



Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия архитектуры и строительных наук
Российская академия естествознания
Российское общество по механике грунтов,
геотехнике и фундаментостроению
Администрация Волгоградской области
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ И ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Материалы VI Международной
научно-технической конференции
13–14 октября 2011 г., Волгоград

Волгоград 2011

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия архитектуры и строительных наук
Российская академия естествознания
Российское общество по механике грунтов,
геотехнике и фундаментостроению
Администрация Волгоградской области
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

**НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ
И ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ**

Материалы

VI Международной научно-технической конференции

13—14 октября 2011 г., Волгоград

Волгоград 2011

УДК 66.077.5+336.648
ББК 38.300.6-106.2+38.5-028.05+38.5я431
Н350

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. С.Ю. Калашников,
д-р техн. наук, проф. А.Н. Богомолов,
д-р техн. наук., проф. В.А. Пшеничкина,
д-р техн. наук, проф. О.В. Бурлаченко,
канд. техн. наук, проф. Т.К. Акчурин,
канд. техн. наук., доц. А.В. Жиделёв

Н350 **Надежность** и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы VI Международной научно-технической конференции, 13—14 октября 2011 г., Волгоград / М-во образования и науки РФ; РААСН; РАЕ; РОМГГиФ; Администрация Волгоградской области; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. – 384 с.

ISBN 978-5-98276-468-3

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области надежности и долговечности строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов по следующим направлениям: вопросы безопасности, эксплуатации и надежности строительных конструкций и сооружений; совершенствование методов их расчета в обычных и сложных условиях эксплуатации; актуальные проблемы и задачи фундаментостроения, геотехники и геомеханики в целом; проблемы современного строительного материаловедения, рационального использования сырьевых ресурсов в производстве строительных материалов, снижения энергоемкости их технологий. Содержатся научные доклады и статьи ведущих ученых и производственников, работающих по указанным направлениям в Российской Федерации и зарубежных странах.

Для научных работников, ведущих специалистов, сотрудников научно-исследовательских институтов, преподавателей вузов, соискателей, аспирантов и специалистов строительной отрасли.

УДК 66.077.5+336.648
ББК 38.300.6-106.2+38.5-028.05+38.5я431

ISBN 978-5-98276-468-3

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2011

© Авторы статей, 2011



СОДЕРЖАНИЕ

Акчурин Т.К., Потапов А.А. Полимерцементные самонивелирующиеся композиции на основе техногенных отходов	8
Алексиков С.В., Карпушко М.О. Анализ особенностей работы асфальто-бетонных заводов	12
Артамонова О.В. Инновации в области нанокерамических материалов	18
Арушонок Ю.Ю., Арушонок Н.Ю. Оценка прочности стали металлоконструкций при обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений	22
Арушонок Ю.Ю., Арушонок Н.Ю. К вопросу о мониторинге технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений	27
Бабалич В.С., Воловик Т.О. Краткий анализ современного состояния нормативной базы проектирования и строительства	34
Бабкин В.А., Андреев Д.С., Игнатов А.Н., Белоусов С.П., Заиков Г.Е. Теоретическая оценка кислотной силы некоторых силоксандиолов	39
Бабкин В.А., Дмитриев В.Ю., Савин Г.А., Заиков Г.Е. Экспериментальное и квантово-химическое исследование механизма прямого ацилирования бициклофосфитов ацилгалогенидами	50
Бабкин В.А., Неписов М.М., Заиков Г.Е. Геометрическое и электронное строение некоторых алициклических олефинов и диолефинов методом MNDO	59
Бабкин В.А., Пристансков А.А., Заиков Г.Е. Теоретическая оценка кислотной силы и квантовохимический расчет некоторых алициклических олефинов	65
Балибардина Н.Г. Правовой режим объектов незавершенного строительства	74
Богатов А.Д., Богатова С.Н., Казначеев С.В., Ерофеев В.Т. Биостойкие композиты каркасной структуры на основе отходов стекла	77
Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Шиян С.И., Тихонова Т.М. Изменение состава и свойств лессовых пород при длительной фильтрации	82
Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Шиян С.И., Тихонова Т.М. О просадочных и послепросадочных деформациях лессовых пород междуречья Прут-Днестр	86
Богомолова О.А., Бабаханов Б.С., Соловьев А.В., Нестеров Р.С., Богомолов С.А. Анализ современных методов расчета несущей способности оснований фундаментов мелкого заложения	92
Богомолова О.А., Ечевский А.В., Бабаханов Б.С., Соловьев А.В., Богомолов С.А., Нестеров Р.С. Расчет несущей способности оснований фундаментов на основе анализа полей напряжений и перемещений	113
Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Длугашевский А.В. Основные принципы безопасной эксплуатации городских транспортных сооружений	116
Бондарев Б.А., Прозорова Л.А. Современные пути повышения основных физико-механических свойств дорожных покрытий	120

Бондарев Б.А., Штефан Ю.В., Прозорова Л.А. Исследование физико-механических свойств шлаковых асфальтобетонов	125
Волгина Е.В. Исследование биосопротивления композитов на основе винилэфирной смолы	130
Груздев А.А., Акчури Т.К., Пушкарская О.Ю. Мелкозернистый бетон с повышенными эксплуатационными свойствами при армировании минерально-абразивными шламами	132
Губанова Л.Н., Пушкарская О.Ю., Алимова Л.А., Акчури Т.К. Отходы ферросплавного производства – добавки высоконаполненных цементных бетонов	137
Дроздов В.В. Оценка сейсмической надежности зданий на основе модели МКЭ	142
Дружинин К.В. Технологии строительства ПХГ в России	146
Елышко Ю.В. Исследование свойств щебеночно-песчаной смеси Зимовского карьера, укрепленной катионной битумной эмульсией совместно с цементом	149
Ерофеев В.Т., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Спири В.А. Исследование биостойких каркасов на керамзитовом гравии, модифицированных препаратами на основе гуанидина	154
Иващенко Ю.Г., Евстигнеев С.А., Страхов А.В. Роль наполнителей и модификаторов в формировании структуры и свойств композитов на основе гипсового вяжущего	159
Иващенко Ю.Г., Страхов А.В., Иняхин М.М. Композиционный материал на основе местного природного и техногенного сырья	162
Кабанов В.А., Замыцкий О.Н. Развитие методов оценки долговечности деревоклеёных элементов строительных конструкций	168
Казначеев С.В., Богатов А.Д., Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Гречишников О.С. Водостойкость композитов, содержащих биоцидные препараты на основе гуанидина	171
Кашарина Т.П., Кашарин Д.В. Новые композитные материалы – долговечность строительных конструкций	174
Киселева О.А., Икизли Д.С. Влияние масштабного фактора на прочность и долговечность древесных композитов	177
Клавдиева Т.Н., Акчури Т.К. Внедрение в состав строительных композитов техногенного сырья в целях снижения себестоимости готовой продукции и улучшения экологической ситуации региона	180
Клименко М.Ю. Экологическая безопасность и надежность строительных конструкций при проектировании и эксплуатации	184
Клышников А.А., Корнеев А.Д. Определение оптимального содержания наполнителя в защитном полимерном покрытии	187
Клышников А.А., Корнеев А.Д. Структурообразование полимерных связующих для защиты строительных конструкций	189
Корнеев К.А., Ивашкин А.Н. Оптимизация песков для производства сухих строительных смесей	192

Коротких Д.Н., Паникин Д.А. Фактор структурной субстанции «каменная мука» в проявлении усадки высокопрочных бетонов	195
Котляр В.Д., Устинов А.В., Терёхина Ю.В. Особенности дообжиговых свойств глинистых при производстве керамического кирпича пластического формования	202
Краюхин В.И. Пропиточная гидроизоляция при ремонте полов на нефтеперерабатывающих предприятиях	210
Кудимова А.В. Биостойкость строительных композиционных материалов на основе полиэфирных смол	214
Маштаков А.С. Учёт геодинамических рисков нефтяных платформ и спбу в северной части каспийского моря для их безопасной эксплуатации	218
Монтаев С.А., Шакешев Б.Т., Таскалиев А.Т. Технология композиционной стеновой керамики в сырьевой системе лессовидный суглинок-воластонитосодержащий шлак	221
Монтаев С.А., Нариков К.А. Жарылгапов С. М. Улучшение физико-механических свойств стеновой керамики с использованием нефтешламов	223
Монтаев С.А., Таскалиев А.Т., Монтаева А.С. Технология стеновой керамики с использованием опоки	225
Монтаев С.А., Шакешев Б.Т., Монтаева А.С. Исследование возможности использования буровых шламов как сырье для дорожного строительства	229
Муравьева Л.В. Методика оценки риска морского трубопровода при сейсмических воздействиях	232
Мухамбеткалиев К.К. Определение роли влияния рН-показателя водной среды на структурообразование модифицированных глиноцементных композитов	242
Олянский Ю.И., Махова С.И., Тихонова Т.М., Киселева О.В. Задачи инженерно-геологических изысканий при проектировании оснований и фундаментов на просадочных грунтах	245
Перфилов В.А., Зубова М.О., Неизвестный Д.Л. Фибробетоны с базальтовыми наполнителями и суперпластификаторами	248
Перфилов В.А., Котляревская А.В. Применение волокнистых наполнителей и суперпластификаторов для повышения прочности пенобетонов	251
Перфилов В.А., Лукина И.Г. Утилизация бурового шлама для изготовления кирпича полусухого прессования	253
Пичугин А.М., Бареев В.Ж., Батин М.О. Технологические особенности получения модифицированной древесины и ее основные свойства	255
Пичугин А.М., Хританков В.Ф., Денисов А.С., Бареев В.Ж. Особенности структуры легкого бетона на гранулированных органоминеральных заполнителях	257
Приходько А.П. Методы обоснования работы ограждающих поверхностей из единичных лицевых элементов с применением композитных материалов	259

Пшеничкина В.А., Шапошников Н.А. Колебания балки на стохастическом основании	263
Разинкова О.А., Слонов А.Л., Малкандуев Ю.А., Маришев М.Х. Некоторые показатели производства и свойства минеральных порошков для асфальтобетона из местного и техногенного сырья	270
Решетникова М.В., Решетников Р.А. Эколого-экономический механизм охраны озер	274
Романов С.И., Стадник А.Ю. Характеристика поверхности дорожного покрытия в зависимости от типа асфальтобетона	277
Слонов А.Л., Малкандуев Ю.А., Маришев М.Х., Маришева А.М. Исследование отвалных кеков гидрометаллургического производства в качестве минеральной добавки – модификатора строительных растворов	281
Смирнова П.В., Моргун Л.В., Моргун В.Н., Костыленко К.И., Пушенко О.В. О структурообразовании пенобетонных смесей в зависимости от температуры воды затворения	284
Соколов П.Э., Стефаненко И.В. Оценка временного фактора в формировании радиационного фона зданий	288
Спирин В.А., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Ерофеев В.Т. Исследование модифицированных каркасов на гранитном щебне	293
Струлев С.А., Ярцев В.П., Соломатин Д.В. Влияние боя стекла на твердость полиэфирбетона	298
Сураева Е.Н. Исследование свойств строительных композитов на основе модифицированных цементов	302
Тимохин Д.К., Вербин Г.Е. Бетоны с комплексной химической добавкой на основе побочного продукта производства фенола	308
Тухарели В.Д., Чередниченко Т.Ф., Акчурин Т.К. Использование отходов переработки нефти в технологии цементных бетонов	311
Филиппов А.М. Анализ ползучести бетонных конструкций во времени с применением современных вычислительных комплексов	314
Хихловская А.А. Применение новых композитных материалов в строительстве	319
Хуторской С.В. Исследование биологической стойкости силикатных бетонов	322
Цветкова Е.В., Фролов А.Ю. К вопросу об оценке устойчивости слоистых нагруженных откосов и склонов	325
Чирков В.П., Раздуев М.А. Применение многоэлементной напрягаемой арматуры в железобетонных подкрановых балках	328
Шайбадуллина А.В., Яковлев Г.И., Маева И.С. Покрытие на основе жидкого стекла, модифицированное многослойными углеродными нанотрубками	335
Шинтемиров К.С., Досов К.Ж., Бакушев А.А. Антикоррозионные покрытия для защиты армоцементных конструкций от коррозии	342

Шиян С.И., Щекочихина Е.В., Чарыкова С.А., Тихонова Т.М. Инженерно-геологические особенности сарматских глин южной окраины русской платформы	346
Шкода Г.Г. Оценка прочности сталефибробетона при сжатии	351
Юдаев А.Г., Акчурин Т.К. Техногенные полимерные отходы в строительстве	375
Юдин П.В. Влияние активированной воды Затворения на видовой состав микрофлоры заселяющей цементные композиты	360
Жиделёв А.В., Карасёв Г.М. Исследование технического состояния и усиление конструкций эстакады резиносмесителей корпуса Р-1 ОАО «ВОЛТАЙР-ПРОМ»	362
Сведения об авторах	380

Т.К. Акчурин, А.А. Потапов

ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЕ САМОНИВЕЛИРУЮЩИЕСЯ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Целью исследований, проводимых на кафедре «СМиСТ» ВолгГАСУ, является разработка эффективных полимерцементных бетонов с использованием техногенных отходов различных производств.

