considered. Studied the processes of removal of iron from groundwater. The operation of water deferrization filters is analyzed. The effect of dissolved oxygen on the process of water treatment is shown.

Keywords: filter media; groundwater, their composition, properties; filtering mechanism; dissolved oxygen.

УДК 339.9:658:630

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИЛОВЫХ СУСПЕНЗИЙ
НА РЕЗУЛЬТАТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ****И.Э. ГОЛОВНЕВ****(Витебскводоканал);****канд. техн. наук, доц. В.Н. МАРЦУЛЬ****(Белорусский государственный технологический университет, Минск)**

Рассматривается влияние концентрации иловых суспензий на результаты ультразвуковой обработки. Установлено, что характер изменения состава жидкой фазы активного ила определяется удельным расходом энергии на ультразвуковую обработку, плотностью ультразвука и типом источника. Ультразвуковая обработка сопровождается ростом температуры иловой суспензии, которая тем больше, чем больше концентрация твердой фазы. Показано, что отношение прироста ХПК жидкой фазы к удельным энергозатратам зависит от концентрации активного ила. Основной вклад в прирост ХПК жидкой фазы вносят частицы размером 0,2...20 мкм. Содержание растворенных веществ в жидкой фазе активного ила линейно зависит от удельных энергозатрат на ультразвуковую обработку во всем исследуемом диапазоне концентраций активного ила. Отношение прироста БПК к приросту ХПК для жидкой фазы практически не зависит от плотности ультразвука.

Ключевые слова: активный ил, ультразвуковая обработка, энергозатраты, жидкая фаза.

Введение. Одно из перспективных направлений повышения эффективности ряда представленных на очистных сооружениях канализации процессов – использование ультразвуковой обработки (УЗО). Прежде всего, УЗО используется для повышения выхода биогаза в процессе анаэробного сбраживания и интенсификации процессов биологической очистки. Ультразвуковая обработка оказывает комплексное воздействие на биомассу активного ила. Наряду с дезинтеграцией надклеточных образований и переходом в жидкую фазу внеклеточных биополимеров наблюдается изменение состава фаз иловых суспензий за счет деструкции клеток активного ила и перехода в раствор внутриклеточных полимеров.

Основными показателями, которые используются для характеристики изменений состава фаз активного ила при ультразвуковой обработке, являются дисперсный состав и ХПК жидкой фазы. Изменение ХПК дает представление о степени деструкции (дезинтеграции) биомассы активного ила. При последующем анаэробном сбраживании обработанного активного ила стремятся достичь максимальной степени дезинтеграции биомассы. При использовании УЗ-обработки для интенсификации процессов биологической очистки информация об изменении состава жидкой фазы позволяет оценить дополнительную нагрузку на очистные сооружения по основным загрязняющим веществам.

В ранее проведенных многочисленных исследованиях по УЗО активного ила плотность ультразвука находилась в диапазоне от 0,11 [1] до 4 Вт/см³ [2] при продолжительности обработки от 0,49 мин до 150 мин [3]. Исследования влияния обработки с высокой плотностью ультразвука на состав и свойства активного ила, как правило, носили узконаправленный характер и сориентированы на оценку отдельных эффектов УЗ-обработки – изменение дисперсного состава [4], водоотдающих свойств [5; 6] и др. Имеющиеся данные по УЗ-обработке часто несопоставимы по причине отличий как в составе объектов исследований, так и условий УЗ-обработки.

Одним из основных показателей, оказывающих существенное влияние на результаты ультразвуковой обработки, является концентрация активного ила. В ранее проведенных исследованиях, как правило, УЗ-обработку проводили в ограниченном диапазоне концентраций иловых суспензий, что не позволило установить закономерности, характеризующие влияние этого параметра на результаты обработки.

Системные исследования влияния на состав фаз активного ила УЗО с высокой плотностью ультразвука и малой продолжительностью в широком диапазоне концентраций твердой фазы ранее не проводились. В качестве источника ультразвука в большинстве ранее проведенных исследованиях использовали установки с пьезоэлектрическими и магнитострикционными излучателями. Установки гидродинамического типа, обеспечивающие более «мягкое» воздействие ультразвуковых колебаний на иловые суспензии, в исследованиях практически не использовались. В связи с этим интерес представляют установление закономерностей изменения состава фаз активного ила при УЗО с использованием магнитострикционного излучателя и установки с гидродинамическим излучателем (кавитатором) в условиях малой продолжительности обработки и высокой плотности ультразвука.

В качестве объекта исследований использованы образцы активного ила и сырого осадка, отобранные в разные периоды времени (2001–2014 гг.) на очистных сооружениях УП «Витебскводоканал» и УП «Минскводоканал». Исследования проведены на образцах активного ила и сырого осадка с использованием как

магнитострикционного, так и гидродинамического излучателей. Экспериментальные исследования с использованием гидродинамического излучателя проведены для трех концентраций активного ила – минимальной, максимальной и средней для исследуемого диапазона концентраций. Для получения сравнимых результатов эксперимент проводили сериями, а каждую серию экспериментов – с использованием активного ила одного и того же состава. Обработка ультразвуком при заданных условиях проводилась в течение не более 12-ти часов после отбора проб. В каждой серии экспериментов для УЗ-обработки использовали циркулирующий активный ил, отобранный после вторичного отстойника, и уплотненный избыточный активный ил после илоуплотнителя. Состав проб активного ила в части содержания твердой фазы (и сухого остатка) характеризовал используемый на данный момент времени режим очистки.

Образцы, отобранные для исследований, не консервировали и не разбавляли. Фактические концентрации активного ила, используемого в исследованиях, составили: 6,0; 7,7; 8,0; 9,2; 11,0; 12,8; 16,3; 17,0; 18,0; 22,3; 25,9; 29,2, что позволило провести исследования для широкого диапазона концентраций активного ила – от 6,0 до 29,2 г/дм³.

Мощность магнитострикционного излучателя варьировали на трех уровнях (315, 470 и 630 Вт). Время обработки магнитострикционным излучателем – до 120 с (2 мин); гидродинамическим – до 20 мин.

Основная часть. В качестве показателей, характеризующих условия УЗ-обработки, использовали удельный расход энергии на обработку (формулы (1), (3)) и плотность ультразвука (формула (2)). Последний показатель позволяет установить влияние концентрации иловой суспензии на результаты ультразвуковой обработки при одних и тех же энергозатратах на обработку единицы объема. В то же время при одном и том же времени обработки для различных величин плотностей ультразвука удельные энергозатраты на обработку, рассчитанные по формуле (1), существенно отличаются для различных концентраций обрабатываемых суспензий.

Для установки циркуляционного типа с гидродинамическим излучателем (кавитатором) удельный расход энергии на обработку рассчитывали по формуле (3). Для используемой в работе установки УЗО циркуляционного типа время обработки и фактические энергозатраты определяются количеством проходов иловой суспензии (объемом проходящей жидкости) через кавитатор. В ходе исследований гидравлическое сопротивление кавитатора было постоянным, а энергозатраты изменяли путем увеличения времени обработки.

$$E_a = \frac{N \cdot T}{V_a \cdot C}; \quad (1)$$

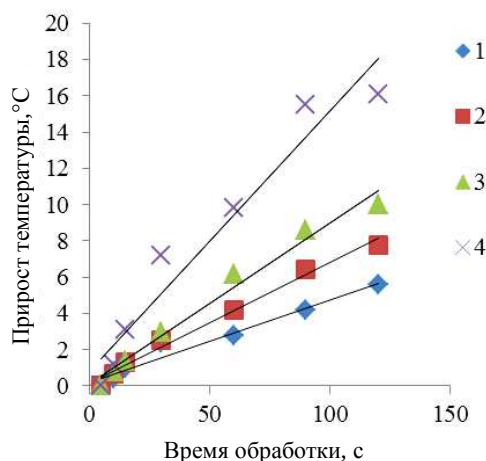
$$П = \frac{N}{V}; \quad (2)$$

$$E_r = \frac{P \cdot B \cdot T}{V_r \cdot C}, \quad (3)$$

где N – мощность излучателя, Вт; T – продолжительность обработки, с; V_a – объем, суспензии, обрабатываемой электроакустическим излучателем, дм³; C – концентрация суспензии, г/дм³; P – гидравлическое сопротивление струйного устройства, Па; B – объемный расход иловой суспензии, м³/с; V_r – объем суспензии (циркуляционной емкости), обрабатываемой в установке с гидродинамическим излучателем, дм³.

При ультразвуковой обработке наблюдается дезинтеграция частиц твердой фазы с переходом её компонентов в жидкую фазу в виде растворенных соединений и дисперсных частиц. После ультразвуковой обработки проводили разделение обработанного ила на жидкую и твердую фазы центрифугированием (получали фугат и кек) и фильтрованием (получали фильтрат и остаток на фильтре). При этом фугат обработанной ультразвуком иловой суспензии, как установлено ранее [7], содержит частицы твердой фазы размером до 20 мкм (без учета вторичной флокуляции). Фильтрат для анализа получали фильтрованием фугата на мембранных фильтрах с размером пор 0,2 мкм. При этом полагали, что в фильтрате содержатся только растворенные соединения.

Жидкую фазу (фугат и фильтрат) анализировали с определением показателей ХПК, БПК₅, содержания тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd), фосфатов, азота аммонийного, углеводов. Для фугата оценивали содержание мелкодисперсных неседиментирующих частиц по мутности в единицах NTU. Элементный анализ (содержание C, H, N, S) проводили как для твердой фракции (кек), отделяемой при центрифугировании, так и фугата после его выпарки и высушивания. Для системного представления результатов исследований далее они приведены в порядке возрастания концентрации без указания объектов, на которых были отобраны пробы. В результате проведенного исследования выявлено, что ультразвуковая обработка активного ила сопровождается повышением температуры, оказывая тем самым влияние на состав жидкой фазы. На рисунке 1 представлена зависимость температуры обработанного ультразвуком активного ила от времени обработки.

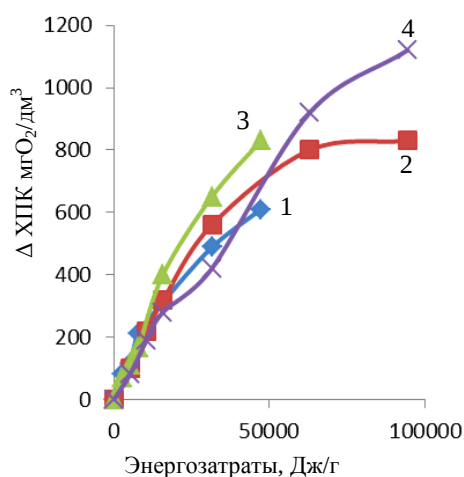


- 1 – концентрация 9,2 г/дм³ при плотности ультразвука 3,15 Вт/см³;
 2 – концентрация 22,3 г/дм³ при плотности ультразвука 3,15 Вт/см³;
 3 – концентрация 9,2 г/дм³ при плотности ультразвука 6,30 Вт/см³;
 4 – концентрация 22,3 г/дм³ при плотности ультразвука 6,30 Вт/см³

Рисунок 1. – Зависимость прироста температуры иловых суспензий от времени обработки

Как видно из рисунка 1, при УЗО повышение температуры составило до 17 °С. Причем при одних и тех же плотностях ультразвука большее повышение температуры наблюдается для высокой концентрации активного ила (22,3 г/дм³). Это, вероятно, связано с тем, что с увеличением концентрации иловой суспензии увеличивается её вязкость, что приводит к затруднению в формировании кавитационных пузырьков, и большая часть энергии УЗО расходуется на нагрев осадка. Такое явление в меньшей степени наблюдается для активного ила концентрацией 9,2 г/дм³. При проведении сравнительных исследований с использованием термостатированной и нетермостатированной емкостей, в которых обрабатывался активный ил, установлено, что повышение температуры на 20 °С практически не сказывается на результатах определения ХПК жидкой фазы (разница не превышает 3%). Для гидродинамического излучателя в используемых условиях обработки температура повышалась не более чем на 2 °С при неизменном расходе циркулирующего активного ила.