В зависимости от содержания полимера в цементной матрице весь спектр полимерцементных материалов можно разделить на три группы:

- 1) материалы с преимущественно минеральной структурой;
- 2) промежуточный тип материалов;
- 3) материалы с преимущественно полимерной структурой.

Безусловно, что для полимерцементных композиций первостепенное значение имеют материалы первой группы, так как они обеспечивают: надежность покрытий, поскольку полимерная часть защищена цементным каркасом; теплостойкость; огнестойкость; экономичность.

Разработанные на кафедре «СМиСТ» составы высоконаполненных мелкозернистых бетонов с использованием сталеплавыльных шлаков при условии дополнительной модификации, можно рекомендовать для монолитных покрытий полов.

Более технологичными для устройства покрытий полов промышленных зданий являются полимерцементные самонивелирующиеся композиции, которые должны обладать:

- высокой подвижностью;
- пределом прочности при сжатии не менее 20 МПа;
- повышенной трещиностойкостью;
- низкой истираемостью;
- твердостью;
- низким пылевыведением;
- водостойкостью;
- химической стойкостью.

Это достигается за счет введения полимерных модифицирующих добавок полифункционального действия.

Наиболее часто для полимерцементных композиций используются добавки-модификаторы отечественного производства, функциональные назначения которых приведены в табл. 1.

Добавки-модификаторы отечественного производства

№№ п.п.	Наименование добавки-модификатора	Функциональное назначение
1.	Суперпластификатор С-3 ФОК-М, СМФ, «Дофен», 10-03	Увеличение подвижности, удобоукладываемости, прочности, снижение водопотребности
2.	Лигносульффонаты технические	Увеличение подвижности, регулирование сроков схватывания
3.	Эфиры целлюлозы (КМЦ)	Повышение мех. и адг. прочности, водоудерживающей способности
4.	Смола древесная омыленная (СДО), смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ), сульфанол	Снижение плотностиматериала, увеличение порообразования, повышение термического сопротивления материала
5.	Сульфацил (гидроксиэтил-целлюлоза)	Повышение механической и адгезионной прочности, водоудерживающей способности композиции
6.	Сульфат натрия хлорид хлорид алюминия кальция	Ускорение процесса твердения
7.	Поливинилацетат (ПВА)	Повышение прочности и сил адгезионного сцепления
8.	Латекс СКС-65ГП	Увеличение прочности, пластичности
9.	Комплексные модификаторы серии МБ-01	Повышенное увеличение прочности и пластичности

При выборе исходных компонентов полимерцементных композиций руководствовались их доступностью и невысокой стоимостью.

При формировании структуры полимерцементного камня сначала протекают обычные процессы гидратации и твердения неорганического вяжущего. По мере связывания и испарения воды концентрация полимера в суспензии повышается, частицы его коагулируют и слипаются в эластичные тонкие пленки, которые заполняют капилляры, поры и микротрещины цементного камня, способствуя его упрочнению, придавая материалу высокую эластичность.

В табл. 2. представлены данные по определению времени формирования структуры портландцементных смесей с полимерсодержащей добавкой.

Таблица 2

Сроки схватывания полимерцементного вяжущего

Количество полимерсодержащей добавки в% от массы вяжущего	Сроки схватывания, мин	
	начало	конец
0	130	340
5	220	400
10	240	430
15	250	450
20	280	480

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что полимерные добавки замедляют процесс формирования структуры композиций.

Процесс формирования структуры полимерцементных смесей оценивался по изменению скорости ультразвука с помощью прибора «Бетон-12». Результаты представлены на рис. 1.

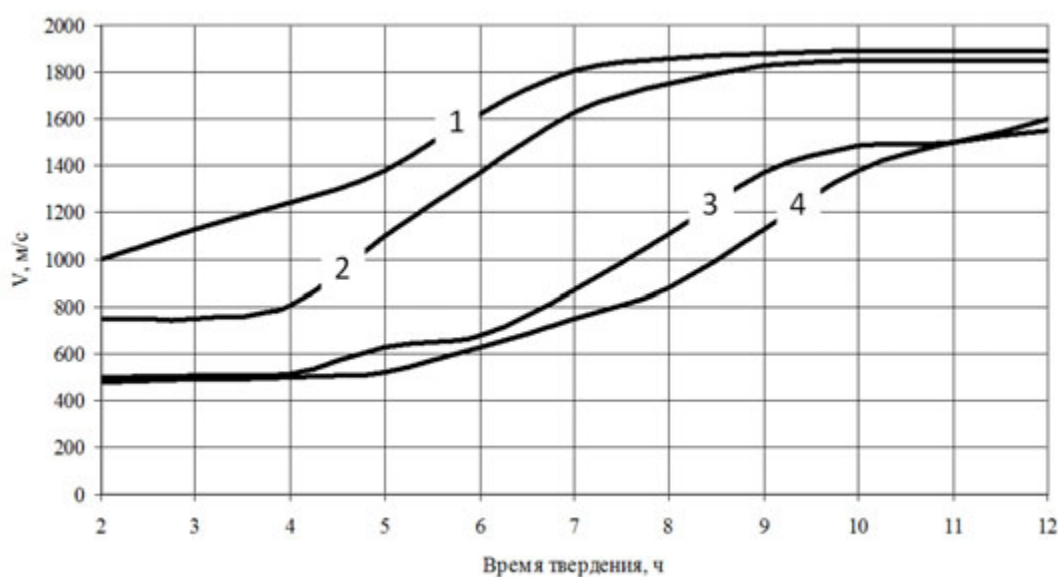


Рис. 1. Изменение скорости ультразвука в полимерцементных смесях от времени твердения:
1 – П/Ц = 0; 2 – П/Ц = 0,1; 3 – П/Ц = 0,15; 4 – П/Ц = 0,2

В табл. 3 представлены результаты испытания полимерцементных композиций в возрасте 28 суток на прочность и деформативность.

Анализ полученных данных показывает, что полимерная добавка способствует повышению прочности при растяжении. Кроме того, разработанные составы имеют высокую адгезионную прочность при сдвиге, превышающую аналогичный показатель цементных бетонов.

Таблица 3

Состав полимерцементных композиций		Показатели				
Вязущее : Песок	П/Ц	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сдвиге, МПа	Модуль упругости, МПа $\times 10^4$	Предельная растяжимость, $\epsilon \times 10^{-3}$
1 : 2	0	26,9	3,2	9,8	1,8	1,9
	0,05	30,1	5,1	15,1	1,7	2,5
	0,1	32,4	5,5	15,6	1,68	3,1
	0,2	32,8	6,1	16,2	1,63	3,5

Влияние небольших количеств модификатора на свойства материала объясняется структурными особенностями полимерцементных материалов. Полимерное связующее образует упругие прослойки между кристаллическими новообразованиями минерального вяжущего, адсорбируется на поверхности частиц заполнителя и благодаря высоким адгезионным свойствам повышает прочность и деформативность материала при растяжении и изгибе.

Степень сопротивления цементного бетона истиранию является важным показателем эксплуатационных характеристик материалов используемых для покрытия пола.

Как показали проведенные исследования (рис. 2), полимерцементные бетоны отличаются от обычных бетонов высокой износостойкостью.

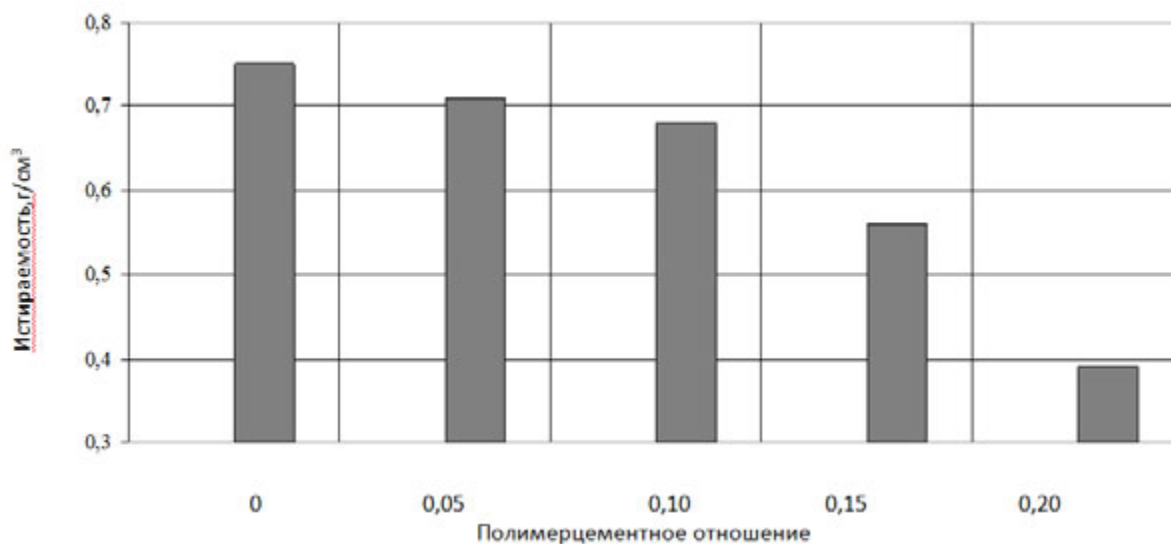


Рис. 2. Влияние количества полимерсодержащей добавки на истираемость полимерцементных композиций

Введение в состав полимерцементных композиций полимерсодержащей добавки способствует снижению истираемости почти в 2 раза.

С.В. Алексиков, М.О. Карпушко

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В статье приводится анализ факторов, влияющих на выпуск асфальтобетонной смеси, характеризующих неравномерность выпуска в течение месяцев и целого года, а также характерные особенности работы асфальтобетонных заводов и их производительности.

Повышение эффективности функционирования дорожной отрасли тесно связано с осуществлением широкой программы реконструкции действующих асфальтобетонных заводов (АБЗ), переводом технологических процессов на полуавтоматическое и автоматическое управление, а также оснащением дорожных организаций новым высокоэффективным оборудованием. Развитая сеть и высокая производительность асфальтобетонных заводов совместно с совершенной укладочной и уплотняющей техникой позволяют вести укладку асфальтобетонных покрытий по скоростной технологии (средняя рабочая скорость укладчиков может составить 5–10 м/мин).

Асфальтобетонный завод является сложной системой, задачей которой является производство качественной асфальтобетонной смеси (АБС) заданного состава и заданной температуры на выходе. Чем выше производительность АБЗ, тем быстрее происходит процесс выпуска смеси, при этом предъявляются более строгие требования к правилам эксплуатации и возникают больше материальные затраты, связанные с обслуживанием. Низкая производительность является причиной простаивания дорожно-строительных бригад. Если нет взаимодействия и согласованности между производством АБС и дорожно-строительными работами по укладке асфальтобетона, то возникают перебои в производстве, что становится причиной возникновения дополнительных издержек и затрат.

Национальной программой модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года на ближайшие 10–15 лет намечено значительное увеличение строительства новых современных дорог, а также реконструкция и ремонт существующих. В связи с этим, значительно увеличился процесс выпуска асфальтобетонных смесей. На рис. 1 представлена динамика российского производства асфальтобетонной смеси в течение 2009–2010 гг. по месяцам [1].