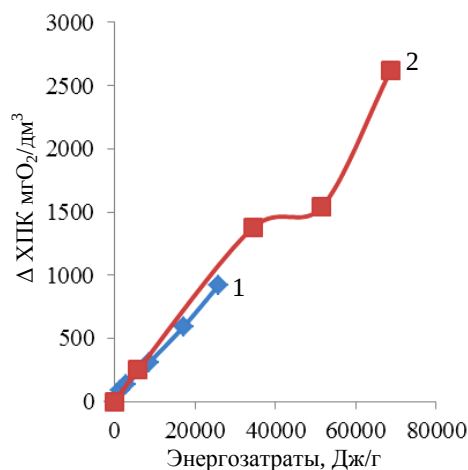
Одним из показателей, характеризующих режим ультразвуковой обработки с использованием магнитострикционного и пьезоэлектрического излучателей, является амплитуда колебаний излучателя (рисунок 2). Для оценки влияния этого параметра на результат УЗ-обработки проводили обработку с использованием излучателей, позволяющих создавать ультразвук разной амплитуды.



- 1 – плотность ультразвука 3,15 Вт/см³, амплитуда 20 мкм;
 2 – плотность ультразвука 6,30 Вт/см³, амплитуда 20 мкм;
 3 – плотность ультразвука 3,15 Вт/см³, амплитуда 80 мкм;
 4 – плотность ультразвука 6,30 Вт/см³, амплитуда 80 мкм

Рисунок 2. – Зависимость прироста ХПК фугата активного ила ($C = 6,0$ г/дм³) от энергозатрат на ультразвуковую обработку

Сравнение результатов ультразвуковой обработки с использованием магнитострикционных излучателей при одинаковых удельных энергозатратах с амплитудой колебаний 20 и 80 мкм показало, что во всем диапазоне концентраций активного ила большей амплитуде соответствует больший прирост ХПК жидкой фазы. Причем величина этого прироста более выражена при меньшей плотности ультразвука, что видно из рисунка 2. В дальнейшем все эксперименты проводили с использованием излучателя амплитудой ультразвуковых колебаний 80 мкм. Разница между достигнутым приростом ХПК жидкой фазы для плотностей ультразвука 3,15 и 6,30 Вт/см³ практически не зависит от амплитуды колебаний.



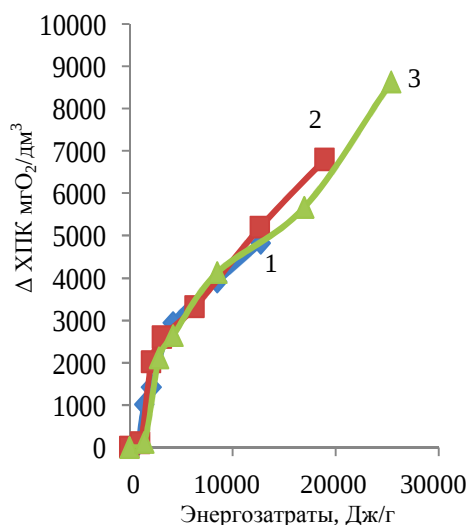
1 – плотность ультразвука 3,15 Вт/см³; 2 – плотность ультразвука 6,30 Вт/см³

Рисунок 3. – Зависимость прироста ХПК фугата активного ила ($C = 11,0 \text{ г/дм}^3$) от энергозатрат на ультразвуковую обработку

Как видно из рисунков 2 и 3, зависимость, характеризующая увеличение ХПК жидкой фазы от удельных энергозатрат на УЗ-обработку, близка к линейной для активного ила с содержанием сухого вещества до 11 г/дм³ для используемых в эксперименте плотностей ультразвука. Большей плотности ультразвука при одном и том же времени обработки соответствует больший прирост ХПК жидкой фазы во всем исследуемом диапазоне концентраций активного ила. Для оценки влияния концентрации дисперсной фазы активного ила на энергозатраты предложен показатель – индекс деструкции (D) [8], который рассчитывается как

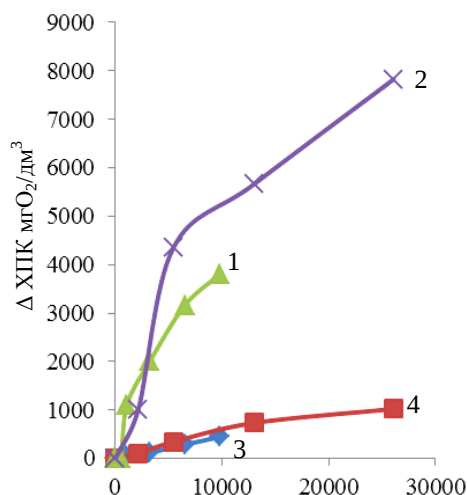
$$D = \frac{S}{E_a}, \quad (4)$$

где S – прирост ХПК жидкой фазы активного ила, мгО₂/дм³; E_a – удельные энергозатраты на ультразвуковую обработку, кДж/г.



1 – плотность ультразвука 3,15 Вт/см³; 2 – плотность ультразвука 4,70 Вт/см³; 3 – плотность ультразвука 6,30 Вт/см³

Рисунок 4. – Зависимость прироста ХПК фугата активного ила ($C = 16,3 \text{ г/дм}^3$) от энергозатрат на ультразвуковую обработку



1 – плотность ультразвука 3,15 Вт/см³ (фугат); 2 – плотность ультразвука 6,30 Вт/см³ (фугат);
3 – плотность ультразвука 3,15 Вт/см³ (фильтрат); 4 – плотность ультразвука 6,30 Вт/см³ (фильтрат)

Рисунок 5. – Зависимость прироста ХПК фугата и фильтрата активного ила ($C = 29,0$ г/дм³) от энергозатрат на ультразвуковую обработку

Анализ результатов, представленных на рисунках 4 и 5, свидетельствует о том, что прирост ХПК повышается с увеличением концентрации активного ила. Для концентрации до 11,0 г/дм³ прирост составляет 20...35. Для концентраций, превышающих 12,8 г/дм³, зависимость прироста ХПК от E_d отклоняется от линейной при определенных значениях энергозатрат. Однако после точки перегиба она также близка к линейной, но с другим углом наклона и, соответственно, с другим значением D .

Значение E_d , соответствующее положению точки перегиба, уменьшается с увеличением концентрации активного ила. Так, для концентрации 16,3 г/дм³ это значение составляет 23 кДж/г; для концентрации 22,3 г/дм³ – 3,8...4,0 кДж/г, а для концентрации 29,0 г/дм³ – 3,3...3,5 кДж/г.

Значение D до точки перегиба увеличивается с повышением концентрации активного ила, и для концентрации больше 18,0 г/дм³ оно находится в диапазоне 200...800 мг ХПК/кДж. В последующем (после точки перегиба) значения D находятся в диапазоне 200...2500 мг ХПК/кДж и мало зависят от концентрации активного ила.

Плотность ультразвука отражается на результатах УЗ-обработки до концентрации 7,7 г/дм³, и большей (увеличение) плотности ультразвука соответствуют большие (более высоким значениям) значения ХПК жидкой фазы. Для концентрации 11,0 г/дм³ эти различия незначительны. При более высоких концентрациях различия также имеют место, особенно для обработки с плотностью ультразвука 3,15 и 6,30 Вт/см³. Для активного ила концентрацией свыше 11,0 г/дм³ зависимость ХПК жидкой фазы от удельных энергозатрат характеризуется наличием двух линейных участков, переход между которыми смещается в сторону меньших удельных энергозатрат при увеличении концентрации активного ила.

Так как эффект ультразвуковой обработки определяется главным образом явлением кавитации, то, как уже отмечалось выше, с увеличением концентрации активного ила и его вязкости формирование кавитационных пузырьков идет менее активно, что сказывается на результатах УЗ-обработки.

На величину ХПК жидкой фазы активного ила существенное влияние оказывает наличие в ней дисперсных частиц, представляющих собой продукты дезинтеграции организмов активного ила (живые бактерии, простейшие). При центрифугировании, которое использовали для разделения фаз обработанной ультразвуком биомассы, дисперсные частицы жидкой фазы удаляются не полностью. В связи с этим интерес представляет оценка вклада дисперсных частиц в показатель ХПК и определение влияния ультразвуковой обработки на выход растворенных соединений из твердой фазы биомассы. Для этого в исследуемых пробах после ультразвуковой обработки для жидкой фазы определяли ХПК фильтрата.

На рисунке 5 приведены зависимости прироста ХПК фильтрата и фугата жидкой фазы активного ила для различных концентраций. Полученные зависимости во всем диапазоне концентраций носят линейный характер, при этом четко прослеживается тенденция увеличения перехода в жидкую фазу части твердых веществ в виде растворенных соединений с увеличением плотности ультразвука.

На рисунке 6 представлена зависимость прироста ХПК жидкой фазы обработанного ультразвуком активного ила от его концентрации для одного и того же времени обработки (120 с) при плотности ультразвука 3,15 Вт/см³. В данном случае содержание растворенных веществ в жидкой фазе обработанного ультразвуком активного ила линейно возрастает с увеличением концентрации активного ила, о чем свидетельствует зависимость прироста ХПК от концентрации активного ила после УЗ-обработки.

Таким образом, эффект ультразвуковой установки существенно зависит от концентрации твердой фазы в активном иле. Как видно из рисунка 6, с ростом концентрации активного ила происходит увеличение содержания органических веществ в жидкой фазе сточных вод, характеризуемых показателем ХПК, при сопоставимых расходах энергии на ультразвуковую обработку. Прирост ХПК жидкой фазы в основном определяется присутствием дисперсных частиц с размерами до 20 мкм. При концентрации активного ила больше 11 г/дм³ доля ХПК обусловлена присутствием дисперсных частиц, увеличивается и составляет до 90% для концентрации активного ила 29,2 г/дм³. Содержание растворенных и мелкодисперсных частиц (размер менее 0,2 мкм) в жидкой фазе активного ила при расходе энергии до 15 кДж/г (для концентрированной суспензии) и до 50 кДж/г (для менее концентрированной) изменяется незначительно и более выражено для обработки с большей мощностью излучателя.

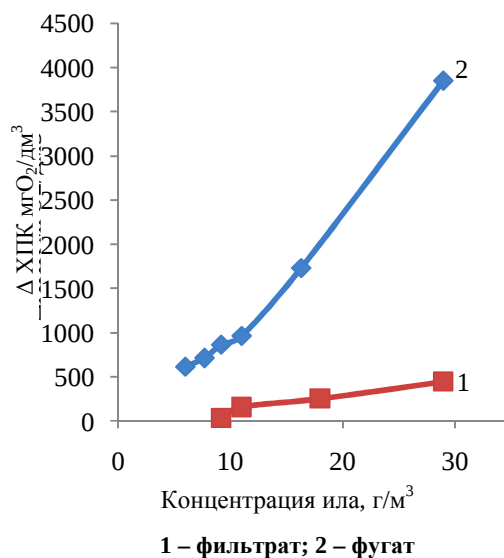


Рисунок 6. – Зависимость прироста ХПК от концентрации активного ила после УЗ-обработки

Для оценки степени деструкции твердой фазы активного ила при ультразвуковой обработке проведена серия экспериментов в ходе которых наряду с ХПК жидкой фазы определяли потерю массы твердой фазы активного ила, а также БПК фильтрата и фугата. Это позволило оценить выход ХПК на единицу потери массы твердой фазы и отношение БПК/ХПК. Так, при плотности ультразвука 6,30 Вт/см³ и концентрации активного ила 6,0 г/дм³ в фугат и фильтрат переходит 27,2 и 8,4%, для активного ила концентрацией 12,8 г/дм³ и такой же плотности ультразвука в фугат и фильтрат переходит 16,2 и 6,1% твердой фазы активного ила соответственно. Таким образом, результатом ультразвуковой обработки является уменьшение содержания твердой фазы исследуемых образцов активного ила. Потеря массы твердой фазы определяется как мощностью ультразвука (возрастает с её увеличением), так и концентрацией активного ила. С увеличением концентрации активного ила степень деструкции твердой фазы уменьшается. Наблюдается тесная корреляция между увеличением ХПК жидкой фазы (ΔХПК) и потерей массы твердой фазы активного ила (ΔС). Обращает на себя внимание тот факт, что с увеличением времени обработки изменяется показатель ХПК единицы массы твердой фазы, содержащейся в фугате. Имеется определенная закономерность в изменении отношения ΔХПК/ΔС, которое возрастает с увеличением энергозатрат. Причем большие значения этого отношения соответствуют большим концентрациям активного ила. Отношение ΔБПК/ΔХПК для жидкой фазы при плотностях ультразвука 4,75 и 6,30 Вт/см³ мало зависит от плотности ультразвука и находится в диапазоне 0,29...0,53. Для концентрации 7,7 г/дм³ при плотности ультразвука 3,15 Вт/см³ с увеличением времени обработки это отношение увеличивается с 0,17 до 0,58. Возможно, это связано с переходом в жидкую фазу внеклеточных полимеров. При концентрации активного ила 16,3 г/дм³ с увеличением плотности ультразвука и времени обработки отношение ΔБПК/ΔХПК имеет тенденцию к уменьшению. Для фильтрата это отношение составляет от 0,6 до 0,96. Причем тенденция роста этого показателя с увеличением плотности ультразвука и продолжительности обработки сохраняется.