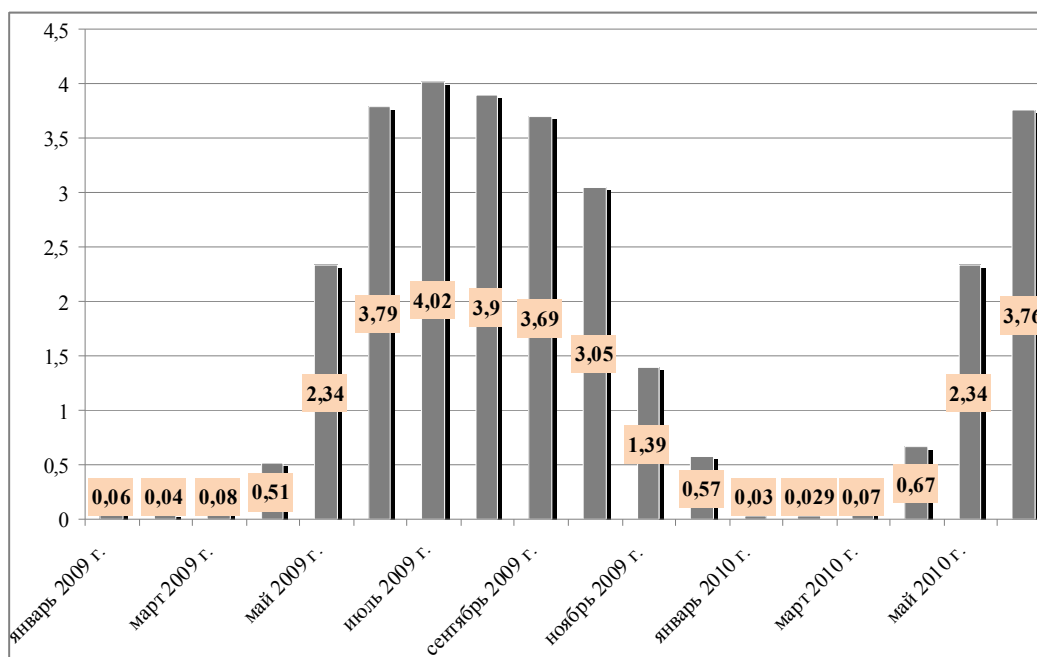


Рис. 1. Объёмы производства асфальтобетонной смеси в 2009–2010 гг., млн. т

На рис. 2 изображена динамика производства различных типов асфальтобетонной смеси в течение года (за образец взят 2010 год) по месяцам трестом МУП Дормостстрой г. Волгограда. На сегодняшний день трест МУП Дормостстрой является одной из крупнейших дорожно-строительных организаций Волгоградской области. Дормостстрой располагает необходимыми механизмами для производства полного цикла строительства и ремонта автомобильных работ: асфальтоукладчики (ДС-191А, ДС-191), катки (Д-211В, Д-469А, Д-50, ДУ-98, ДУ-47Б, ДУ-54, ДУ-47Б), машины для фрезерования асфальта, автосамосвалы для транспортировки, в том числе собственные асфальтобетонные заводы, выпускающие асфальтобетонные, щебеночно-мастичные (ЩМА) смеси, литой асфальтобетон.

Крупнозернистый асфальтобетон, используемый в нижних слоях дорожного покрытия, производится, как правило, в первой половине строительного сезона и на него приходится наибольший объем выпущенной смеси. Наибольший выпуск мелкозернистой смеси для верхних слоев дорожных покрытий приходится на вторую половину строительного сезона, когда осуществляется сдача строительных объектов в эксплуатацию. Объем выпущенного литого асфальтобетона составляет не более 2%, что связано с дефицитом специального оборудования. Незначительный выпуск ЩМА обусловлен сравнительно недавним внедрением его в дорожное строительство.

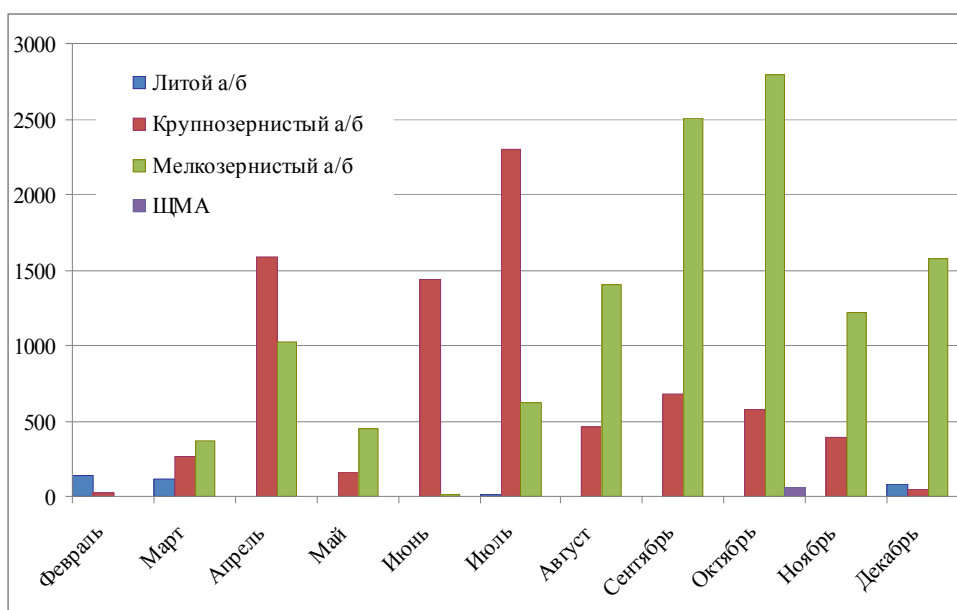


Рис. 2. Динамика производства АБС по месяцам филиалом №2 треста МУП Дормостстрой, 2010 г. (т)

Выпуск асфальтобетонной смеси по регионам страны распределен в соответствии с активностью дорожного и промышленного строительства. В Центральном федеральном округе производится 35% АБС от общероссийского выпуска. В Приволжском – 23%, в Уральском – 15,5%. Менее всего асфальта выпускается в Сибирском федеральном округе – меньше 1% (рис. 3).



Рис. 3. Распределение асфальтобетонных заводов по территории РФ [1]

Рассмотрим основные факторы, влияющие на работу АБЗ. Во-первых, существенные потери в производительности (общее снижение может достигать 15–17%) происходит из-за ненадлежащего состояния расходных материалов, например, влажности (рис. 4). Для расчета берется влажность исходных материалов 3–10%, что указывается в технической документа-

ции. Однако, исходная влажность материалов всегда выше требуемой, при включении АСУ требуется время для перевода ее в рабочий режим, возможны перебои с энергоснабжением и т.д. Поэтому практическая производительность завода становится ниже. Вследствие прошедших дождей минеральные материалы (щебень мелкой фракции и песок) остаются сырыми длительное время, что снижает производительность АБЗ на 30%.



Рис. 4. Факторы, влияющие на производительность АБЗ

Во-вторых, для производства асфальтобетонной смеси соответствующего качества помимо таких параметров как рецептура, качество поставляемых минеральной и битумной составляющих и т.д., необходима постоянная температура горелки сушильного агрегата. Величина постоянной температуры в зависимости от марки битума должна находиться в пределах 160–180 °С. До входа завода в рабочий режим должно пройти несколько циклов с приготовлением асфальта, не пригодного для применения (не нагретого до нужной температуры). По этой причине асфальтосмесительная установка для постоянного выпуска качественной асфальтобетонной смеси не должна останавливаться до окончания укладки асфальтобетона.

Процесс выпуска АБС после остановки асфальтосмесительной установки приводит к производству некачественной смеси, на которую потрачены минеральные и битумные составляющие, электроэнергия и топливо для работы горелок сушильного агрегата и теплообменника. Частая остановка АБЗ (запуск-остановка) способствует быстрому изнашиванию и сокращению сроков эксплуатации оборудования. При этом производительность завода с постоянными остановками никогда не достигнет своей полной мощности и возможностям по выдаче готовой смеси надлежащего качества.

В-третьих, любой асфальтобетонный завод требует модернизации каждые 4–6 лет. Износ и старение производственного оборудования, его несоответствие современным требованиям по производительности, энергосбережению, качеству продукции, безопасности и защиты окружающей среды, а также наличие ручных операций выявляют необходимость в ре-

конструкции, модернизации и автоматизации, как отдельных узлов, так и завода в целом.

В-четвертых, согласно опросу производителей асфальтобетонных смесей о ситуации, сложившейся на рынке в 2010-м году, проведенному Аналитическим порталом химической промышленности, основным фактором, сдерживающим рост потребления асфальтобетонных смесей, является нестабильное финансирование дорожной отрасли [3].

Низкий объем выпуска асфальтобетонной смеси, например, в г. Волгограде объясняется, главным образом, незначительной общей потребностью, а также малым количеством объектов и объемов их финансирования. В 2011 году на финансирование дорожного хозяйства из бюджета Волгоградской области, не считая бюджетов других уровней, было выделено 3,4 млрд. рублей (в 2010 году эта сумма составляла менее 1 млрд. рублей), несмотря на то, что по нормативному обслуживанию и содержанию дорог эта сумма должна составлять не менее 19 млрд. рублей ежегодно.

Анализ путей решения сложившейся задачи показывает, что повысить объемы выпуска асфальтобетона на существующих смесительных установках возможно практически до 1,5 раз, не наращивая мощностей АБЗ и не приобретая новых дорогостоящих установок. Это можно сделать, во-первых, за счет имеющихся резервов у укладчиков и ударно-вибрационных катков путем увеличения средней скорости укладки покрытий до 1,5–2 раз, доведя ее до 4–5 м/мин. Во-вторых, потому, что АБЗ и укладочный отряд машин являются отдельными, но взаимосвязанными звеньями единой технологической цепи, в которой АБЗ является ведущим звеном, а укладочный отряд – вспомогательным (по технологии его производительность должна быть больше производительности АБЗ на 15–20%, чтобы не сдерживать работу ведущего звена).

Укладка смеси в покрытие осуществляется в светлое время суток. Поэтому АБЗ вырабатывает смесь, как правило, с 6–7 до 19–20 часов, т.е. около 12–13 часов с учетом необходимых 1,5–2 часов на доставку, укладку и укатку. В ночное время АБЗ не работают, хотя за время ночной смеси выпуск смеси может составить не менее 50% дневной выработки.

Расчеты и реальная практика показывают, что смесительная установка с максимальной производительностью, например, 82 т/ч (суммарная производительность 3-х асфальтосмесительных установок филиала №2 МУП треста Дормостстрой) с учетом условий ее эксплуатации, за 12 дневных часов способна выпускать около 984 т смеси, а за 6–7 ночных часов сможет произвести еще 533 т, что в итоге за сутки составит 1517 т, что в 1,5 раза больше дневной выработки (рис. 5).

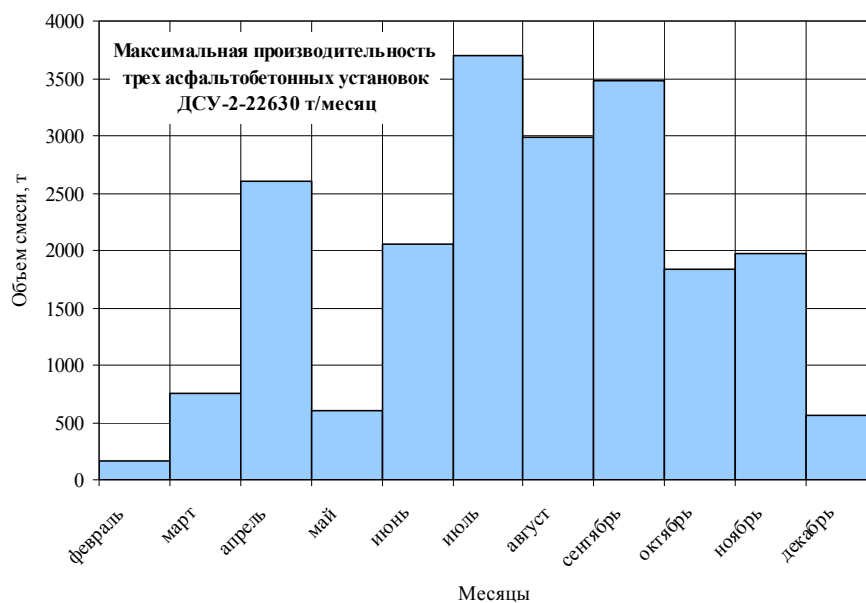


Рис. 5. Объем выпуска асфальтобетонной смеси на асфальтосмесительных установках МУП треста Дормостстрой по месяцам

В результате выполненного анализа можно сделать следующие **выводы**:

1. Для сокращения сроков строительства, повышения его качества и снижения себестоимости необходимым условием является обеспечение полного и эффективного использования всех машин и оборудования, входящих в состав АБЗ.

2. Сложность производства дорожно-строительных работ усугубляется зависимостью их технологии от погодных и климатических условий. В зависимости от периодов года, температурных и других климатических условий изменяется удобоукладываемость и удобообрабатываемость многих дорожно-строительных материалов. Это влечёт за собой необходимость изменения технологии производства работ, в том числе и на АБЗ.

3. На неравномерность выпуска асфальтобетонной смеси помимо погодных условий влияют наличие малого количества объектов и объемов их финансирования.

4. В сложных, непрерывно изменяющихся условиях выполнение больших объёмов механизированных дорожно-строительных работ с обеспечением целесообразного использования наличных парков современных высокопроизводительных машин может быть успешным только при тщательной и комплексной разработке организации всех видов работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://www.asphalt.ru/useful/article/asphalt/a223/> [электронный ресурс].
2. <http://www.interfax-russia.ru/South/exclusives.asp?id=246468&p=4> / [электронный ресурс].
3. http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=7436&cat_id=&sword=асфальтобетонный завод [электронный ресурс].