Обработку активного ила на установке циркуляционного типа с гидродинамическим излучателем (кавитатором) проводили при изменении времени обработки от 60 с до 20 минут. При этом количество проходов активного ила через кавитатор изменялось от 12 до 240. При проведении исследований для увеличения числа проходов через кавитатор объем циркуляционной емкости уменьшили до 4 л. Время обработки выбирали с учетом результатов УЗО активного ила с использованием магнитострикционного излучателя. Это позволило ориентировочно определить число проходов активного ила через кавитатор, при котором достигаются аналогичные результаты. Анализ фильтрата, полученного из активного ила

после УЗ-обработки на установке с гидродинамическим излучателем, свидетельствует о том, что при сравнимых энергозатратах переход в жидкую фазу твердой составляющей активного ила в виде растворенных соединений менее выражен.

Заключение. Ультразвуковая обработка оказывает существенное влияние на состав фаз активного ила, характер которого определяется удельным расходом энергии на УЗ-обработку, плотностью ультразвука и типом источника ультразвука и содержанием твердой фазы в обрабатываемой суспензии. Ультразвуковая обработка сопровождается повышением температуры иловых суспензий, которое более выражено для иловых суспензий с высокой концентрацией активного ила.

Увеличение амплитуды УЗ-колебаний способствует увеличению степени деструкции твердой фазы, характеризующейся приростом ХПК жидкой фазы. Увеличение ХПК жидкой фазы линейно зависит от удельных энергозатрат на УЗ-обработку. Отношение прироста ХПК жидкой фазы к удельным энергозатратам составляет от 20 до 800 мг ХПК/кДж и зависит от концентрации активного ила. Основной вклад в прирост ХПК жидкой фазы в результате УЗ-обработки вносят частицы размером 0,2...20 мкм. Содержание растворенных веществ в жидкой фазе активного ила линейно зависит от удельных энергозатрат во всем исследуемом диапазоне концентраций активного ила.

Наблюдается тесная корреляция между увеличением ХПК жидкой фазы и содержанием твердой фазы в активном иле. На потерю массы твердой фазы влияет как плотность ультразвука, так и начальная концентрация активного ила. Отношение прироста БПК к приросту ХПК для жидкой фазы практически не зависит от плотности ультразвука и составляет 0,29...0,53. Для растворенных веществ, содержащихся в жидкой фазе обработанного ультразвуком активного ила, это отношение составляет 0,6...0,96.

Обработка активного ила на установке циркуляционного типа с гидродинамическим излучателем (кавитатором) при числе проходов через кавитатор от 12 до 240 приводит к увеличению ХПК жидкой фазы, которое линейно зависит от энергозатрат во всем диапазоне концентраций активного ила.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akin, B. Waste Activated Sludge Disintegration in an Ultrasonic Batch Reactor / B. Akin // Clean Soil, Air, Water. – 2008. – Vol. 36, № 4. – P. 360–365.
2. A comparison of ultrasound treatment on primary and secondary sludges / T. Mao [et. al.] // Water Sci. Technol. – 2004. – Vol. 50, Iss. 9. – P. 91–97.
3. Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge / J. Kim [et al.] // J. of Bioscience a. Bioengineering. – 2003. – Vol. 95, № 3. – P. 271–275.
4. Tiehm, A. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge / A. Tiehm, K. Nickel, U. Neis // Water Sci. Technol. – 1997. – Vol. 36, Iss. 11. – P. 121–128.
5. Riesz, P. Free radical generation by ultrasound in aqueous and nonaqueous solutions / P. Riesz, D. Berdahl, L. Christman // Environ. Health Perspect. – 1985. – Vol. 64. – P. 233–252.
6. Wang, F. Influence of ultrasonic disintegration on the dewaterability of waste activated sludge / F. Wang, M. Ji, S. Lu // Environmental Progress. – 2006. – Vol. 25, № 3. – P. 257–260.
7. Головнев, И.Э. Влияние ультразвуковой обработки на седиментационные и водоотдающие свойства суспензии активного ила / И.Э. Головнев, В.Н. Марцуль // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 122–128.
8. Show, K. Optimisation of sludge disruption by sonication / K. Show, Lee D. Mao // Water Research. – 2007. – Vol. 41. – P. 4741–4747.

Поступила 22.03.2019

INFLUENCE OF SLUDGE SUSPENSIONS CONCENTRATION ON ULTRASOUND TREATMENT RESULTS

I. GOLOVNEV, V. MARTSUL

The influence of the concentration of silt suspensions on the results of ultrasonic treatment is considered. It was found that the nature of changes in the composition of the liquid phase of activated sludge is determined by the specific energy consumption for ultrasonic treatment, the density of ultrasound and the type of source. Ultrasonic treatment is accompanied by an increase in the temperature of the silt suspension, which is greater the higher the concentration of the solid phase. It is shown that the ratio of the increase in the COD of the liquid phase to the specific energy consumption depends on the concentration of active silt. The main contribution to the increase in the COD of the liquid phase is made by particles with a size of 0.2...20 microns. The content of dissolved substances in the liquid phase of activated sludge depends linearly on the specific energy consumption for ultrasonic treatment in the entire studied range of active sludge concentrations. The ratio of BOD to increase the growth of COD for liquid phase practically does not depend on the density of the ultrasound.

Keywords: activated sludge, ultrasonic treatment, energy consumption, liquid phase, COD, BOD.

УДК 006.036.05(083.74)(476)

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СТАНДАРТА
ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ НЕФТЕПРОВОДОВ
И НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ**

**канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЁНОК;
В.А. ЕРШОВ; Е.А. МИХАЙЛЕНКО
(Полоцкий государственный университет)**

Рассмотрены вопросы по капитальному ремонту линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Исследование выполнено на основе СТП 09100.20001.017-2018 «Правила ремонта линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные требования. Порядок выполнения». Изложены вопросы, включающие способы и виды капитального ремонта магистральных трубопроводов, оценку их технического состояния, порядок производства работ при капитальном ремонте магистральных трубопроводов, восстановление нормативной глубины их залегания и организационно-техническая подготовка капитального ремонта. Рассмотрены особенности производства земляных работ в зимнее время: подъём, поддержание и укладка труб в зимнее время, вопросы охраны труда и охраны окружающей среды.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, линейная часть, капитальный ремонт, правила ремонта, нормативная глубина залегания, ремонт в зимнее время, очистка наружной поверхности.

На Республику Беларусь приходится 2983 километра магистральных трубопроводов. Для безопасной работы магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов необходимо своевременно проводить техническое обслуживание и ремонт. Капитальный ремонт линейной части подземных магистральных трубопроводов следует осуществлять в соответствии с требованиями проектной документации, технологических карт, СТП 09100.20001.017-2018 «Правила ремонта линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные требования. Порядок выполнения», а также с требованиями действующих технических нормативных правовых актов по охране труда, промышленной и пожарной безопасности, производственной санитарии, охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Для регламентации работ по капитальному ремонту линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов ОАО «Гомельтранснефть Дружба» на кафедре трубопроводного транспорта Полоцкого государственного университета разработан документ СТП 09100.20001.017-2018 «Правила ремонта линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные требования. Порядок выполнения».

В данном документе рассмотрены следующие вопросы:

- виды и способы капитального ремонта магистральных трубопроводов (МТ);
- оценка технического состояния МТ. Выбор вида и способа ремонта;
- порядок производства работ при капитальном ремонте МТ;
- восстановление нормативной глубины залегания МТ;
- организационно-техническая подготовка капитального ремонта МТ;
- особенности производства земляных работ в зимнее время;
- подъём, поддержание и укладка труб при капитальном ремонте МТ;
- типовые технологические схемы капитального ремонта МТ;
- требования пожарной безопасности при проведении капитального ремонта с заменой изоляционного покрытия;
- охрана окружающей среды при проведении капитального ремонта с заменой изоляционного покрытия.

Рассмотрим наиболее важные, с нашей точки зрения, разделы документа.

Виды и способы капитального ремонта магистральных трубопроводов

В данном разделе рассмотрены этапы работ по каждому виду ремонта, вопросы охраны окружающей среды и вопросы охраны труда.

Капитальный ремонт линейной части МТ по характеру и технологии проведения работ подразделяют на следующие виды:

- с заменой труб;
- с заменой изоляционного покрытия;
- выборочный ремонт.

Капитальный ремонт с заменой труб производится путем либо укладки в совмещенную траншею, либо укладки в отдельную траншею, вновь прокладываемого участка МТ рядом с заменяемым в пределах существующего технического коридора коммуникаций, либо демонтажа заменяемого МТ и укладки вновь прокладываемого трубопровода в проектное положение.

Капитальный ремонт линейной части МТ с заменой изоляционного покрытия без замены труб, как правило, производится после устранения выявленных в результате внутритрубной диагностики опасных и потенциально опасных дефектов. Остальные дефекты по результатам внутритрубной диагностики и выявленные во время проведения работ устраняются в процессе капитального ремонта МТ.

Выборочный ремонт используется для ремонта локальных участков линейной части МТ с опасными и потенциально опасными дефектами стенки, выявленными при обследовании.

К выборочному ремонту относятся:

Капитальный ремонт с заменой труб – производится следующими способами:

- путем укладки в совмещенную траншею вновь прокладываемого участка МТ рядом с заменяемым, с последующим демонтажем последнего;
- путем укладки в отдельную траншею в пределах существующего технического коридора коммуникаций, вновь прокладываемого участка МТ с последующим вскрытием и демонтажем заменяемого;
- путем демонтажа заменяемого МТ и укладки вновь прокладываемого трубопровода в проектное положение, в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами.

Капитальный ремонт с заменой изоляционного покрытия – производится следующими способами:

- с подъемом МТ в траншею;
- с подъемом и укладкой МТ на лежки в траншею;
- без подъема с сохранением положения МТ.

Выборочный ремонт включает:

- ремонт участков, прилегающих к узлам запорной арматуры;
- ремонт участков длиной от 10 до 20 DN;
- ремонт протяженных участков методом последовательных захваток или с использованием грунтовых опор;
- ремонт участков с заменой «катушки», трубы, узлов запорной арматуры и соединительных деталей трубопроводов.

Следующим важным разделом документа является

Оценка технического состояния магистральных трубопроводов. Выбор вида и способа ремонта

Оценка технического состояния и выбор вида капитального ремонта МТ производится на основе анализа результатов диагностики внутритрубного инспекционного прибора стенки трубы и состояния изоляционного покрытия, а также данных за весь период эксплуатации МТ.

Выбор вида и способа ремонта зависит от следующих показателей:

- состояния изоляционного покрытия и стенки трубы МТ;
- размеров и взаимного расположения коррозионных повреждений стенки трубы;
- количества и характера распределения опасных и потенциально опасных дефектов стенки трубы;
- конкретных условий пролегания МТ;
- фактических и прогнозируемых показателей загруженности МТ;
- технико-экономических показателей по видам и способам ремонта.

Все работы по капитальному ремонту можно разделить на этапы

Земляные работы при ремонте МТ разрабатываются по технологическим картам с привязкой к грунтам на участке капитального ремонта. Технологические карты разрабатываются в составе проекта производства работ под объект, по типовым технологическим картам. Производство земляных работ разрешается проводить без снижения рабочего давления в трубопроводе. Все работы по капитальному ремонту следует вести на полосе, отводимой во временное пользование. Ширина отводимой полосы определяется строительным проектом.

Поверхности линейной части МТ могут подвергаться очистке ручным, механизированным, пескоструйным и другими методами, обеспечивающими требуемую степень очистки. После очистки поверхность труб должна быть очищена от пыли, грязи и влаги. Запрещается применять химические способы очистки, приводящие к утончению толщины стенки трубы, огневые способы очистки, а также способы очистки, сопровождающиеся снятием металлической стружки с поверхности эксплуатируемого нефтепровода. Магистральный трубопровод должен быть заизолирован в тот же день после окончания очистки. Если очищенный МТ по каким-либо причинам остается незаизолированным до следующего дня, перед нанесением изоляции необходимо заново выполнить очистку. Не допускается проводить очистные работы во время дождя, снега, тумана, сильного ветра, пыльной бури и в других неблагоприятных климатических условиях.

В рассматриваемом документе **СТП 09100.20001.017-2018** «Правила ремонта линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные требования. Порядок выполнения» впервые проработаны вопросы восстановления нормативной глубины залегания МТ.

В Стандарте представлены следующие виды работ:

- восстановление нормативной глубины залегания участков линейной части МТ без заглубления;
- восстановление нормативной глубины залегания участков линейной части МТ с заглублением.

Восстановление нормативной глубины залегания участков линейной части МТ *без заглубления* заключается в насыпке земли без изменения положения трубопровода. Данный способ заглубления трубопровода используется на участках, расположенных на необрабатываемых землях или локальных участках, а также на обрабатываемых землях с отсыпкой привозным грунтом. Восстановление нормативной глубины залегания участков линейной части МТ *с заглублением* включает:

- заглубление линейной части МТ с подкопом. Данный способ заглубления трубопровода используется с подкопом без остановки перекачки для всех диаметров, во всех грунтовых условиях, кроме скальных грунтов;

- заглубление линейной части МТ с укладкой в совмещенную траншею. Заглубление с укладкой в совмещенную траншею применяется с ремонтом по замене изоляции;

- заглубление линейной части МТ с использованием грунтовых перемычек. Заглубление с использованием грунтовых перемычек выполняются механизированным и ручным способом при давлении в МТ не более 2,5 МПа в условиях равнинной и слабо пересеченной местности.

Заглубление линейной части МТ с подкопом: на участке проведения работ по заглублению МТ должны быть демонтированы временные ремонтные конструкции, не соответствующие нормативной документации независимо от окончания срока их эксплуатации.

Заглубление линейной части МТ с укладкой в совмещенную траншею: при отсутствии возможности заглубления протяженных участков линейной части МТ совмещением с ремонтом по замене изоляции следует применять заглубление с укладкой в совмещенную траншею.

Заглубление линейной части МТ с использованием грунтовых перемычек: работы по заглублению участка МТ выполняются механизированным и ручным способом при давлении в МТ не более 2,5 МПа, в условиях равнинной и слабо пересеченной местности, т.е. в нормальных условиях.

В Стандарте также рассмотрены **вопросы по капитальному ремонту в зимних условиях.**

Работы включают такие этапы, как: очистка от снега зоны разработки траншеи и зоны прохода ремонтной техники на суточный объем выполнения ремонтных работ; разработка траншеи и очистка трубопровода от старого изоляционного покрытия; выполнение ремонтно-восстановительных работ; укладка трубопровода на дно траншеи, присыпка его и засыпка траншеи минеральным грунтом при ремонте с подъемом или присыпка с подбивкой грунта под трубопровод на участках, определенных проектом производства работ, и засыпка траншеи минеральным грунтом при ремонте без подъема (с сохранением положения).

Особенности проведения работ в зимнее время:

- засыпка траншеи минеральным грунтом выполняется непосредственно вслед за изоляционно-укладочными работами. При длительных перерывах в работе слой мерзлого грунта с поверхности отвала следует удалить ковшом экскаватора;

- рекультивацию плодородного слоя почвы выполняют в теплое время года после оттаивания отвалов. При необходимости перед рекультивацией следует проводить планировку полосы засыпанной траншеи;

- во избежание заноса траншей снегом и смерзания отвала грунта при работе зимой темп разработки траншей должен соответствовать темпу изоляционно-укладочных работ.

Технологический разрыв между землеройным и изоляционно-укладочными процессами должен быть не более двухсуточной производительности землеройного процесса. При засыпке МТ в зимнее время мерзлым грунтом поверх него должен устраиваться валик грунта с учетом последующей осадки его при оттаивании.

В рассматриваемом документе важным разделом является рассмотрение вопросов по охране труда и охране окружающей среды при капитальном ремонте МТ.

До начала работ *в охранной зоне МТ* подрядная организация или предприятие разрабатывают и согласовывают мероприятия, обеспечивающие безопасное ведение работ и сохранность действующего МТ и его сооружений. Перед началом работ в охранной зоне всем руководителям работ (производителям работ, мастерам, бригадирам рабочих бригад) выдается наряд-допуск, в котором должны быть указаны правила, обеспечивающие безопасность производства работ. Все транспортные и строительные машины, а также места проведения работ должны быть обеспечены средствами, необходимыми для оказания первой доврачебной помощи. Работающие должны быть ознакомлены с правилами оказания первой доврачебной помощи.

Ответственность за соблюдение безопасных режимов перекачки при производстве капитального ремонта МТ несет организация или предприятие, эксплуатирующее магистральный трубопровод. В проекте производственных работ должны быть отражены *противопожарные мероприятия*, подлежащие выполнению при размещении и планировке временных жилых городков, стоянок автотранспортной техники, складской зоны, площадки приготовления мастик и грунтовок, полосы трассы в зоне движения машин и механизмов, обеспечивающих проезд к водоемам, предназначенным для использования при пожаротушении. В случае возникновения пожара необходимо действовать согласно плану ликвидации возможных аварий при производстве ремонтных работ, действующем на предприятии.

На всех этапах капитального ремонта магистрального трубопровода следует выполнять мероприятия, предотвращающие:

- развитие неблагоприятных рельефообразующих процессов;
- изменение естественного поверхностного стока;
- загорание естественной растительности и торфяников;
- захламление территории строительными и другими отходами;
- разлив горюче-смазочных материалов, слив отработанного масла, мойку автомобилей в неустановленных местах и т.п.

Кроме того, производственные отходы демонтажных работ при капитальном ремонте МТ должны обезвреживаться, отправляться на переработку или подвергаться захоронению. Рекультивация сельскохозяйственных, лесохозяйственных и других плодородных почв осуществляется в два этапа: технический и, при необходимости, биологический.

Заключение. Рассмотренные вопросы позволят поддерживать линейную часть магистрального трубопровода в рабочем состоянии и предотвращать всевозможные инциденты.

Данный документ согласован с МЧС, Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Министерством природы и ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Документ утвержден в ОАО «Гомельтранснефть Дружба» и принят к внедрению в данной организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила ремонта линейной части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Основные требования. Порядок выполнения : СТП 09100.20001.017-2018.
2. Технология ремонта трубопроводов в местах недостаточной глубины залегания. Методика расчета технологических параметров заглубления трубопроводов : рук. док. – М. : ОАО ВНИИСТ, 2008.
3. Условия производства работ в пределах охранных зон и просек на трассах линий, сооружений связи и радиотелефонии : утв. приказом Министра связи и информатики Респ. Беларусь от 26.06.1996 г., № 69.

Поступила 24.06.2019

SCIENTIFIC-METHODICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A STANDARD FOR THE OVERHAUL OF LINEAR PART OF OIL PIPELINES AND OIL PRODUCT PIPELINES

L. SPIRIDENOK, V. ERSHOV, E. MIKHAILENKO

In this article questions on capital repairs of a linear part of the main oil pipelines and oil product pipelines are considered. The article is based on STP 09100.20001.017-2018 "Rules of repair of the linear part of trunk oil pipelines and oil product pipelines. Basic requirement. Execution order." The article presents the issues including methods and types of overhaul MT, evaluation of the technical condition of MT, the procedure of works during overhaul MT, restoration of the normative depth of MT, organizational and technical preparation of overhaul MT, especially the production of earthworks in the winter, lifting, maintenance and laying of pipes in the winter, health and environmental issues.

Keywords: main pipeline, linear part, overhaul, repair rules, normative depth of occurrence, repair in winter, cleaning of the outer surface.

ГЕОДЕЗИЯ. ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 550.385.3

ЗЕМНЫЕ КАТАКЛИЗМЫ И ИХ СВЯЗЬ С КОСМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА;
А.Ю. КИРПИЧЕВ; А.В. ПРОКОПОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Представлен анализ происходящих на Земле катаклизмов (землетрясений, извержений вулканов, цунами, наводнений вследствие колебания уровней морей и океанов, климатических изменений) в контексте с космическими процессами, прежде всего гравитацией и солнечной активностью.

Ключевые слова: землетрясения, цунами, уровнемерные морские наблюдения, космические ритмы, солнечная активность, гравитация.

Введение. Земля – третья по удаленности от Солнца из восьми планет Солнечной системы, является единственной в ней, где наблюдается жизнь. Но эта особенность Земли не может поставить нашу планету вне законов механики, по которым живет Солнечная Система. Земля, как и другие планеты, совершает вращение вокруг Солнца по эллиптической орбите, вращается с определенной скоростью вокруг своей земной оси, имеет свой энергетический запас и не может не взаимодействовать с этими планетами через гравитацию и корпускулярные воздействия от Солнца в виде космических лучей во время солнечных вспышек. К данному пониманию человечество пришло через такое направление в философии, как космизм, рассматривающее космос, окружающую природу, человека как единое взаимосвязанное целое. Здесь следует отметить, прежде всего, труды В.И. Вернадского [1] и А.Л. Чижевского [2], в которых представлено учение о биосфере, а также К.Э. Циолковского, глубоко убежденного в существовании иных разумных цивилизаций во Вселенной. Вернадский шел к пониманию космической роли жизни от цикла геологических наук, а Чижевский во главу угла поставил солнечную активность и ее влияние на органическую жизнь Земли.

Жизнь Солнечной Системы, прежде всего движение ее планет вместе со спутниками, носит периодический характер: суточное вращение Земли вокруг своей оси; годичный оборот Земли вокруг Солнца; периодическое проявление солнечной активности и связанное с ним явление переплюсовки магнитного поля Солнца в среднем через каждые 11 лет и т.д. В зависимости от расположения планет Солнечной системы, главным образом Луны и Солнца, относительно Земли меняется гравитационное поле нашей планеты, что проявляется в морских, атмосферных и литосферных приливах. Периодически два раза в сутки в результате морских приливов уровень гидросферы Земли колеблется на 1...3 м, а литосферы – до 50 см. Считается, что это может быть основной причиной землетрясений и извержений вулканов, наблюдаемых и на других планетах земной группы.

Кроме землетрясений и извержений вулканов, космические ритмы могут проявиться на нашей планете в виде климатических изменений (ледниковый период и глобальное потепление климата во второй половине XX столетия), колебаний уровней морей и океанов, не связанных с привычными и понятными нам морскими приливами и приводящих к наводнениям или засухам. Космические ритмы, прежде всего солнечная активность, согласно основателю гелиобиологии А.Л. Чижевскому, оказывают влияние и на социально-общественную жизнь. Остановимся на связи космических процессов с природными катаклизмами, наблюдаемыми на Земле.

Сейсмическая активность Земли и космические процессы

Недоверие первой половины XX столетия к основоположникам философии космизма в плане приписывания ему к природным и общественным явлениям на Земле сменилось (начиная с 70-х годов и по настоящее время) бурным интересом к космизму со стороны научного сообщества. Наметила тенденция объяснить космическим влиянием всё происходящее на Земле, включая и природные катаклизмы. Множество исследований посвящено изучению корреляции между вулканическими извержениями, землетрясениями и космическими процессами (солнечной активностью и гравитацией). Известно значительное число результатов этих исследований, обобщенных в [3–5]. Многие исследователи подтвердили присутствие статистической связи между космическими процессами и природными катаклизмами на Земле. Так, наличие значимой корреляции между землетрясениями и солнечной активностью демонстрируют графики, представленные на рисунках 1–3.

На рисунке 1 сравниваются графики солнечной активности (чисел Вольфа) и числа погибших при сильных землетрясениях с 1900 по май 2010 года, свидетельствующие о наличии высокой корреляции. Автор графика Э.Н. Халилов отмечает, что кроме 21 и 23 циклов солнечной активности, ос-

тальные циклы приходятся на повышенные значения числа погибших. Высокий максимум числа погибших в 1977 году приходится на начало 21 цикла, максимум которого наблюдался в 1980 году. Максимум числа погибших в 2004 году приходился на окончание 23 цикла солнечной активности.