О.В. Артамонова

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ НАНОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Рассмотрены основные научные достижения в области нанокерамических материалов в России и зарубежом. Приведены основные фундаментальные физико-химические подходы к созданию керамических материалов. Представлены примеры практического применения нанотехнологий для получения функциональных нанокерамических композиций в области строительного материаловедения.

Разработка технологии наноматериалов и их исследование является актуальным научно-техническим направлением, поскольку позволяет получить материалы с уникальными свойствами. Нанокерамика и нанокompозиты обладают широким спектром использования. Их основными областями применения являются: машиностроение, космическая, инструментальная промышленность (теплонапряженные элементы двигателей, износостойкие детали трения, фильтры, сопла, бандажи, нитеводители, тигли, контейнеры для плавления особо чистых веществ, термopарные чехлы, лезвийный, штамповый, измерительный и абразивный инструмент); химическая промышленность (каталитические нейтрализаторы и сажевые фильтры двигателей внутреннего сгорания, фильтры и мембраны для очистки и разделения различных сред, химически стойкие детали насосов и запорной арматуры); электротехника (металлокерамические вакуумплотные узлы и электроизоляторы, источники питания на основе твердых электролитов (ZrO_2 , Al_2O_3), конденсаторы, пьезоэлементы, резисторы); медицина (биоактивная и биоинертная керамика для имплантантов); создание военной техники и средств индивидуальной защиты; и конечно, строительство (конструкции повышенной прочности, самоочищающаяся облицовочная плитка).

В настоящее время с особой интенсивностью ведутся работы по созданию и применению функциональных керамических материалов, пригодных к эксплуатации при воздействии одновременно высоких температур, механических нагрузок, коррозионных сред [1].

Как известно, керамика состоит из трех фаз: кристаллической, которую разные авторы называют кристаллитами или зернами; аморфной, локализованной в пространстве между зернами (кристаллитами), и газовой, заполняющей поры различного размера [2]. Под гомогенизацией структу-

ры керамики понимается растворение аморфной и газовой фаз в кристаллической.

Для создания высокопрочной гомогенизированной структуры керамики с нанокристаллическими зёрнами необходимо выполнить два основных условия: при компактировании изделий использовать нанопорошки; при спекании максимально снизить скорость рекристаллизационного процесса (это достигается уменьшением температуры и времени спекания).

Таким образом, для решения двух важнейших взаимосвязанных проблем: создание нанокерамических материалов с заданными свойствами и функциями и разработка рациональной технологии, позволяющей получать указанные материалы воспроизводимым образом в значимых количествах – необходим системный подход. В первом случае целесообразно опираться на систему фундаментальных физико-химических принципов, а во втором – на систему факторов, определяющих минимум энергетических, трудовых, материальных, а также связанных с осуществлением природоохранных мероприятий затрат.

В системе фундаментальных физико-химических подходов к созданию материалов, были сформулированы основные важнейшие принципы [2]. Применительно к строительному материаловедению можно выделить следующие принципы:

- химического, термодинамического и структурного подобия – свойства соединений элементов, расположенных в порядке возрастания атомного номера, изменяются периодически;
- физико-химического анализа – принципы непрерывности, соответствия и совместимости компонентов равновесной системы;
- ограничения числа независимых параметров состояния в равновесной системе – из множества параметров состояния, характеризующих равновесную систему с участием материалобразующих твёрдых фаз, лишь немногие независимы в соответствии с правилом фаз Гиббса;
- структурного разупорядочения и непостоянства состава – при любой температуре, отличной от абсолютного нуля, в кристаллической решётке твёрдых тел образуются разнообразные дефекты, а любые твердофазные соединения с молекулярным типом связи имеют переменный состав;
- химического, структурного и фазового усложнения системы – при химическом, структурном и фазовом усложнении системы её свойства изменяются;
- химической, гранулометрической и фазовой однородности – свойства твердофазных материалов чувствительны к степени их однородности как на макро-, так и на микро- и наноровнях;
- эквивалентности источников беспорядка в условиях минимизации свободной энергии системы – материал в равновесных условиях в зависи-

мости от конкретной ситуации приобретает тот вид дефектов, который при наименьших энергетических затратах обеспечивает максимальное увеличение энтропии;

- неравноценности объемных и поверхностных свойств;
- метастабильного многообразия физико-химических систем – число неравновесных состояний материала неопределенно велико и в твердых фазах эти состояния могут быть кинетически устойчивы.

Совокупность этих принципов определяет возможные пути решения любой материаловедческой задачи.

Безусловно, есть примеры применения нанокерамических материалов для строительных целей. В университете г. Кайзерслаутерн ведется работа по созданию современных облицовочных материалов с использованием нанотехнологий [3]. Результаты исследований уже стали основой для разработки новых технологий производства нанокерамики рядом немецких фирм. Так, компания "Nanogate Technologies GmbH", специализирующаяся на выпуске изделий из нанокерамики, в 2001 г. победила в тендере, объявленном концерном "Duravit AG", на разработку самоочищающегося покрытия для керамической плитки "WonderGliss". В 2002 г. был представлен еще один продукт – покрытие для плитки "Sekcid", разработанное фирмой совместно с испанским концерном "Torrecid SA" – одним из мировых лидеров в сфере глазурей для керамической промышленности. В настоящее время ведутся работы над продуктом "Cleartec" для фирмы "Duscholux GmbH" (душевые кабины). Результатом исследований "Nanogate" стало создание покрытий для керамических материалов с принципиально новыми свойствами - стерилизация, дезодорирование помещений и ликвидация частиц грязи, что особенно актуально для медицинских учреждений, предприятий пищевой промышленности и общественного питания.

Концерн "Deutsche Steinzeug" разработал технологию производства керамической плитки для облицовки фасадов "KerAion Hydrotect", серийное производство которой началось в 2001 г. Технология предусматривает внесение в плитку с использованием нанотехнологий фотокатализатора на основе двуокиси титана. Под воздействием ультрафиолетовых лучей фотокатализатор выделяет активный кислород из воды или атмосферного кислорода, которого достаточно для окисления и устранения органических загрязнителей. Кроме того, под воздействием света угол контакта поверхности с водой начинает постепенно уменьшаться и через некоторое время поверхность начинает проявлять свойства супергидрофильности, т. е. вода полностью растекается тонкой пленкой по всей поверхности, не собираясь в капли. Пленка стекает с вертикальных или наклонных плоскостей фасада вместе с частицами грязи, не давая ей накапливаться. При этом ликвидируются и возможные источники биоразрушения зданий – плесень, грибок,

мох и лишайник. Наряду с этим технология нанесения покрытия "Hydrotect" в слой последнего обжига плитки позволяет получать износостойкую поверхность, таким образом, плитка может использоваться для облицовки пола в зонах с интенсивным движением. Следует отметить, что в ФРГ самоочищающиеся поверхности рассматриваются прежде всего в общем контексте борьбы за снижение затрат и рабочего времени на обслуживание. По данным немецких экспертов, именно вследствие неизбежного постепенного накопления частиц грязи расходы на очистку фасадов, облицованных обычной плиткой, за первые 8 лет ввода здания в эксплуатацию ежегодно возрастают в среднем примерно на 12,5%. В следующие 8 лет ежегодный рост расходов достигает 18% (с учетом затрат на ремонт). В случае применения плитки с самоочищающейся поверхностью "Hydrotect" эти расходы остаются на постоянном уровне.

Керамическая черепица Braas (Германия) отличается выдающимися техническими характеристиками. Она мало подвержена старению, огнестойка, устойчива к агрессивным средам, солнечной радиации, различным климатическим факторам, обладает высокой шумопоглощающей способностью. Низкая теплопроводность в сочетании с массивностью способствуют минимальному образованию конденсата на внутренней поверхности черепицы. Производитель, концерн Браас ДСК-1, предоставляет 20 летнюю гарантию на керамическую черепицу. Современные технологии покрытия керамической черепицы Braas различными видами глазури, модифицированные различными наноразмерными частицами, обеспечивают богатый выбор ее типов, отличающихся матовой или глянцевой поверхностью и цветом глазури. От цементно-песчаной черепицы её отличает толщина и форма края плиток, яркость цвета. Благодаря удачному сочетанию физических свойств керамической черепицы Braas и продуманной системе доборных элементов к ней, черепичная кровля Braas создаёт комфортные условия проживания в доме и поддерживает в сохранности его конструкции.

В России тоже начинаются проекты по развитию нанотехнологических производств по получению керамических материалов.

В Ульяновской области начато строительство нового завода по производству технической нанокерамики на основе диатомита [4]. *Диатомит* – естественный нанопористый кремнезем, сложенный из остатков диатомей, древних морских водорослей, стебли которых были покрыты микроскопическими чешуйками окиси кремния, пронизанными мельчайшими (до 1 нм) капиллярами, через них они впитывали питательные вещества. Общая пористость диатомита достигает 80%. Имеет высокие теплоизоляционные свойства. Технология производства основана на особенностях природной структуры диатомита, которая имеет наноразмерный масштаб и позволяет проявлять особые свойства при получении конечного продукта. Диатомит (его раньше называли инфузорной землей) начали добывать

в Симбирской губернии еще в XVIII в. Сейчас в Ульяновской области на базе Инзенского месторождения ООО «Диатомовый комбинат» производит теплоизоляционный кирпич и пенодиатомитовую крошку. Проектная мощность предприятия – 60 млн. штук крупноформатных керамических блоков для строительства в год. Инвестиции в завод составят 1 млрд рублей. По оценкам экспертов, новая продукция будет пользоваться спросом при условии ее низкой стоимости. Специалисты утверждают, что применение нанокерамических блоков из диатомита позволит возводить однослойные стены без дополнительной теплоизоляции для всех климатических зон России.

Применение в строительной практике нанокерамических материалов пока очень не значительно, как в мировой практике, так и в России. Проблема получения функциональных нанокерамических материалов, покрытий с нанокomпозиционными слоями для строительных целей задача сложная и может быть решена при проведении научных исследований при непосредственном совместном участии химиков-материаловедов, инженеров строительного материаловедения и физиков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Артамонова О.В.* Нанотехнологии в задачах синтеза структур композиционных керамических материалов // Вестник БГТУ. Материалы международной научно-практической конференции «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии», 2005. №9. — С. 11–14.
2. *Третьяков Ю.Д., Путляев В.И.* Введение в химию твердофазовых материалов – М.: Изд-во МГУ. Наука, 2006. — 400 с.
3. www.tip-ro-rj.economy.gov.ru [электронный ресурс].
4. www.t-spectr.ru [электронный ресурс].

Ю.Ю. Арушонок, Н.Ю. Арушонок

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТАЛИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Одной из задач при обследовании с целью оценки технического состояния металлоконструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, является определение фактической прочности стали. Как известно, наиболее достоверные данные о прочностных свойствах материала дают испытания образцов, извлечённых из конструкций. Однако, в ряде случаев извлечение образцов из элементов конструкций невозможно вследствие их недопустимого ослабления, по техническим или технологическим причинам.

Среди методов неразрушающего определения прочности стали эксплуатируемых конструкций без извлечения образцов заслуженной популярностью пользуются методы, основанные на измерении твердости металла по Виккерсу, Роквеллу и Бриннелю. Известны и широко применяются для указанных целей многочисленные портативные приборы определения твердости стали в полевых условиях.

Наряду с удобством и простотой их применение имеет определённые сложности и ограничения, связанные с влиянием на результаты измерений факторов, не имеющих отношения к твердости материала, например, формы и размеров испытываемого элемента. Основная причина этих сложностей и ограничений заключена в косвенном определении твердости стали. Так например, принцип действия популярных твердомеров марки «Темп» и других приборов аналогичной конструкции основан на определении соотношения скоростей падения и отскока ударника датчика, которое преобразуется и пересчитывается в числа твердости по Бриннелю, Роквеллу или Виккерсу. В строительных конструкциях, представляющих собой сложные инженерные системы, состоящие из большого числа элементов и узлов такой способ определения твердости может сопровождаться значительными ошибками.

В связи с вышеизложенным в рамках настоящей работы с целью повышения достоверности экспериментально определяемых параметров материала было изготовлено устройство оригинальной конструкции для испытания стали на твердость методом Бриннеля. Устройство состоит из струбцины с нагружающим винтом и тензометрическим S-образным датчиком силы НЗ-СЗ-300kg-3В фирмы «Zemic», подключенным к измерительному комплексу на базе модуля «SigmaUSB» с ноутбуком или к цифровому регистрирующему блоку.