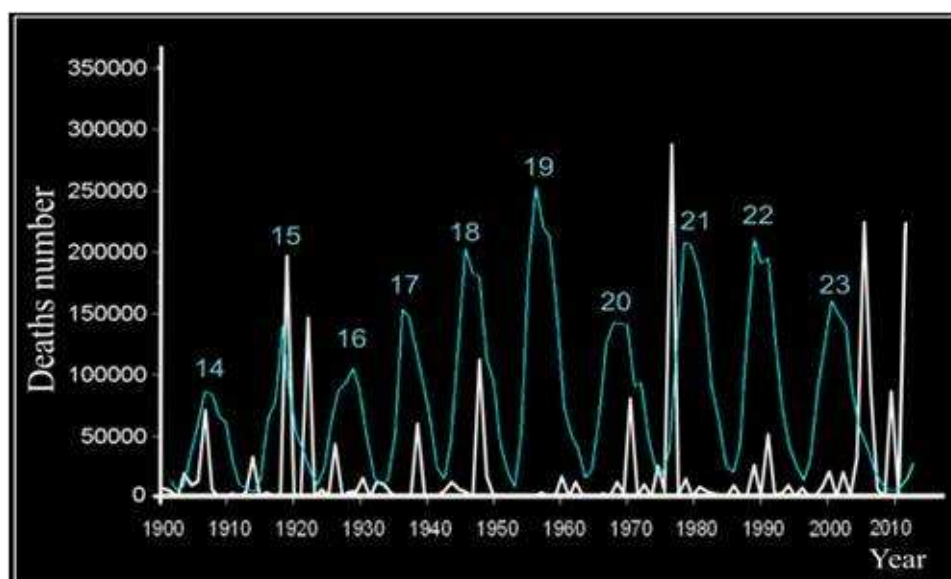


Рисунок 1. – Сравнение графика динамики числа погибших при сильных землетрясениях (белый) с графиком солнечной активности (серый) (составил Э.Н. Халилов, 2010 г.)

Рисунок 2 демонстрирует графики числа сильных землетрясений с $M > 8$ и солнечной активности за период с 1900 по май 2010 года. График сильных землетрясений составлен путем осреднения 5-летними скользящими средними. Здесь также проявляется высокая корреляция, и из рассмотренных десяти 11-летних циклов солнечной активности только два не совпадают с циклами повышенного числа сильных землетрясений – 16 и 17 циклы солнечной активности.

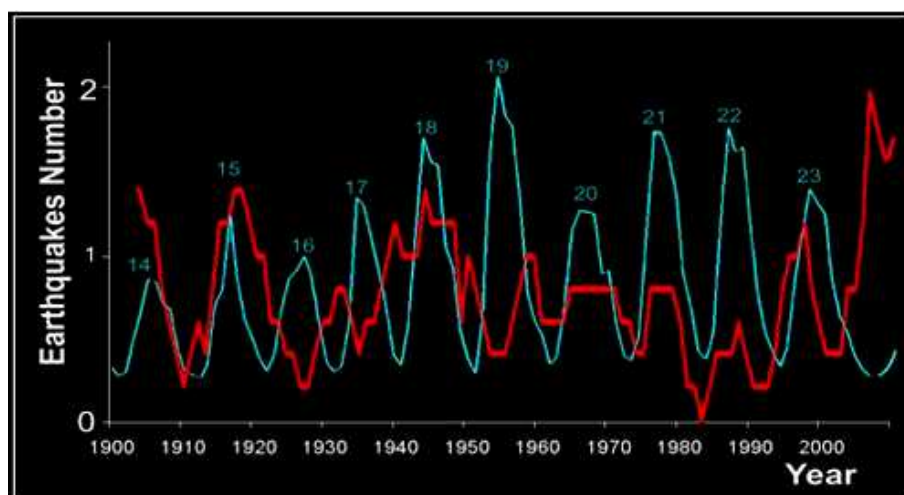


Рисунок 2. – Сравнение графика числа сильных землетрясений с $M > 8$ (серый) с графиком солнечной активности (белый) (составил Э.Н. Халилов, 2010 г.)

На рисунке 3 представлены графики числа сильных цунами и солнечной активности, которые, как известно, тесно связаны с сильными землетрясениями. В качестве примера здесь можно привести катастрофическое землетрясение в Японии 11.03.2011 г. магнитудой 9.0...9.1, вызвавшее мощное цунами по всему Тихому океану. Так, на побережье Чили, расположенному в 17 000 км от побережья Японии, зафиксированы волны цунами высотой до 2 м. Большинство сильных цунами произошло в периоды цик-

лов повышенной солнечной активности – во время 16, 18, 19, 21, 22 и 23-го циклов солнечной активности, о чем свидетельствуют данные отображенные на рисунке 3.

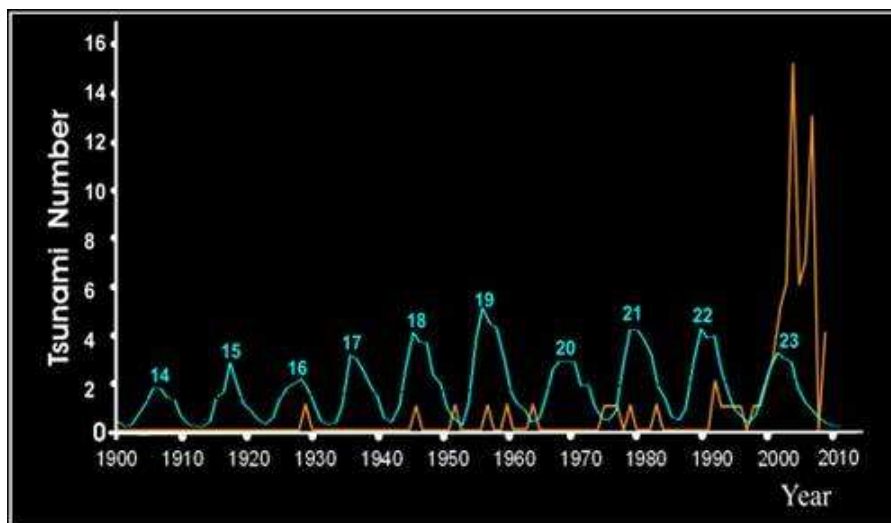


Рисунок 3. – Сравнение графика числа сильных цунами (серый)
с графиком солнечной активности (белый)
(составил Э.Н. Халилов, 2010 г.)

Многие ученые, несмотря на убедительные корреляционные графики (см. рисунки 1–3), перво-причину связи сейсмичности нашей планеты с космосом видят, однако, в гравитации [6].

На наш взгляд, отрицать влияние гравитации на природные катаклизмы на нашей планете бессмысленно, так как Солнечная Система живет по гравитационным и энергетическим законам. Именно гравитация является причиной лунно-солнечных земных и океанических приливов. Более того, Солнечная активность по всей вероятности также связана с гравитацией. Так, в [7] построены графики изменения солнечной активности Солнца и суммарной силы гравитации планет (Венеры, Земли, Юпитера), которые также коррелируют между собой. Но однозначного ответа на причины появления пятен на Солнце вследствие гравитации в настоящее время нет, и вопрос требует более тщательного изучения.

Солнечная активность и климат. Как известно, климатические условия во многом определяют жизнедеятельность нашей планеты. Резкие изменения климата (глобальное похолодание или потепление) могут сделать Землю безжизненной.

Ледниковые периоды случались в истории Земли неоднократно. Следы материковых оледенений обнаружены в слоях карбона и перми (300...250 млн лет), венда (680...650 млн лет), рифея (850...800 млн лет). Самые древние ледниковые отложения, обнаруженные на Земле, имеют возраст более 2 млрд лет.

Солнце как поставщик почти всей энергии, безусловно, оказывает значительное влияние на климат. Поэтому исследовали и космический след в климатических вариациях на нашей планете.

Однако в случае похолодания был найден ответ, что какого-то единственного планетарного или космического фактора, вызывающего оледенение, не обнаружено. Огромную роль в регуляции температуры приповерхностных слоев воздуха играет углекислый газ. Углекислота свободно пропускает солнечные лучи к земной поверхности, но поглощает большую часть теплового излучения планеты. Она служит гигантским экраном, препятствующим охлаждению Земли. С другой стороны, увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере может привести к глобальному потеплению, что актуально в настоящее время в связи с тенденцией глобального потепления, которое пытаются связать как с солнечной активностью, так и с парниковым эффектом в результате повышения выбросов в атмосферу углекислого газа от промышленных предприятий. Сравнение солнечной активности и климата за последние 1150 лет [8; 9] показало, что изменение температуры атмосферы соответствует вариациям солнечной активности. Однако после 1975 года, температура атмосферы продолжала повышаться, в то время как солнечная активность демонстрирует небольшой негативный тренд, либо его отсутствие. Поэтому окончательным выводом по глобальному потеплению считается следующее:

- значительная часть потепления XX столетия может быть обусловлена изменениями солнечной активности;

- в связи с практическим окончанием в настоящее время глобального потепления следует ожидать медленное понижение приповерхностной температуры воздуха в период с 2010 по 2040 год, в первую очередь в Северном полушарии над сушей.

Изменение уровня моря и космические процессы

Вопрос изменения уровня моря рассмотрим на примере Каспийского моря, являющегося внутренним, то есть бессточным. В Каспийское море впадает множество рек, главные из которых: Волга, Терек, Урал, Кура, но ни одна из него не вытекает. Единственное место оттока воды из Каспийского моря – залив Кара-Богаз-Гол, расположенный ниже по уровню. Каспийское море находится на стыке Скифско-Туранской и Иранской тектонических плит. По строению дно Каспийского моря относится к земной коре океанического типа. Регион Каспийского моря является сейсмоактивным с развитой хозяйственной инфраструктурой и ярко выраженными признаками техногенеза: отвод воды из рек для мелиорации, добыча нефти и газа, подземные ядерные взрывы. Основная проблема Каспийского моря заключается в интенсивном колебании его уровня на протяжении всего исторического периода, что наносит существенный урон окружающей среде и жизнедеятельности людей, так как сопровождается наводнениями или засухами. По данным современной науки, амплитуда колебания Каспийского моря достигает 15 м; по данным археологии и письменных источников, подъем Каспийского моря наблюдается с начала XVI века (рисунки 4–5).

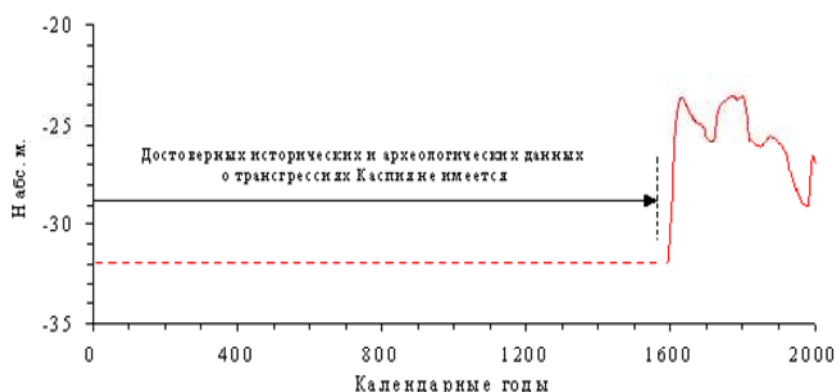


Рисунок 4. – Колебания уровня Каспийского моря в историческое время

Инструментальные наблюдения за уровнем Каспийского моря начались уже в XIX веке и представлены на рисунке 5, на котором график показан относительно среднего мирового океанического уровня. Современный период (начиная с 1940 года) также характеризуется понижениями и подъемами уровня воды в Каспийском море. С 1940 до конца 70-х опускание со скоростью $-3,30$ см в год, затем в течение 15 лет – подъем со скоростью $13,09$ см/год и далее примерно до 2014 года – опускание со скоростью $-6,72$ см/год [10].

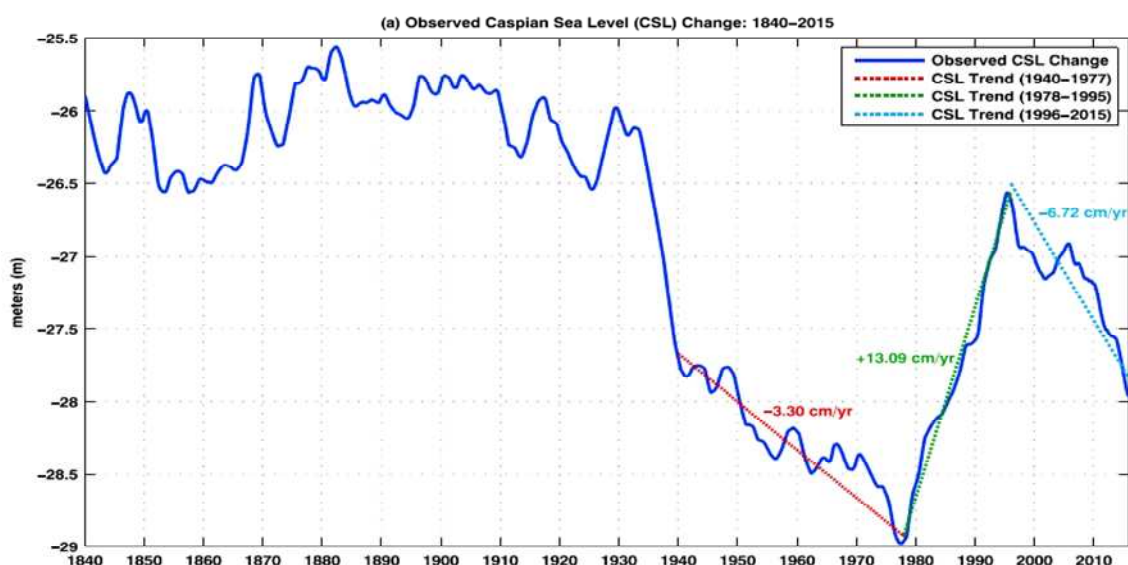


Рисунок 5. – Колебания уровня Каспийского моря по данным инструментальных наблюдений с 1840 по 2015 год

Известно несколько гипотез изменения уровня Каспийского моря: климатическая, тектоническая, техногенная. Так как колебания уровня Каспийского моря, согласно историческим сведениям, наблюдались с незапамятных времен, то техногенная причина не может быть основополагающей. Специалисты

по тектонике и геодинамике рассматривают [11] тектонику региона как основополагающую причину изменения уровня Каспия.

В работе [12] исследуется влияние солнечной активности через взаимодействие магнитных полей Земли и Солнца на увлажнение континентов. Исследование строится на анализе временных изменений солнечной активности по общепринятым числам Вольфа (W), характеристикам увлажнения в бассейне Волги и экспериментальным данным уровнемерных наблюдений Каспия. Положительный вывод автора в пользу космического влияния на колебания уровня Каспийского моря, по сути, подтверждает климатическую гипотезу, так как увлажнение бассейна реки Волги здесь связывается с влиянием Солнца на гидрологические и климатические процессы.

Значительный объем экспериментального материала исследован в работе [13], автор которой выполнил анализ скрытых периодичностей в среднегодовых значениях разностей уровней Каспия на разных уровнях постах, а также в рядах среднегодовых чисел Вольфа, индексов геомагнитной активности (АА-индексов) и изменений среднего уровня мирового океана. Одним из обобщений этой работы является вывод о связи колебаний уровня Каспийского моря с космическими процессами. В данной работе, как и в предыдущей, выражается уверенность в прекращении аномального подъема уровня Каспия, что подтвердилось в дальнейшем. Таким образом, в соответствии с рисунком 4 мы уже живем в период понижения уровня в Каспийском море.

В заключение проведенного исследования можно сделать **вывод**, что космические процессы влияют на природные катаклизмы нашей планеты, внося в их проявления определенные закономерности и периодичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский, В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. – М. : Айрис-пресс, 2012. – 576 с. – (Библиотека истории и культуры).
2. Чижевский, А.Л. Земное эхо солнечных бурь / А.Л. Чижевский. – М., 1976.
3. Хаин, В.Е. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности / В.Е. Хаин, Э.Н. Халилов. – Бургас : SWB, 2008. – 304 с.
4. Khalilov, E.N. Geochange // Problems of Global Changes of the geological Environment / E.N. Khalilov. – London. – 2010. – Vol. 1.
5. Мельников, В.П. Космопланетарная безопасность человечества (Космогонический аспект) / В.П. Мельников, Л.В. Костантиновская. – М. : Буки Веди, 2014. – 430 с.
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ng.ru/nauka/2011-04-26/9_gravity.html.
7. Приходовский, М.А. Анализ возможных причин влияния Юпитера на формирование солнечного цикла / М.А. Приходовский // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 7–4. – С. 547–552.
8. Solar activity, cosmic rays, and Earth's temperature: A millennium-scale comparison / I.J. Usoskin [et al.] // Geophys. Res., 110, A10102. – 2005. – С. 2–10.
9. Коваленко, В.А. Влияние солнечной активности на изменение климата / В.А. Коваленко, Г.А. Жеребцов // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – 27. – № 2. – С. 134–138.
10. Калинин, В.Н. Колебания уровня Каспия в инструментальный период / В.Н. Калинин. – СПб., 1994. – 160 с.
11. Хаустов, В.В. О влиянии геодинамического фактора на водный баланс Каспия / В.В. Хаустов // Вестн. СПбГУ. Сер. 7, 2006. – Вып. 4. – С. 20–36.
12. Соловьева, С.Н. Исследование зависимости колебания уровня Каспийского моря от солнечной активности / С.Н. Соловьева. – СПб. : Изд. РГГМУ, 2004. – 70 с.
13. Кафтан, В.И. Временной анализ геопространственных данных: кинематические модели : дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Кафтан. – М., 2004. – 259 л.

Поступила 20.06.2019

EARTH DISASTERS AND THEIR RELATIONSHIP WITH COSMIC PROCESSES

G. SHAROGLAZOVA, A. KIRPICHEV, A. PROKOPOVICH

The article is devoted to the analysis of cataclysms occurring on the Earth (earthquakes, volcanic eruptions, tsunamis, floods due to fluctuations in the levels of seas and oceans, climatic changes) in the context of space processes, primarily gravity and solar activity.

Keywords: earthquakes, tsunamis, level-measuring sea observations, space rhythms, solar activity, gravity.

УДК 528.7

КАЛИБРОВКА СНИМКОВ В ПРОГРАММАХ AGISOFT PHOTOSCAN И CONTEXT CAPTURE

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА;
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ; П.Ф. ПАРАДНЯ
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается способ «самокалибровка», получивший в последнее время широкое применение. Данный способ основан на решении фотограмметрических задач с учетом систематических ошибок конкретных снимков и использованием модели дисторсии Брауна. Реализуется в программных комплексах Agisoft Photoscan и Context Capture. В результате обработки снимков учебно-лабораторного корпуса № 3 Полоцкого государственного университета с цифровой камеры FC-220 были получены значения фокусных расстояний, изменяющихся в зависимости от числа опорных точек. Обращается внимание на некорректность терминологии и неточность в формулировках документа «Руководство пользователя» Agisoft Photoscan.

Ключевые слова: фотограмметрия, цифровые камеры, калибровка, программное обеспечение.

В последнее время в малых организациях широко используют для съемки с беспилотных летательных аппаратов бытовые и полупрофессиональные цифровые камеры, которые, однако, несовершенны и требуют калибровки. С появлением цифровых фотокамер многие пользователи предпринимая попытки использовать их для целей фотограмметрии, но для целей фотограмметрии необходимо знать элементы внутреннего ориентирования и дисторсию. К тому же бытовые и полупрофессиональные цифровые камеры вместо объектива, состоящего из набора линз, компенсирующих сферические аберрации, иногда используют всего лишь одну линзу.

Цель калибровки аэрофотоаппаратов (АФА) – определение параметров и характеристик оптико-фотографической системы, которые влияют на измерительные свойства аэрофотоснимков, их ортоскопию. Экспериментальные распределения дисторсии по полю изображения, выполняемые совместно с определением элементов внутреннего ориентирования съемочной камеры, составляют задачу фотограмметрической калибровки АФА [1]. К элементам внутреннего ориентирования относятся величина фокусного расстояния аэрокамеры и координаты главной точки.

В геометрической оптике луч, идущий из бесконечности параллельно оптической оси, по выходу из оптической системы пересечет оптическую ось в точке F' , которая называется фокусом. Расстояние от главной точки оптической системы S' до фокуса F' является фокусным расстоянием объектива в пространстве изображений и обозначается f' [2]. Плоскость, проходящая через фокус F' перпендикулярно оптической оси, называется фокальной плоскостью P' (рисунок 1).

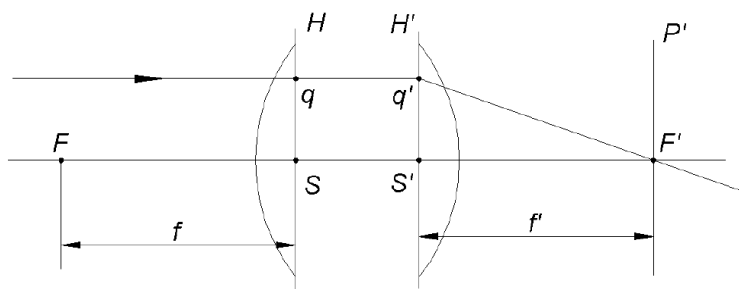


Рисунок 1. – Ход лучей в идеальной оптической системе

При конструировании аэрофотокамер стремятся расположить светочувствительную матрицу в фокальной плоскости с высокой точностью. Однако абсолютно точно расположить светочувствительную матрицу на расстоянии f' вряд ли возможно. Поэтому фокусное расстояние аэрокамеры – это условно принятое удаление плоскости прикладной рамки или плоскости выравнивающего стекла от заданной главной плоскости оптической системы H' [3]. Допустимая величина расфокусировки [3] может быть рассчитана следующим образом:

$$\Delta f_{\text{дон.}} = n_0 \tau_{\text{дон.}}, \quad (1)$$

где n_0 – апертура (в ходе съемки была принята 2,2); $\tau_{\text{дон.}}$ – диаметр пятна рассеяния, или кружка нерезкости.

Применительно к цифровой камере FC-220, используемой для съемки корпуса 3 Полоцкого государственного университета, в соответствии с работами [4, 5] $\tau_{\text{дон}} = 3,14$ мкм при размере пиксела $l = 1,57$ мкм [6] получили допустимую величину расфокусировки $\Delta f_{\text{дон}} = 6,91$ мкм. В случае если установлена апертура $n_0 = 4$, допустимая величина расфокусировки $\Delta f_{\text{дон}} = 12,56$ мкм, что говорит о целесообразности использовать при съемке апертуру $n_0 = 4$, а не $n_0 = 2,2$.

От постоянства фокусного расстояния, или расстояния от главной точки оптической системы до светочувствительной матрицы [7], зависит качество аэроснимка и точность фотограмметрической обработки [3]. Параметры оптической системы должны оставаться постоянными при изменении внешних условий [3].

Калибровка аэрофотокамер выполняется согласно утвержденным международным стандартам. Сертификаты о калибровке унифицированы, что дает возможность сравнивать параметры различных аэрофотокамер. Что касается калибровки цифровых камер, то в настоящее время нет установленного стандарта, и каждая фирма выполняет калибровку собственным способом. В результате фирмы представляют такие технические характеристики камер, которые не позволяют сравнить цифровые камеры разных производителей.

Фотограмметрические способы калибровки составляют три группы [1]: лабораторные, полевые (фотографирование полигона) и способ, получивший широкое применение в последнее время, называемый «самокалибровкой». Последний способ основан на решении фотограмметрических задач с учетом систематических ошибок конкретных аэрофотоснимков, полученных в определенных условиях.

Изучив руководства пользователей программ Agisoft Photoscan [6] и Context Capture [8], мы пришли к выводу, что в этих программах используется способ «самокалибровки».

Как отмечают авторы работы [6], при определении параметров внешнего и внутреннего ориентирования камер находят общие точки смежных снимков, которые в работе [6] называли «разреженное облако точек», и по этим точкам определяют все параметры камер [6]: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.).

В работе [9] говорится, что корректировка исходных данных калибровки производится во время процедуры выравнивания снимков. Выравнивание фотографий включает [9]:

- поиск общих точек на снимках;
- определение элементов взаимного ориентирования снимков;
- формирование первичной модели, состоящей из общих точек разреженного облака точек.

Таким образом, в работе [9] об элементах внешнего ориентирования не упоминается. Представляется, что в работе [6] допущена опечатка. По общим точкам смежных снимков элементы внешнего ориентирования определить невозможно. Первичное уравнивание элементов ориентирования выполняется автоматически на этапе выравнивания снимков [9]. При этом также производится определение фокусного расстояния f и положение главной точки, т.е. выполняется самокалибровка. Хотя в программе [9] можно зафиксировать калибровку в случае, если известны точные данные калибровки.

Уравнивание при строгом способе – полиномиальное [6]. Наиболее строгим способом многомаршрутной фототриангуляции является способ связок, в котором уравниваются непосредственно измеренные величины. В других способах фототриангуляции уравнивание ведется по полиномам разной степени. Нельзя сказать, что использование полиномов – строгий способ. Например, если имеется три опорные точки, будут учтены только ошибки за наклон модели относительно принятой системы координат. При наличии четырех опорных точек устранится скручивание модели; при пяти опорных точках – прогиб. Чем больше опорных точек, тем большая длина полинома может быть задействована. И во всех этих случаях окончательные координаты точек будут разными. Ожидать, что показания бортовых приборов выправят ситуацию нельзя, так как точность этого оборудования низкая [10]. К тому же авторы руководства [6] отмечают, что для уравнивания необходимо не менее 10 опорных точек. И далее авторы программы [6] утверждают, что «строгое уравнивание выполняется при оптимизации по координатам центров проектирования и/или координатам опорных точек».