Струбцина закрепляется на испытуемом элементе конструкции фиксирующими болтами и служит опорой нагружающему винту (см. фото 1), к торцу которого шарнирно прикреплён датчик силы. На противоположной стороне датчика расположен индентор, в качестве которого использована конусная насадка от стационарного твёрдомера со стальным закалённым шариком диаметром 5 мм. При вращении нагружающего винта струбцины шарик вдавливаются в предварительно отшлифованную поверхность испытуемого элемента с образованием лунки. Величина прикладываемого усилия контролируется по монитору ноутбука или по шкале цифрового регистратора в режиме реального времени. Максимальное усилие вдавливания шарика назначалось в соответствии с требованиями стандарта [1] и составило 250 кг.

Достоверность величины контролируемого усилия во всем рабочем диапазоне от 0 до 300 кг обеспечена за счёт калибровки датчика силы из-

мерительного комплекса на лабораторном стенде по образцовым динамометрам ДС-0,2 и ДС-3-1.

Для повышения точности результатов измерений прибор перед использованием на объекте прошёл дополнительную калибровку на фрагментах стандартных образцов из стали СтЗпс и СтЗкп, испытанных ранее на разрывной машине с определением стандартных физико-механических характеристик ($\sigma_{пц}$, σ_T , σ_B , δ).



Фото 1. Испытание элемента нижнего пояса стропильной фермы

После завершения испытаний с помощью доработанного микроскопа «Мир-2» измеряется остаточный диаметр отпечатков. Доработка микроскопа заключалась в замене штатного окуляра с увеличением 7^x и ценой деления шкалы 0,1 мм на окуляр с увеличением 15^x и ценой деления шкалы 0,01 мм и имела целью повысить точность измерения диаметра отпечатка. В доработанном варианте микроскопа цена деления его отсчётного устройства составила 0,0023 мм, а рабочий диапазон, ограниченный полем зрения и длиной отсчетной шкалы прибора – 1,84 мм.

Практическая апробация данного устройства проходила в рамках экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений производственного назначения, принадлежащих ОАО «Волжский Оргсинтез». В частности, испытаниям по определению твердости стали были подвергнуты анкерные болты и оболочка дымовой трубы высотой 49,5 м установки обезвреживания промстоков, а также элементы металлических стропильных ферм пролетом 30 м и несущего каркаса буферных хранилищ готовых продуктов на складе метионина и сульфата натрия.

Испытания проводились на торцевых поверхностях болтов и на полках прокатных профилей элементов конструкций. Участки испытаний предварительно очищались от грязи и краски, выравнивались напильником, доводились и шлифовались с помощью аккумуляторной дрели с абразивными и шлифовальными насадками до требуемой шероховатости. На каждом исследованном участке проводилось 5–7 испытаний. Переход от измеренного диаметра отпечатка d_i к твёрдости стали по Бриннелю HB осуществлялся по формуле

$$HB_i = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ (кг/мм}^2\text{)},$$

где $P = 250$ кг – испытательная нагрузка, $D = 5$ мм – диаметр шарика.

Далее вычислялись среднее значение твёрдости HB_m , размах W_m и среднеквадратическое отклонение результатов в серии $S_{н.м.}$, среднеквадратическое отклонение S_m и коэффициент вариации V_m твёрдости стали.

Достоверное значение твёрдости стали по Бриннелю с вероятностной обеспеченностью 95% определялось по формуле

$$HB = HB_m \cdot (1 - t_\alpha \cdot V_m), \text{ кг/мм}^2\text{,}$$

где t_α – коэффициент Стьюдента.

Переход от значения твёрдости стали по Бриннелю HB к её временному сопротивлению σ_B осуществлялся по переводной таблице из приложения 2 стандарта [2]. Приближённая оценка условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ вычислялась исходя из характерных для низкоуглеродистых строительных сталей соотношений: $\sigma_{0,2} \approx 0,6 \cdot \sigma_B$ для СтЗ и $\sigma_{0,2} \approx 0,67 \cdot \sigma_B$ для арматурной стали класса А-III.

Результаты оценки прочности стали элементов несущих металлоконструкций по её твердости представлены в табл. 1.

Из табличных данных видно, что экспериментально полученные числа твердости стали по Бриннелю для всех участков всех испытанных конструкций имеют малый разброс (коэффициент вариации не превышает величины 10,3%), который существенно ниже разброса данных при испытаниях портативными твердомерами с пружинным бойком.

Принцип действия устройства основан на классическом испытании стали на твердость по Бриннелю путем вдавливания шарика статической нагрузкой с последующим контролем геометрии отпечатка по стандарту [1]. Переход от измеренной твердости стали к её прочности осуществляется в рамках требований стандарта [2]. Это обеспечивает достоверность и стабильность результатов даже при малом числе испытаний и позволяет рекомендовать данное устройство в качестве средства неразрушающего

контроля прочности стали при обследовании эксплуатируемых металлоконструкций.

Дальнейшая модернизация устройства предполагает усовершенствование блока цифрового регистратора и замену микроскопа с отсчётным окуляром на микроскоп с цифровой фотокамерой, что существенно повысит точность контроля величины нагрузки в процессе испытаний и определения геометрии отпечатков по его цифровому фотоснимку.

Таблица 1

Результаты оценки прочности стали
элементов несущих металлоконструкций по её твердости

Тип конструкции	Местоположение участка, элемент	HB_m , кг/мм ²	W_m , кг/мм ²	$S_{н.м.}$, кг/мм ²	S_m , кг/мм ²	V_m , %	HB , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кг/мм ²
Ствол дымовой трубы	участок 1 на отметке +0,480	131.6	27.5	8.9	13.5	10.3	106.1	40.1	24.1
	участок 2 на отметке +0,480	125.8	18.3	6.0	10.0	7.9	107.0	40.4	24.2
	участок 3 на отметке +0,480	125.9	7.7	3.2	6.7	5.3	113.3	42.1	25.3
Анкерные болты фундамента трубы	болт 1 $\phi 32$ А-III	211.4	21.7	9.0	16.6	7.9	178.0	61.9	41.5
	болт 2 $\phi 32$ А-III	206.7	25.0	9.3	16.8	8.1	173.0	60.3	40.4
	болт 3 $\phi 30$ А-I	141.7	9.5	4.5	9.4	6.6	122.9	45.1	27.0
	болт 4 $\phi 30$ А-I	146.4	15.6	6.8	12.2	8.3	122.0	44.8	26.9
Нижний пояс стропильной фермы склада метионина и сульфата натрия	по оси 13	138.3	17.0	5.8	10.0	7.2	119.4	44.0	26.4
	по оси 14	115.2	6.2	2.4	5.5	4.8	104.7	39.8	23.9
	по оси 15	118.7	4.9	1.9	5.0	4.2	109.2	41.0	24.6
	по оси 16	121.2	11.6	4.7	8.4	6.9	105.4	40.0	24.0
	по оси 17	143.3	12.2	4.0	8.1	5.6	128.1	46.6	28.0
	по оси 38	114.6	9.8	3.6	6.9	6.0	101.5	38.9	23.3
	по оси 39	122.2	18.8	7.2	11.3	9.3	100.8	38.7	23.2
	по оси 40	115.1	5.7	1.9	5.0	4.3	105.7	40.0	24.0
по оси 41	120.2	6.6	2.6	5.9	4.9	109.0	41.0	24.6	
Колонна каркаса	Бункеров метионина	133.1	11.7	4.5	8.4	6.3	117.3	43.4	26.0
	Бункеров сульфата	114.4	6.0	2.3	5.4	4.7	104.3	39.6	23.8
Балка	Бункера сульфата натрия	139.9	9.4	3.4	7.3	5.2	126.1	46.0	27.6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9012-59*. Металлы. Метод измерения твердости по Бриннелю.
2. ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бриннелю переносными твердомерами статического действия.

Ю.Ю. Арушонок, Н.Ю. Арушонок

К ВОПРОСУ О МОНИТОРИНГЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Одним из активно развивающихся направлений мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений является контроль основных параметров их свободных колебаний. Это направление нашло свое отражение в нормативных документах последних лет.

Так в правилах [1] для зданий в сейсмических районах рекомендуется проводить микродинамические испытания несущих конструкций по определению периода собственных колебаний основных форм под воздействием сейсмовибратора или ударной нагрузки пластичным грузом массой 30–50 кг.

Стандарт [2] рассматривает такие динамические параметры, как период и логарифмический декремент собственных колебаний основного тона, в качестве ключевых характеристик технического состояния несущих конструкций и предусматривает их периодическое измерение в процессе мониторинга с фиксацией результатов в паспорте здания (сооружения). В этой связи возрастает актуальность экспериментального определения динамических параметров конструкций путём проведения их испытаний.

В рамках практической реализации вышеописанного направления мониторинга технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений был разработан портативный измерительный комплекс на базе модуля аналого-цифрового преобразователя «SigmaUSB» ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» с подключенным к нему двухосным вибродатчиком ёмкостного типа, изготовленным на базе чипа американской фирмы «Analog Devices». Вибродатчик (акселерометр) вырабатывает электрический сигнал пропорциональный виброускорению колебаний и обладает следующими техническими характеристиками: чувствительность по каждой рабочей оси $96,7 \text{ мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$, рабочий диапазон измеряемых ускорений $\pm 16,7 \text{ м/с}^2$, рабочий диапазон частот 0–2250 Гц, масса без креплений 237 грамм.

Управление работой измерительного комплекса, запись и последующая обработка сигналов вибродатчика осуществляется с помощью портативного компьютера (см. фото 1) и программного обеспечения «ZetLab»

ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы», которое позволяет настроить комплекс под конкретные испытательные задачи.

Так, в частности, для отсеечения высокочастотных составляющих и уменьшения шумов в измерительных каналах верхняя граница рабочего диапазона была понижена до 800 Гц, для чего сигналы с вибродатчика пропускались через программные фильтры низких частот с частотой среза 800 Гц и ослаблением 36 дБ на октаву.



Фото 1. Портативный комплекс для измерения параметров колебаний строительных конструкций

Экспериментальная апробация измерительного комплекса проходила в рамках экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений производственного назначения ОАО «Волжский Оргсинтез». В частности, динамическим испытаниям были подвергнуты ствол дымовой трубы высотой 49,5 м установки обезвреживания промстоков, железобетонная балка перекрытия пролётом 6 м этажерки водородной установки и одиннадцать стальных стропильных ферм пролетом 30 м на складе метионина и сульфата натрия.

В процессе испытаний на конструкции воздействовала импульсная нагрузка, в результате чего они выводились из состояния равновесия и совершали свободные затухающие колебания.

Импульсное воздействие на дымовую трубу было следствием резкого торможения груза массой ≈ 70 кг, горизонтально перемещающегося по её верхней площадке. Вертикальное импульсное воздействие на балку и фермы осуществлялось в результате падения груза массой ≈ 102 кг в середине их пролёта с высоты $\approx 0,3$ м под действием силы тяжести. Масса груза

во всех случаях была мала по сравнению с массой конструкций и не оказывала существенного влияния на процесс их колебаний.

Вибродатчик жёстко прикреплялся с помощью струбцины к верхнему обрезу дымовой трубы (см. фото 2) и к элементам конструкций в середине их пролета. Такой способ крепления обеспечивает достаточно точную передачу колебаний от конструкции датчику и позволяет получить акселерограммы с наибольшим размахом сигналов. Одна из рабочих осей акселерометра была ориентирована вдоль направления удара, другая ось – под углом 90° к плоскости конструкции.



Фото 2. Крепление вибродатчика (акселерометра) наобрезде дымовой трубы на отметке +49,500

После установки вибродатчика и подключения измерительного комплекса осуществлялась запись в режиме реального времени оцифрованных с частотой дискретизации 10 кГц сигналов с двухканального акселерометра на жёсткий диск портативного компьютера. Длительность записи составляла от 60 до 120 секунд. За этот промежуток времени к конструкциям прикладывалась серия импульсных воздействий из 10 последовательных ударов с интервалом 3–5 секунд. Характерный фрагмент полученной записи виброускорений горизонтальных колебаний дымовой трубы представлен на рис. 1.

Анализ акселерограмм производился в камеральных условиях в два этапа. На первом этапе изучались временные записи сигналов вибродатчиков с количественной оценкой некоторых параметров колебаний, для чего использовалась специальная компьютерная программа. Алгоритмом программы предусматривалось: выделение экстремумов процесса коле-

баний с вычислением их медианы, подсчет числа полных циклов, пересекающих медиану экстремумов, с определением их амплитуд, вычисление коэффициента нерегулярности как отношения числа экстремумов процесса к числу пересечений медианы, определение частот экстремумов и полных циклов. Кроме того, определялся логарифмический декремент свободных колебаний δ_i , для чего программой на рассматриваемом фрагменте акселерограммы выделялся характерный участок с убыванием амплитуды пиковых ускорений колебаний, фиксировались начальная a_n и конечная a_{n+m} амплитуды, подсчитывалось число полных циклов m_i на участке.