В ходе уравнивания сетей фототриангуляции в программе Agisoft Photoscan нами были получены координаты центров проектирования, которые были приняты за истинные данные. Координаты центров проектирования, полученные по данным GPS-приемника, также были известны. Средние ошибки данных GPS приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Средние ошибки положения камер

Ошибка по оси X, м	Ошибка по оси Y, м	Ошибка по оси Z, м	Ошибка по осям X,Y, м	Общая ошибка, м
4,2	4,0	2,6	5,8	6,3

Как видим, положение центров фотографирования по данным GPS-приемника, установленного на беспилотном летательном аппарате, определяются с низкой точностью. Как справедливо отмечено в работе [10], ошибки в определении координат центров проектирования могут достигать 20...30 метров.

И как отмечает тот же автор [10], ошибки в углах наклона снимков могут составлять 10° . При таких ошибках сети фототриангуляции без опорных точек, опираясь только на показания бортовых приборов, строить нельзя.

Скорректированные данные калибровки отображаются в разделе «Калибровка камеры» отчета об обработке проекта. В этом разделе отчета (рисунок 2) представлены «невязки по связующим точкам». По нашему мнению, это усредненные значения калибровки на обрабатываемом объекте.

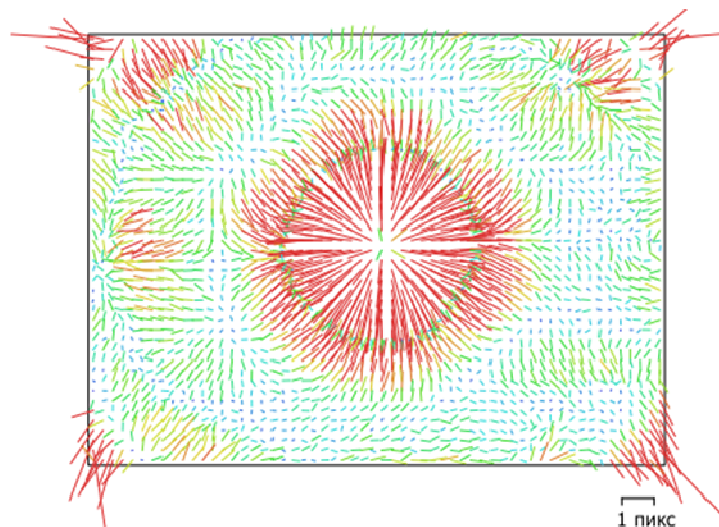


Рисунок 2. – Невязки по связующим точкам для FC220 (4.73mm)

Связующие точки набираются автоматически. В ходе работы программой было набрано более 57000 связующих точек на объект, состоящий из 62 снимков.

На рисунке 2 отображено примерно 2400 точек. С нашей точки зрения, связующих точек должно быть значительно меньше, и они должны быть не менее чем в тройном продольном перекрытии. Возникает вопрос, зачем программа набрала более 57000 связующих точек, так как это существенно увеличило время работы. Возможно, точки она выбирает произвольно, чтобы автоматизировать процедуру измерения точек.

Контрольная сетка для калибровки аэрофотоаппаратов формата кадра 30×30 см содержит около 3400 крестов. Для формата кадра 18×18 см – число крестов составляет 1156, а для снимков, полученных цифровой камерой FC220 формата кадра $5,54 \times 4,16$ мм, набирают более 2400 точек (см. рисунок 2). Кроме того, методика определения параметров аэрофотоаппаратов совсем иная, чем в программе Agisoft Photoscan, которая решает задачу по так называемым связующим точкам, которых в среднем для каждого снимка около 2400.

Как видим из рисунка 2, точки располагаются равномерно по площади кадра. Представляется, что по этим точкам и выполняют калибровку. Но возникает вопрос, почему точки назвали связующими? В фотограмметрии связующей точкой называют контурную точку, расположенную в зоне тройного продольного перекрытия снимков, т.е. общую точку для смежных стереопар [11]. Из рисунка 2 также видно, что самые большие расхождения – в центре и углах кадра, но есть места, где расхождений практически нет. Надо полагать, что расхождений нет там, где точки не располагаются в зонах тройных и более перекрытий. Таким образом, точки без ошибок, которые есть на рисунке 2, наблюдаются в одной модели, поэтому и нет расхождений. Однако они тоже будут принимать участие в калибровке и, следовательно, исказить результат. Расхождение координат на точках может быть вызвано разными причинами: рельефом, углами наклонов снимков, погрешностями работы коррелятора и другими.

В программе Agisoft Photoscan, как свидетельствуют авторы руководства [6], при анализе снимков используется модель дисторсии Брауна, и отмечают, что снимки, полученные большинством камер, достаточно хорошо описываются данной моделью [6].

Браун предложил следующую модель учета дисторсии [12]:

$$x' = x + \bar{x} (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + [p_1 (r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x} \cdot \bar{y}] \cdot [1 + p_3 r^2 + \dots]; \quad (2)$$

$$y' = y + \bar{y} (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + \dots) + [2p_1 \bar{y} + p_2 \cdot p_2 (r^2 + 2\bar{y}^2)] \cdot [1 + p_3 r^2 + \dots], \quad (3)$$

где $\bar{x} = x - x_p$; $\bar{y} = y - y_p$; $r = [(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2]^{1/2}$; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты радиальной дисторсии; p_1, p_2, p_3 – коэффициенты тангенциальной дисторсии; x, y – измеренные в системе координат снимка координаты точки; x_p, y_p – координаты главной точки снимка; x', y' – координаты, исправленные за дисторсию.

Исходя из формул (2) и (3), дисторсия в главной точке, расположенной в центре кадра, равна нулю, но на рисунке 2 – самая большая дисторсия. Погрешности за рефракцию и т.д., которые также учитываются при калибровке, в центре кадра не должны давать искажений. Следовательно, возникает вопрос, почему на центральных точках большие искажения?

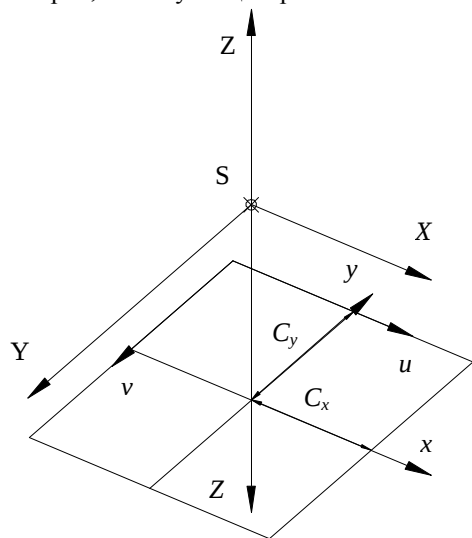


Рисунок 3. – Локальная система координат

Модель дисторсии, как говорится в руководстве [6], в программе Agisoft Photoscan описывает трансформацию координат точки в локальной системе координат камеры в пикселах кадра (сенсора), однако применять слово «трансформация» при определении дисторсии некорректно, о чем свидетельствует источник [13].

Авторы программы Agisoft Photoscan [6] пишут, что начало координат локальной системы находится в центре проекции камеры. Ось Z указывает в направлении взгляда, ось X направлена вправо, ось Y – вниз. Возникает вопрос, как понимать описанную систему координат?

Судя по приведенным ниже формулам, оси X и Y локальной системы координат параллельны осям координат на снимке, а ось Z, неясно куда направлена. Неизвестно, эта ось направлена вверх, или вниз. Предположительно, что оси координат направлены, как показано на рисунке 3.

Начало системы координат кадра (сенсора) находится в верхнем левом пикселе кадра, координаты центра которого (0,5; 0,5). Ось X направлена вправо, ось Y – вниз. Координаты кадра измеряются в пикселах (рисунок 4).

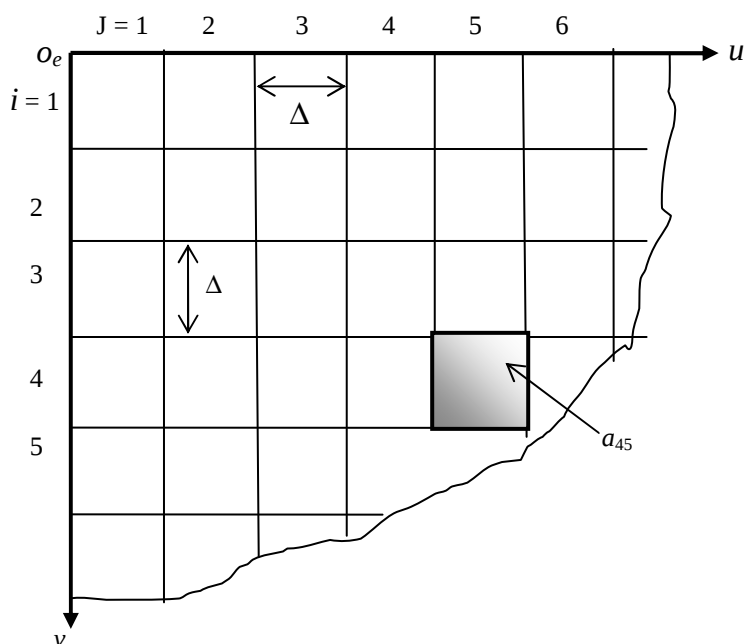


Рисунок 4. – Система координат кадра

В программах Agisoft Photoscan и Context Capture [8] для обработки кадровых снимков использовались следующие формулы для учета дисторсии [6]:

$$x = X/Z; \quad (4)$$

$$y = Y/Z; \quad (5)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2};$$

$$x' = x(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy; \quad (6)$$

$$y' = y(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6) + P_1(r^2 + 2y^2) + 2P_2xy; \quad (7)$$

$$u = c_x + x'f_x + y'skew; \quad (8)$$

$$v = c_y + y'f_y. \quad (9)$$

Здесь, в формулах (4)–(9), X , Y , Z – координаты точки в локальной системе координат камеры; u , v – координаты точки, в проекции на плоскость кадра; f – фокусное расстояние; c_x , c_y – смещение кардиальной точки; f_x , f_y – проекции фокусного расстояния на оси координат снимка x и y (в пикселах); $skew$ – коэффициент скоса; k_1 , k_2 , k_3 – коэффициенты радиальной дисторсии; p_1 , p_2 , p_3 – коэффициенты тангенциальной дисторсии.

На основании формул (4)–(9) можно предположить, что в формулах для вычисления x и y допущена опечатка. Координаты точек на снимке имеют размерность, а отношения X/Z и Y/Z безразмерные величины. Возможно, эти формулы должны иметь вид:

$$x = \frac{Xf}{Z}; \quad y = \frac{Yf}{Z}. \quad (10)$$

Нельзя предположить, что перейдем к координатам точки на снимке, так как значение f в формулах (10) будет учтено при вычислении u и v . Так как в формулах (8) и (9) фигурируют проекции фокусного расстояния на оси координат снимка x и y – f_x и f_y , которые составляют очень малую величину, что не позволит получить координаты u и v (см. рисунок 2).

Величины f_x и f_y в формулах Брауна отсутствуют. Однако, возможно, они имеют место быть. Аэрофотоаппараты тщательно монтируют так, чтобы оптическая ось объектива была перпендикулярна плоскости светочувствительного материала, и в этом случае f_x и f_y равны нулю. Более того, в фотограмметрии часто главной точкой снимка называют основание перпендикуляра, опущенного из центра проекции на плоскость снимка [3]. Однако когда речь идет о бытовых цифровых камерах, то условие перпендикулярности оптической оси плоскости светочувствительной матрицы маловероятно, и оптическая ось может пересечь светочувствительную матрицу под углом, не равным 90° . В этом случае и могут появиться проекции фокусного расстояния на плоскость снимка. Однако в работе [14] отмечено, что f_x и f_y – проекции фокусного расстояния не на плоскость снимка, а на плоскости ZX и ZY соответственно (см. рисунок 3). В этом случае значения f_x и f_y будут близки к значению фокусного расстояния и использование формул (10) не понадобится.

В формулах Брауна $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – координаты точки в системе координат снимка, а в формулах (4) и (5) имеем безразмерные коэффициенты с учетом дисторсии.