Логарифмический декремент колебаний вычислялся для каждого фрагмента акселерограммы по формуле

$$\delta_i = \frac{1}{m_i} \ln \frac{a_n}{a_{n+m}}.$$

На втором этапе производился частотный анализ колебаний с построением спектра пиковых значений виброускорения, для чего использовалась программа «Узкополосный спектр» из пакета «ZetLab». Разложение записанных сигналов по частотам спектра производилось в рабочем диапазоне частот для дымовой трубы от 0 до 2,5 Гц с разрешающей способностью 0,1 Гц и для остальных конструкций в диапазоне от 0 до 400 Гц с разрешающей способностью 0,2 Гц. Время усреднения спектра назначалось с учетом длительности процесса затухания колебаний конструкций. Узкополосный спектр пиковых значений ускорения колебаний рассчитывался программой с помощью дискретного преобразования Фурье с использованием весовой функции Хана. Спектр колебаний верха дымовой трубы показан на рис. 2.

Для сопоставления и качественных оценок полученных экспериментальных данных для всех испытанных конструкций был выполнен расчёт теоретической частоты собственных колебаний первой форм, исходя из свойств материалов, фактических нагрузок и геометрии конструкций, уточнённых в ходе обследования. Обобщённые результаты первого и второго этапов анализа полученных акселерограмм и расчётные значения частот собственных колебаний конструкций представлены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что наиболее слабые демпфирующие свойства имеет ствол дымовой трубы. Амплитуда её свободных колебаний уменьшается в 2,718 раза через каждые $N=1/\delta=1/0,0438\approx 23$ периода, а полное их затухание происходит примерно через 70–75 секунд.

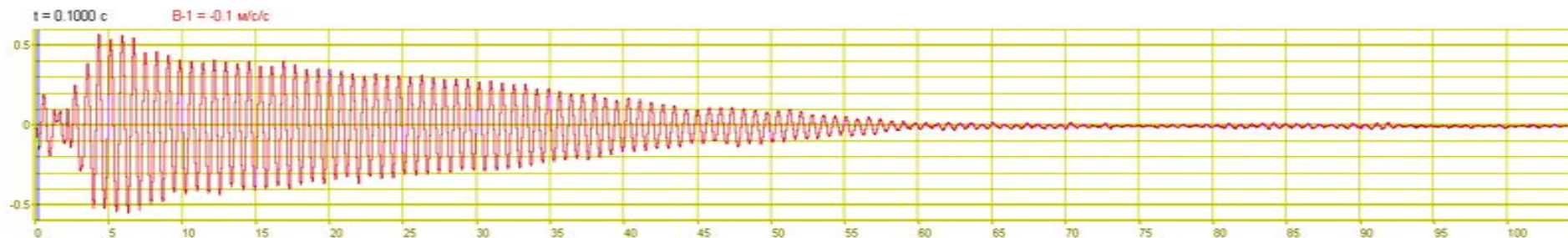


Рис. 1. Акселерограмма собственных колебаний верха стальной дымовой трубы высотой 49,5 м

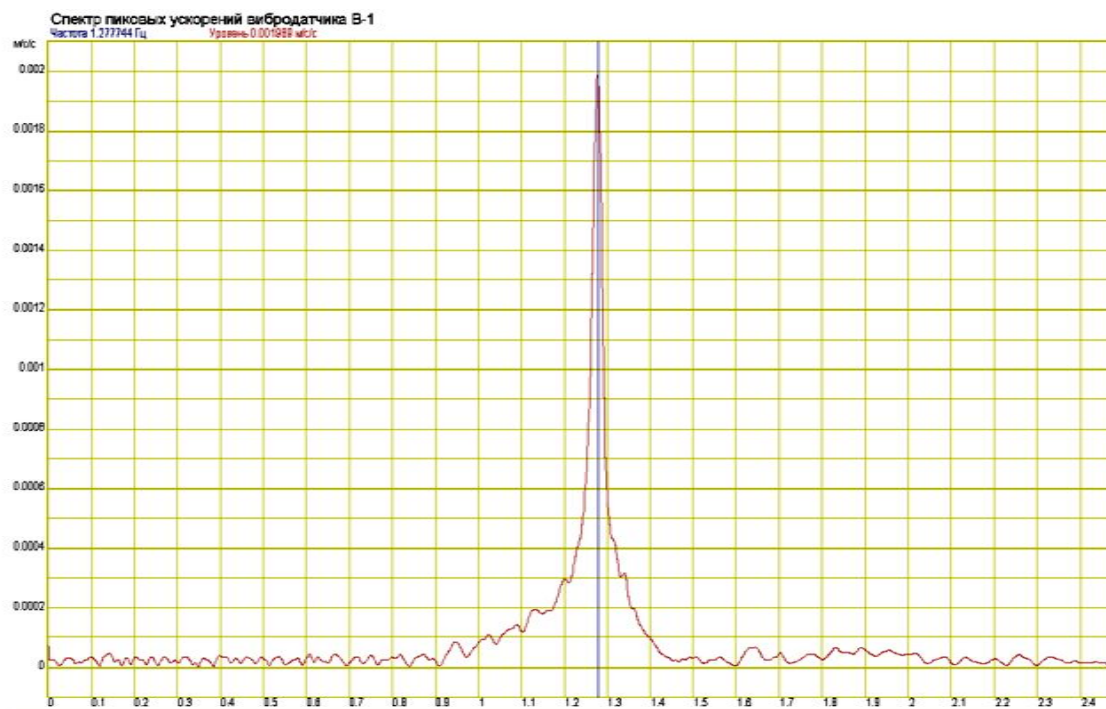


Рис. 2. Спектр пиковых ускорений горизонтальных колебаний верха дымовой трубы

Таблица 1

Тип конструкции	Данные	Частота, Гц	Разность,%	Логариф. декремент
Дымовая труба	по расчету	1.123		
	горизон.1	1.280	14.0	0.051
	горизон.2	1.277	13.7	0.041
	средняя	1.279	13.8	0.046
Балка перекрытия	по расчету	20.743		
	испытан.	20.900	0.8	0.557
Стропильные фермы марки Ф30-10	по расчету	3.779		
	ось 13	3.400	-10.0	0.289
	ось 14	3.600	-4.7	0.353
	ось 15	3.200	-15.3	0.462
	ось 16	3.200	-15.3	0.386
	ось 17	3.600	-4.7	0.430
	средняя	3.400	5.9	
Стропильные фермы марки Ф30-3	по расчету	5.031		
	ось 19	5.496	9.2	0.329
	ось 20	6.000	19.3	0.367
	ось 21	5.800	15.3	0.309
	ось 38	5.400	7.3	0.302
	ось 39	5.400	7.3	0.447
	ось 40	5.600	11.3	0.378
	средняя	5.616	6.8	

Стропильные фермы и балка перекрытия характеризуются значительно большими демпфирующими свойствами. Уменьшение амплитуды свободных колебаний в 2,718 раза происходит за $N=1/0,384 \approx 2,6$ периода у ферм Ф30-10, $N=1/0,355 \approx 2,8$ периода у ферм Ф30-3 и $N=1/0,557 \approx 1,8$ периода у балки перекрытия. На полное затухание колебаний этих конструкций требуется менее одной секунды.

По результатам спектрального анализа фактически измеренные частоты собственных колебаний конструкций (доминирующие частоты спектров) близки к их расчетным значениям (разница не превышает 19,3%), что указывает на соответствие в работе между реальными конструкциями и их компьютерными моделями.

Различие в частотах собственных колебаний ферм одной марки не превышает 11,1%. Стабильность динамических параметров однотипных ферм и их близость к соответствующим расчетным значениям указывают на отсутствие каких-либо повреждений, нарушений или отступлений,

влияющих на их несущую способность или уровень загруженности. Все испытанные конструкции находятся примерно в одинаковом техническом состоянии, которое характеризуется близкими к проектным показателям несущей способностью и уровнем нагруженности.

Тоже самое можно сказать и о техническом состоянии дымовой трубы и железобетонной балки перекрытия этажерки.

Полученные в результате натурных испытаний конструкций и подтверждённые их динамическим расчётом частоты собственных колебаний и логарифмические декременты могут быть использованы при последующем мониторинге технического состояния данных конструкций.

Несомненным преимуществом контроля строительных конструкций по результатам их динамических испытаний является возможность получения интегральной оценки их технического состояния с учетом практически всех влияющих на него факторов: физико-механических характеристик материала, геометрических размеров сечений, характера сопряжения элементов в узлах и на опорах, возможных дефектов, повреждений и отступлений, характера и уровня нагруженности.

Отличительной особенностью рассматриваемого измерительного комплекса по сравнению с серийно выпускаемыми вибродиагностическими приборами является возможность оцифрованной записи колебаний на жесткий диск компьютера в режиме реального времени. Последующая камеральная обработка записей может производиться с применением как прилагаемого программного обеспечения, так и оригинальных программ пользователя. При этом многократно возрастает объём получаемой при анализе записей информации. Комплекс обладает уникальной универсальностью и может применяться для решения различных экспериментальных задач, например таких, как многоканальное измерение деформаций элементов конструкций электротензометрическим методом, контроль нагрузки при различных испытаниях, измерение температуры, перемещений и прочее. В этой связи можно говорить о перспективности применения данного измерительного комплекса не только для целей мониторинга технического состояния, но и в качестве средства измерения большого числа параметров при обследованиях и испытаниях строительных конструкций, проводимых с различными целями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
2. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

В.С. Бабалич, Т.О. Воловик

КРАТКИЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассмотрены современное состояние, методология и тенденции развития нормативной базы в строительстве и проектировании. Влияние качества нормативных документов на конструктивную надежность и безопасность строительных объектов.

Начало кардинальных изменений нормативной базы строительного комплекса можно датировать 1994 г. с введением 17.05.94 г. СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения». Система нормативных документов Российской Федерации в строительстве создавалась в соответствии с новыми экономическими условиями, законодательством и структурой управления на базе действующих в России строительных норм, правил и государственных стандартов в этой области.

Главная направленность вновь разрабатываемых нормативных документов Системы – защита прав и охраняемых законом интересов потребителей строительной продукции, общества и государства при развитии самостоятельности и инициативы предприятий, организаций и специалистов. Поэтому введенный СНиП декларирует новые методические принципы, находящие все большее распространение в практике международной стандартизации. В отличие от традиционно сложившегося в нашей стране так называемого, «описательного» или «предписывающего» подхода, когда в нормативных документах приводят подробное описание конструкции, методов расчета, применяемых материалов и т.д., вновь создаваемые строительные нормы и стандарты должны содержать, в первую очередь, эксплуатационные характеристики строительных изделий и сооружений, основанные на требованиях потребителя. То есть разрабатываемые в соответствии с настоящими строительными нормами и правилами нормативные документы должны не предписывать, как проектировать и строить, а устанавливать требования к строительной продукции, которые должны быть удовлетворены, или цели, которые должны быть достигнуты в процессе проектирования и строительства. Способы достижения поставленных целей в виде объемно-планировочных, конструктивных или технологических решений должны носить рекомендательный характер и устанавливаются новым,

ранее не применяемым, типом нормативных документов – сводами правил по проектированию и строительству. Таким образом, система технического нормирования в строительстве была пересмотрена с целью исключения избыточных требований и сокращения количества, обязательных для исполнения нормативных технических документов, а также их гармонизации с европейскими и международными аналогами. С этого времени несколько десятков институтов, проектных организаций, профессиональных общественных объединений, производственных фирм и компаний работали над приведением системы технического нормирования в строительстве в соответствие с требованиями упомянутого документа. Из-за недостаточности финансовых средств работы, по пересмотру действующих СНиПов шли медленнее, чем хотелось бы, и это вызывало справедливые нарекания разработчиков и пользователей нормативной документации.

Строительные нормы и правила никогда не считались какими-то барьерами, даже на переговорах с представителями всемирной торговой организации (ВТО). Многие эксперты ИСО высоко оценили структуру и содержание нашей системы СНиПов. Несколько лет назад Министерство строительства КНР, проанализировав все существующие системы технического регулирования в строительстве, пришло к выводу, что лучшей является российская, и обратилось с просьбой передать им все наши СНиПы, которые были разработаны за последние два десятилетия. Практически все межгосударственные стандарты в строительстве для стран СНГ выполнены на основе российских и приняты в этих странах взамен национальных.