Отсутствует пояснение, в чем отличие u , v от x' и y' . Скорее всего, одни координаты u и v должны быть в пикселах, другие (x' и y') – безразмерные коэффициенты с учетом дисторсии.

Кроме того, непонятно, какие это координаты: X , Y или Z ? Это координаты точек на местности или на снимке? Если X , Y и Z – координаты точек на местности, то они неизвестны. Для определения этих координат и строят сети фототриангуляции. Возможно, речь идет обо всех точках всех снимков, которые включают в сеть. Скорее всего, X и Y – координаты точек на снимке, а Z – это фокусное расстояние, как видно из рисунка 3. Отношения X/Z и Y/Z вычисляют, чтобы получить безразмерные коэффициенты, с которыми в дальнейшем и работают.

Формулы для вычисления x' и y' соответствуют предложенным Брауном, однако в них не учтены параметры в последних скобках формул (2) и (3). Представляется, что авторы программы Agisoft Photoscan сделали допущение о том, что они малы и не повлекут какие-либо существенных изменений.

В пояснении к c_x и c_y имеется неясность относительно кардиальной точки. Следовало написать «координаты главной точки снимка в системе координат uv (см. рисунок 3).

Авторы работы назвали термин $skew$ коэффициентом скоса. Однако непонятно, что они под этим коэффициентом подразумевают. В работе [14] $skew$ назван «коэффициентом неортогональности системы координат снимка», что вполне понятно.

Начиная с версии 1.4, рекомендовано пользоваться следующими формулами [6]:

$$x = X/Z; \quad (11)$$

$$y = Y/Z; \quad (12)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (13)$$

$$x' = x(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + K_4 r^8) + (P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy) \cdot (1 + P_3 r^2 + P_4 r^4); \quad (14)$$

$$y' = y(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + K_4 r^8) + (P_1(r^2 + 2y^2) + 2P_2xy) \cdot (1 + P_3 r^2 + P_4 r^4); \quad (15)$$

$$u = 0,5w + c_x + x'f + x'B_1 + y'B_2; \quad (16)$$

$$v = 0,5h + c_y + y'f. \quad (17)$$

В представленных выше уравнениях (11)–(17) использованы следующие параметры: X, Y, Z – координаты точки в локальной системе координат камеры; u, v – координаты точки в проекции на плоскость кадра; f – фокусное расстояние; c_x, c_y – смещение кардиальной точки; K_1, K_2, K_3, K_4 – коэффициенты радиальной дисторсии; P_1, P_2, P_3, P_4 – коэффициенты тангенциальной дисторсии; w – ширина кадра в пикселах; h – высота кадра в пикселах; B_1, B_2 – коэффициенты аффинитета и неортогональности.

Как видим, повторяются те же неточности в формулировках.

Сопоставляя формулы (14)–(15) с формулами (6)–(7), видим, что, начиная с версии 1.4, в формулах используется большее число коэффициентов для учета дисторсии.

В формулах (16) и (17) вместо проекций фокусного расстояния на оси координат снимка x и $y - f_x$ и f_y используется само фокусное расстояние f , и в этом случае нет надобности в формулах (10).

Понятие «аффинитет» как сокращенное название для аффинного преобразования чаще употребляется в других областях науки, а не в фотограмметрии. Правильное название сформулировано в работе [14]: «коэффициенты неортогональности системы координат снимка».

Авторы программы Agisoft Photoscan отмечают, что параметры калибровки камеры, рассчитанные в Photoscan, могут отличаться от параметров калибровки, полученных при измерениях в лабораторных условиях, и поясняют: «дело в том, что в Photoscan рассчитываются эффективные параметры, соответствующие конкретному обрабатываемому набору снимков и координат. Они могут отличаться от определенных в лабораторных условиях в силу разных факторов, основные из которых – движение летательного аппарата при использовании движущегося затвора и атмосферная рефракция» [6].

И далее авторы программы Agisoft Photoscan [6] отмечают, что эффективные параметры зависят от рефракции, конфигурации поверхности и схемы маршрутов. Эффективные параметры отличаются от параметров, определенных в лаборатории [6]. К тому же приведенные выше формулы не описывают ни рефракцию, ни движение летательного аппарата и т.д.

Рефракция, конфигурация поверхности, схемы маршрутов, кривизна Земли, движение летательного аппарата, конкретный набор снимков не имеют никакого отношения к параметрам калибровки. Если они и учитываются в программе, встает вопрос, по каким формулам и в ходе какой процедуры? По нашему мнению, они не могут быть учтены в ходе калибровки, при которой определяются оптические характеристики объектива.

Уравнивание сетей фототриангуляции выполнялось в программах Agisoft Photoscan и Context Capture при разном числе опорных точек. Значения фокусных расстояний в зависимости от числа опорных точек, полученные после уравнивания, приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Уравнивание сетей фототриангуляции в программах Agisoft Photoscan и Context Capture

Программа Agisoft Photoscan		Программа Context Capture	
число опорных точек	f , мм	число опорных точек	f , мм
3	4,708	5	4,36
4	4,706	7	4,68
5	4,75		

Таким образом, сопоставляя величины фокусных расстояний f , видим, что их значения изменяются в зависимости от числа опорных точек, а этого быть не должно. Число опорных точек не может изменить оптические характеристики объектива.

Величины фокусных расстояний в программе Agisoft Photoscan изменяются в меньшей степени, чем в программе Context Capture.

Разработчику программного обеспечения следует более ответственно относиться к написанию «Руководства пользователя». Любые нормативные документы и руководства должны тщательно проверяться, редактироваться и не допускать двойных толкований, жаргонной лексики и тем более ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных, В.П. Аэрокосмическая фотосъемка / В.П. Савиных, А.С. Кучко, А.Ф. Стеценко – М. : Картгеоцентр – Геодезиздат, 1997. – 378 с.
2. Мальцев, М.Д. Прикладная оптика и оптические измерения / М.Д. Мальцев, Г.А. Каракулина. – М. : Машиностроение, 1968. – 472 с.
3. Щербаков, Е.Я. Расчет и конструирование аэрофотоаппаратов / Е.Я. Щербаков. – М. : Машиностроение, 1979. – 464 с.
4. Гельман, Р.Н. Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией / Р.Н. Гельман, А.Л. Дунц // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 23–31.

5. Михеева, А.А. Анализ разрешающей способности снимков, полученных с беспилотного летательного аппарата / А.А. Михеева, В.В. Ялтыхов, П.Ф. Парадня // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2018. – № 8. – С. 184–192.
6. Agisoft Photoscan. Руководство пользователя, 2016. – 113 с.
7. Михеева, А.А. О переменном фокусном расстоянии / А.А. Михеева // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 16. – С. 146–149.
8. Context Capture User Manual. Bentley Systems, 2018. – P. 200–203.
9. Обработка материалов аэросъемки в Agisoft Photoscan Pro. Получение ортофотопланов. Получение матрицы высот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/26314172-Agisoft-photoscan-pro.html>. – Дата доступа: 23.06.2019.
10. Сечин, А.Ю. Беспилотный летательный аппарат: Применение в целях аэросъемки для картографирования. Ч. 2 [Электронный ресурс] / А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева. – Режим доступа: <https://russiandrone.ru/publications/bespilotnyy-letatelnyy-apparat-primenenie-v-tselyakh-aerofotosemki-dlya-kartografirovaniya-chast-2>. – Дата доступа: 23.06.2019.
11. Лобанов, А.Н. Аэрофототопография / А.Н. Лобанов. – М. : Недра, 1978. – 576 с.
12. Duane C., Brown Close-Range Camera Calibration / Duane C. Brown // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1971. – Vol. 37, № 8, August. – P. 855–866.
13. Советский энциклопедический словарь / А.М. Прохоров (гл. ред.). – 3-е изд. – М. : Сов. энциклопедия, 1985. – 1600 с.
14. Испытательный полигон МИИГАиК для тестирования, калибровки и сертификации беспилотных летательных систем / А.Г. Чибуничев [и др.] // Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – Новополоцк, 2016. – С. 36–47.

Поступила 20.06.2019

IMAGE CALIBRATION WITH AGISOFT PHOTOSCAN AND CONTEXTCAPTURE

A. MIKHEEVA, V. YALTYKHOV, P. PARADNYA

Recently small organization widely use consumer and semi-pro digital cameras for survey with pilotless aircraft, which is far from perfection and requires calibration. The paper examines a method that has recently become popular and is called “self-calibration” based on solving photogrammetric problems using systematic errors of particular images performed by Agisoft Photoscan and Context Capture. This method uses Brown distortion model. As a result of processing the images of the Polotsk State University campus building 3 with the FC-220 digital camera, the values of the focus distance changing with the number of survey points are calculated. It is pointed out that Agisoft Photoscan guide uses terminology incorrectly and inaccurately.

Keywords: photogrammetry, digital cameras, calibration software, reference points.

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА

<i>Боровкова А.А., Метла В.Ф., Халецкая Ю.А.</i> Основные принципы формирования комфортной среды студенческих общежитий	2
<i>Лазаренко О.В., Кругликова М.Л., Барменкова М.А., Труханович С.В.</i> Повышение эффективности сложившейся предметно-пространственной среды жилых комнат студенческого общежития.....	6

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<i>Davydenko N., Bakatovich A., Shabanov D.</i> Porous wall ceramics with burnout additive from flax boon	13
<i>Шведов А.П.</i> Влияние разновидностей сульфата натрия в комплексной добавке на основе сульфированных тяжелых смол пиролиза на сохраняемость подвижности бетонных смесей	19
<i>Shabanov D., Ilmyradov I., Matniyazov S.</i> Influence of superplasticizer on structure formation of cement stone in salt medium	23
<i>Бакатович А.А., Давыденко Н.В., Розыев М.А.</i> Теплоизоляционный материал на заполнителе из отходов переработки хлопкового волокна	29
<i>Лазовская И.В., Андреева Р.А., Тур В.В.</i> Оценка прочности серобетонов различных составов.....	34
<i>Катульская А.С., Парфенова Л.М.</i> Сравнительный анализ применения промышленных отходов в качестве модификаторов гипсовых вяжущих	38
<i>Шабанов Д.Н., Брянецев Е.Г., Язубкин А.Н., Крупенчик И.В., Змитрович С.Ю.</i> Теплоизоляционные материалы и их конвективные свойства	44
<i>Шведов А.П., Белошапка В.И.</i> Комплекс составов для герметизации стыка труб со стенкой фундамента	49

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

<i>Опанасюк И.Л., Данилов С.В.</i> Технические решения по устройству оголовков конструкции усиления железобетонных колонн	55
<i>Shvedov A., Beloshapka V.</i> Application of stuffing boxes and sleeves for the passage of pipelines through the walls of foundations	61
<i>Надольский В.В., Мартынов Ю.С., Осипчик А.В.</i> Опыт нормирования ветровой нагрузки для территории Республики Беларусь: предыстория и современное состояние	64
<i>Шабанов Д.Н., Язубкин А.Н., Вабищевич С.А., Боровкова Е.С., Трамбицкий Е.А.</i> Параметры сигналов акустической эмиссии и их применение при мониторинге состояния структуры бетона	74
<i>Кравцов В.Н.</i> Практика применения Еврокода 7 в Республике Беларусь и сравнительный анализ расчетов фундаментов по европейским и национальным нормам.....	79
<i>Ластовская А.В., Парфенова Л.М., Сати Рабих</i> Стойкость строительных конструкций на основе бетонов с полимерными добавками к сульфатной коррозии	87
<i>Лазовский Д.Н., Хаткевич А.М.</i> Влияние вида сеток для поперечного армирования в горизонтальных растворных швах на напряженно-деформированное состояние коротких армокаменных элементов	93

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

<i>Ющенко В.Д., Велюго Е.С., Козицин Т.В.</i> Инновации в технологии очистки подземных вод сложного состава	101
<i>Головнев И.Э., Марцуль В.Н.</i> Влияние концентрации иловых суспензий на результаты ультразвуковой обработки	105
<i>Спириденко Л.М., Еришов В.А., Михайленко Е.А.</i> Научно-методические подходы к разработке стандарта по капитальному ремонту линейной части нефтепроводов и нефтепродуктопроводов	112

ГЕОДЕЗИЯ. ФОТОГРАММЕТРИЯ

<i>Шароглазова Г.А., Кирпичев А.Ю., Прокопович А.В.</i> Земные катаклизмы и их связь с космическими процессами	116
<i>Михеева А.А., Ялтыхов В.В., Парадня П.Ф.</i> Калибровка снимков в программах Agisoft Photoscan и Context Capture.....	121