Однако, на наш взгляд, революционные изменения нормативной базы происходят весьма скоропалительно и потому не всегда продумано. В июле 2003 года был введен в действие Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (далее ФЗ № 184). С другой стороны потребность в подобном законе назрела потому, что необходимо было привести отечественную сферу технического регулирования в соответствие с мировой практикой и ликвидировать при этом ведомственный произвол. Госстандарт в контакте с Госстроем России и другими министерствами и ведомствами подготовил ряд законопроектов, которые должны были устранить эти противоречия. Документы были в работе, когда появился проект ФЗ в такой неожиданной редакции.

При обсуждении проекта ФЗ представители практически всех министерств и ведомств, в том числе Госстроя России, не отрицая самой идеи и целей реформирования системы технического регулирования, почти единогласно возражали против способов реформирования, предусмотренных этим законопроектом. Они предупреждали, что в предлагаемом виде закон в лучшем случае работать не будет, а в худшем - нанесет

ощутимый удар по экономике России. Уже тогда было понятно, что ждет российскую экономику в случае присоединения к ВТО в условиях обрушения действующей нормативной базы и невозможности создания новой в срок, отведенный ФЗ.

Однако принятие этого закона было провозглашено его авторами и идеологами актом революционного характера, направленным на расцвет предпринимательской деятельности в России. Но как показала жизнь, последствия этого «революционного акта» ничем не отличаются от тех, к которым приводят любые революции. Жизнь подтвердила правоту оппонентов ФЗ и непрофессионализм его разработчиков. Может быть именно поэтому они, пытаясь защититься, так агрессивно ищут в лице чиновников врагов, якобы просто препятствующих реализации закона.

Достаточно ощутимый удар нанес ФЗ № 184 по строительной отрасли. На достаточно длительный срок им была «заморожена» актуализация существующей нормативной базы в ожидании перспективных технических регламентов. А старая нормативная база существенно тормозила внедрение современных научно-технических и технологических достижений. С другой стороны декларируемая ФЗ № 184 (с поправками от 01.05.2007 г.) добровольность применения отраслевых нормативов (СНиП, ГОСТ, СанПиН) содержащих технические и технологические требования к проектированию и возведению строительных объектов не могла в должной мере обеспечить безопасность строительной продукции, зданий и сооружений.

Наконец, к исходу регламентированного ФЗ № 184 семилетнего срока, 30.12.2010 г. Государственной думой РФ принимается ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (далее ФЗ № 384). С 01.07.2010 г. закон вступил в силу.

Технический регламент о безопасности зданий и сооружений в какой-то мере компенсировал недостатки и противоречия закона о техническом регулировании. Статьей 6 ФЗ № 384 введен перечень нормативных документов, утверждаемый Постановлением Правительства РФ, обязательных для исполнения в целях обеспечения требований технического регламента (№ 384-ФЗ). До вступления в силу закона ФЗ № 384 21.06.2010 г. было принято Постановление Правительства № 1047-р утвердившее регламентированный законом перечень нормативных документов обязательных для исполнения при проектировании, строительстве и эксплуатации. Утвержденный Правительством РФ перечень содержит 91 документ, из них 9 ГОСТов, остальные СНиПы. Причем обязательными для исполнения в указанном перечне приняты не все предписанные нормативными документами требования, а только требования отдельных разделов и пунктов нормативных документов из утвержден-

ного Правительством РФ перечня. Данное законодательное нововведение ввело в заблуждение многих специалистов строительного комплекса, т.к. строители не находили в правительственном перечне «своих» СНиПов регламентирующих технические и технологические параметры для обеспечения безопасности и конструктивной надежности возводимых объектов, инженерной инфраструктуры. И немногие специалисты также поняли глубинную методическую составляющую правительственного перечня. Ситуация заключается в следующем.

Все предписанные к обязательному исполнению нормативные документы их отдельные разделы и пункты не содержат детальных технических и технологических требований обеспечивающих безопасность и конструктивную надежность возводимых объектов и поэтому изобилуют многочисленными ссылками на другие нормативно-технические документы (СНиПы, ГОСТы, ВСНы) отсутствующие в правительственном перечне. Детальным анализом утвержденного Правительством РФ перечня обязательных для исполнения нормативных документов, выполненного авторами, установлено, что количество таких ссылок в перечне составляет 645. В тоже время по правилам международной стандартизации (МЭК, ИСО) любая прямая ссылка должна быть исполнена. Аналогичные требования регламентирует и отечественная система стандартизации. Так основополагающий национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 1.0-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения» в п. 4.2 четко предписывает следующее: «национальный стандарт применяют на добровольной основе. Обязательность соблюдения национальных стандартов наступает при прямом указании на это в действующем законодательстве, договорах контрактах, правомерно принятых нормативных документах федеральных органов исполнительной власти или предприятий любых форм собственности». То есть, учитывая это требование ГОСТ Р 1.0-2004 перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» составляет не 91 документ, а 736 документов. Так как, п. 6.2 ГОСТ Р 1.0-2004 регламентирует обязательность исполнения всех требований национальных стандартов при их применении.

Таким образом, мы практически вернулись к ранее существовавшей нормативной базе, но с дополнительными сложностями для строителей, проектировщиков и контролирующих органов, т.к. в правительственном перечне регламентированы не только национальные стандарты, своды правил, но и части и отдельные пункты этих документов, исполнение которых обязательно.

К сожалению, процесс реформирования современной нормативной базы изысканий, проектирования и строительства в настоящее время не стабилизирован. Уже существует проект технического регламента Евразийского экономического сообщества «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий» распространяющийся на:

- на продукцию строительства – здания и другие строительные сооружения, включая их внутренние инженерные системы, всех отраслей экономики независимо от форм собственности и ведомственной принадлежности, вводимые в эксплуатацию после завершения нового строительства, реконструкции или капитального ремонта, а также реставрации;
- на процессы инженерных изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации зданий и других строительных сооружений;
- на строительные материалы и изделия, применяемые для изготовления и (или) возведения строительных конструкций и устройства внутренних инженерных систем зданий и других строительных сооружений.

Технический регламент Евразийского экономического сообщества «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий» также значительно изменяет структуру Системы межгосударственных нормативных документов в строительстве.

Кроме того, разработан проект Постановления Правительства РФ о применении в проектировании и строительстве норм и стандартов европейских государств, в качестве альтернативы перечню национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Резюмируя вышеизложенное можно констатировать, что довольно революционные и скоропалительные изменения нормативной базы в проектировании и строительства без достаточного времени на их адаптацию не позволяют специалистам строительного комплекса не только как-то повлиять на их содержание, но и отследить появление новых документов. Указанное обстоятельство, безусловно, не способствует повышению уровня качества и безопасности строительных объектов.

В.А. Бабкин, Д.С. Андреев, А.Н. Игнатов, С.П. Белоусов, Г.Е. Заиков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КИСЛОТНОЙ СИЛЫ НЕКОТОРЫХ СИЛОКСАНДИОЛОВ

Институт биохимической физики РАН,
Себряковский филиал Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета,
Лыткаринский завод оптического стекла

Впервые выполнен квантово-химический расчет молекул силоксандиолов (дисилоксандиол-1,3; трисилоксандиол-1,5; тетрасилоксандиол-1,7; пентасилоксандиол-1,9; гексасилоксандиол-1,11; гептасилоксандиол-1,13; октасилоксандиол-1,15; дидекасилоксандиол-1,39) методом MNDO с оптимизацией геометрии по всем параметрам стандартным градиентным методом. Получено оптимизированное геометрическое и электронное строение этих соединений. Теоретически оценена их кислотная сила ($13 \leq pK_a \leq 14$). Установлено, что молекулы силоксандиолов относятся к классу слабых кислот ($9 \leq pK_a < 14$).

Цель работы и методическая часть. Диоксид кремния является наиболее распространенным и устойчивым соединением кремния. В результате плавления диоксида кремния и полученного расплава образуется особая форма существования диоксида кремния – плавленный кремнезем (кварцевое стекло), нашедшее широкое применение в технике [1]. Свойства кремнезема изучаются около 200 лет, причем в течение длительного времени кремнезему приписывали различные формулы. Окончательная формула кремнезема была установлена еще Д.И. Менделеевым в конце 18 века, высказавшем гипотезу о полимерном строении кремнезема [1]. Несмотря на это, до сих пор полимерные (олигомерные, теломерные) формы кремнезема не изучались методами квантовой химии.

В связи с этим, целью настоящей работы является квантово-химический расчет молекул силоксандиолов ($Si_2O_3H_2$; $Si_3O_4H_2$; $Si_4O_5H_2$; $Si_5O_6H_2$; $Si_6O_7H_2$; $Si_7O_8H_2$; $Si_8O_9H_2$; $Si_{20}O_{21}H_2$) на наноуровне, как моделей различных полимерных (олигомерных, теломерных) форм кремнезема, которые являются каркасом для многих оптических систем и, в частности, «легкий крон», «тяжелый флинт» и др. методом MNDO с оптимизацией геометрии по всем параметрам стандартным градиентным методом, встроенным в PC GAMESS[2], в приближении изолированной молекулы в газовой фазе и теоретическая оценка их кислотная сила. Для визуального представления модели молекулы использовалась известная программа MacMolPlt[3].

Результаты расчетов. Оптимизированное геометрическое и электронное строение, общая энергия и электронная энергия молекулы силоксандио-

лов ($\text{Si}_2\text{O}_3\text{H}_2$; $\text{Si}_3\text{O}_4\text{H}_2$; $\text{Si}_4\text{O}_5\text{H}_2$; $\text{Si}_5\text{O}_6\text{H}_2$; $\text{Si}_6\text{O}_7\text{H}_2$; $\text{Si}_7\text{O}_8\text{H}_2$; $\text{Si}_8\text{O}_9\text{H}_2$; $\text{Si}_{20}\text{O}_{21}\text{H}_2$) получена методом MNDO и показаны на рис. 1–8 и в табл. 1–9. Используя известную формулу $\text{pKa} = 42.11 - 147.18q_{\text{max}}^{\text{H}^+}[4]$ ($+0.19 \leq q_{\text{max}}^{\text{H}^+} \leq +0.20$ – максимальный заряд на атоме водорода, pKa – универсальный показатель кислотности, см. табл. 9), которая с успехом использовалась, например в работах [5–16], находим значение кислотной силы изучаемых силоксандиолов $13 \leq \text{pKa} \leq 14$.

Таким образом, нами впервые выполнен квантово-химический расчет молекул различных силоксандиолов методом MNDO. Получено оптимизированное геометрическое и электронное строение этих соединений. Теоретически оценена их кислотная сила $13 \leq \text{pKa} \leq 14$. Установлено, что силоксандиолы (дисилоксандиол-1,3; трисилоксандиол-1,5; тетрасилоксандиол-1,7; пентасилоксандиол-1,9; гексасилоксандиол-1,11; гептасилоксандиол-1,13; октасилоксандиол-1,15; дидекасилоксандиол-1,39) относится к классу слабых Н-кислот ($9 < \text{pKa} < 14$).

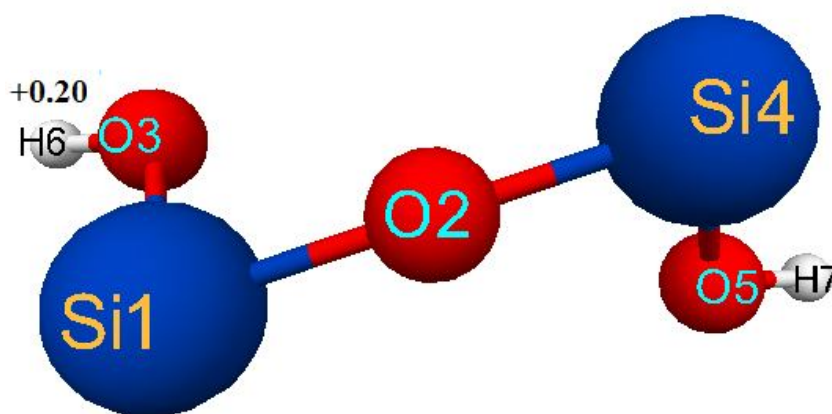


Рис. 1. Геометрическое и электронное строение молекулы дисилоксандиол-1,3. ($E_0 = -113093$ кДж/моль, $E_{\text{эл}} = -283525$ кДж/моль)

Таблица 1

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы дисилоксандиол-1,3

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.60	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.91
O(3)-Si(1)	1.64	Si(1)-O(2)-Si(4)	169	O(2)	-0.90
Si(4)-O(2)	1.60	O(2)-Si(4)-O(5)	98	O(3)	-0.66
O(5)-Si(4)	1.64	Si(1)-O(3)-H(6)	123	Si(4)	+0.91
H(6)-O(3)	0.93	Si(4)-O(5)-H(7)	123	O(5)	-0.66
H(7)-O(5)	0.93			H(6)	+0.20
				H(7)	+0.20

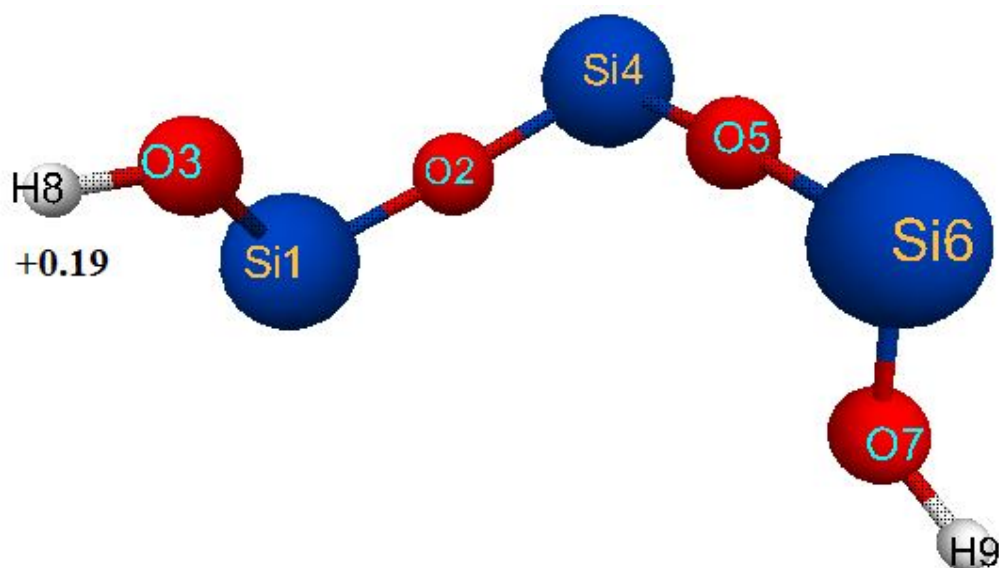


Рис. 2. Геометрическое и электронное строение молекулы трисилоксандиол-1,5. ($E_0 = -152738$ кДж/моль, $E_{эл} = -442257$ кДж/моль)

Таблица 2

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы трисилоксандиол-1,5

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.59	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.90
O(3)-Si(1)	1.64	Si(1)-O(2)-Si(4)	175	O(2)	-0.91
Si(4)-O(2)	1.61	O(2)-Si(4)-O(5)	100	O(3)	-0.66
O(5)-Si(4)	1.61	Si(4)-O(5)-Si(6)	175	Si(4)	+0.97
Si(6)-O(5)	1.59	O(5)-Si(6)-O(7)	98	O(5)	-0.91
O(7)-Si(6)	1.64	Si(1)-O(3)-H(8)	123	Si(6)	+0.90
H(8)-O(3)	0.93	Si(6)-O(7)-H(9)	123	O(7)	-0.67
H(9)-O(7)	0.93			H(8)	+0.19
				H(9)	+0.19

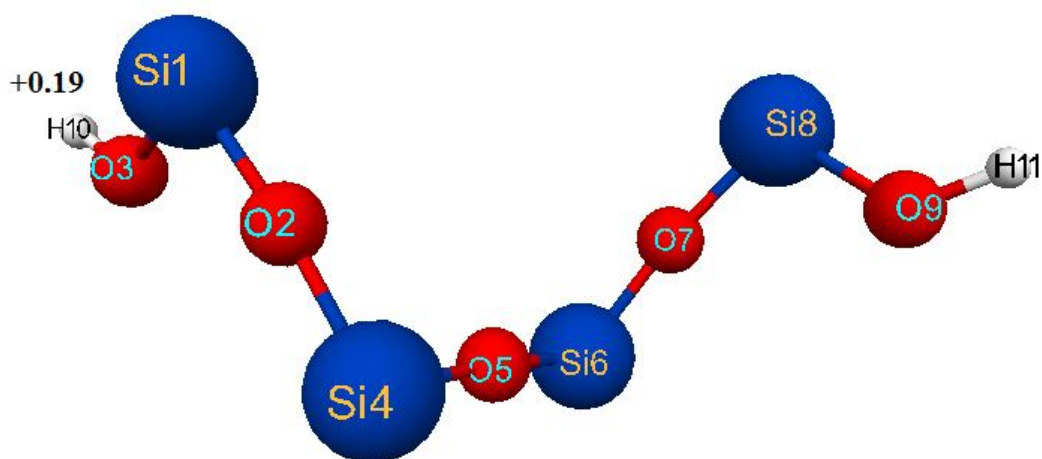


Рис. 3. Геометрическое и электронное строение молекулы тетрасилоксандиол-1,7. ($E_0 = -192384$ кДж/моль, $E_{эл} = -618009$ кДж/моль)

Таблица 3

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы тетрасилоксандиол-1,7

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.59	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.90
O(3)-Si(1)	1.64	Si(1)-O(2)-Si(4)	172	O(2)	-0.92
Si(4)-O(2)	1.61	O(2)-Si(4)-O(5)	100	O(3)	-0.66
O(5)-Si(4)	1.61	Si(4)-O(5)-Si(6)	176	Si(4)	+0.96
Si(6)-O(5)	1.61	O(5)-Si(6)-O(7)	100	O(5)	-0.94
O(7)-Si(6)	1.61	Si(6)-O(7)-Si(8)	172	Si(6)	+0.96
Si(8)-O(7)	1.59	O(7)-Si(8)-O(9)	98	O(7)	-0.92
O(9)-Si(8)	1.64	Si(1)-O(3)-H(10)	123	Si(8)	+0.90
H(10)-O(3)	0.93	Si(8)-O(9)-H(11)	123	O(9)	-0.66
H(11)-O(9)	0.93			H(10)	+0.19
				H(11)	+0.19

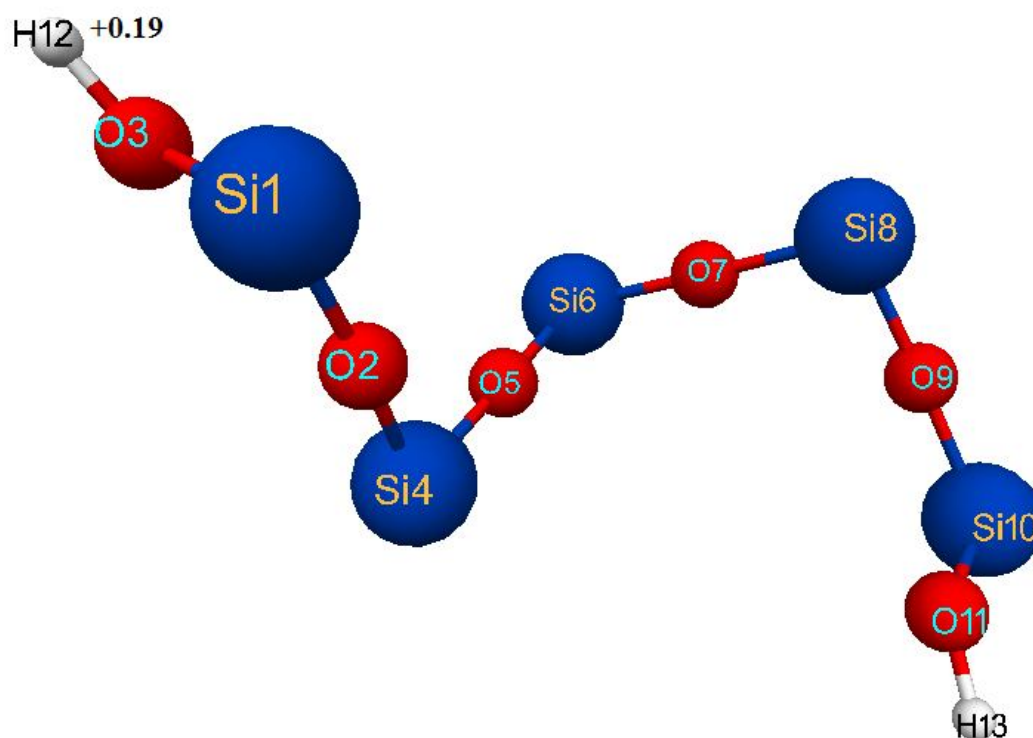


Рис. 4. Геометрическое и электронное строение молекулы пентасилоксандиол-1,9. ($E_0 = -232033$ кДж/моль, $E_{эл} = -817740$ кДж/моль)

Таблица 4

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы пентасилоксандиол-1,9

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.59	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.90
O(3)-Si(1)	1.64	Si(1)-O(2)-Si(4)	173	O(2)	-0.92
Si(4)-O(2)	1.61	O(2)-Si(4)-O(5)	100	O(3)	-0.66
O(5)-Si(4)	1.61	Si(4)-O(5)-Si(6)	177	Si(4)	+0.96
Si(6)-O(5)	1.61	O(5)-Si(6)-O(7)	100	O(5)	-0.94
O(7)-Si(6)	1.61	Si(6)-O(7)-Si(8)	179	Si(6)	+0.95
Si(8)-O(7)	1.60	O(7)-Si(8)-O(9)	100	O(7)	-0.94
O(9)-Si(8)	1.61	Si(8)-O(9)-Si(10)	172	Si(8)	+0.96
Si(10)-O(9)	1.59	O(9)-Si(10)-O(11)	98	O(9)	-0.92
O(11)-Si(10)	1.65	Si(1)-O(3)-H(12)	123	Si(10)	+0.90
H(12)-O(3)	0.93	Si(10)-O(11)-H(13)	123	O(11)	-0.67
H(13)-O(11)	0.93			H(12)	+0.19
				H(13)	+0.19

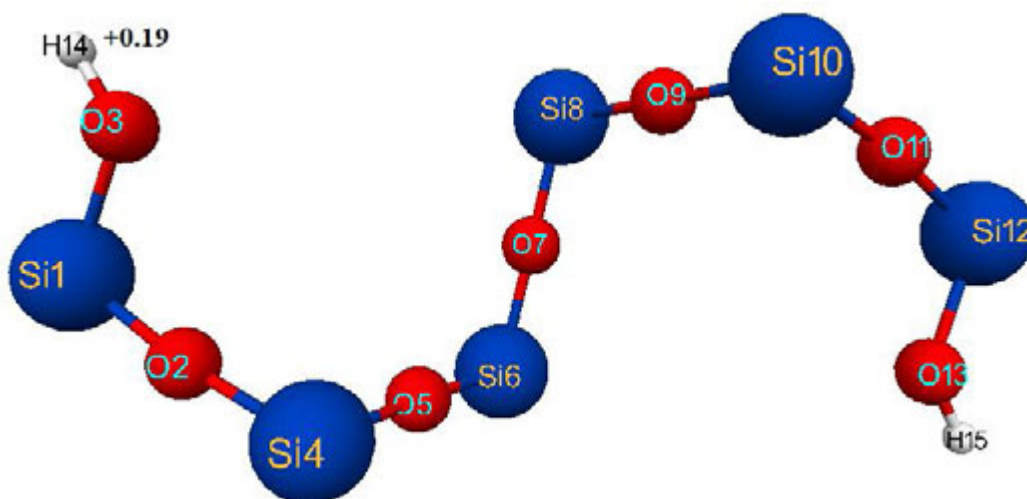


Рис. 5. Геометрическое и электронное строение молекулы гексасилоксандиол-1,11. ($E_0 = -271678$ кДж/моль, $E_{эл} = -1033814$ кДж/моль)

Таблица 5

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы гексасилоксандиол-1,11

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.59	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.90
O(3)-Si(1)	1.65	Si(1)-O(2)-Si(4)	172	O(2)	-0.92
Si(4)-O(2)	1.61	O(2)-Si(4)-O(5)	100	O(3)	-0.67
O(5)-Si(4)	1.60	Si(4)-O(5)-Si(6)	178	Si(4)	+0.96
Si(6)-O(5)	1.61	O(5)-Si(6)-O(7)	100	O(5)	-0.94
O(7)-Si(6)	1.61	Si(6)-O(7)-Si(8)	179	Si(6)	+0.95
Si(8)-O(7)	1.61	O(7)-Si(8)-O(9)	100	O(7)	-0.94
O(9)-Si(8)	1.61	Si(8)-O(9)-Si(10)	178	Si(8)	+0.95
Si(10)-O(9)	1.60	O(9)-Si(10)-O(11)	100	O(9)	-0.94
O(11)-Si(10)	1.61	Si(10)-O(11)-Si(12)	172	Si(10)	+0.96
Si(12)-O(11)	1.59	O(11)-Si(12)-O(13)	98	O(11)	-0.92
O(13)-Si(12)	1.65	Si(1)-O(3)-H(14)	123	Si(12)	+0.90
H(14)-O(3)	0.93	Si(12)-O(13)-H(15)	123	O(13)	-0.67
H(15)-O(13)	0.93			H(14)	+0.19
				H(15)	+0.19

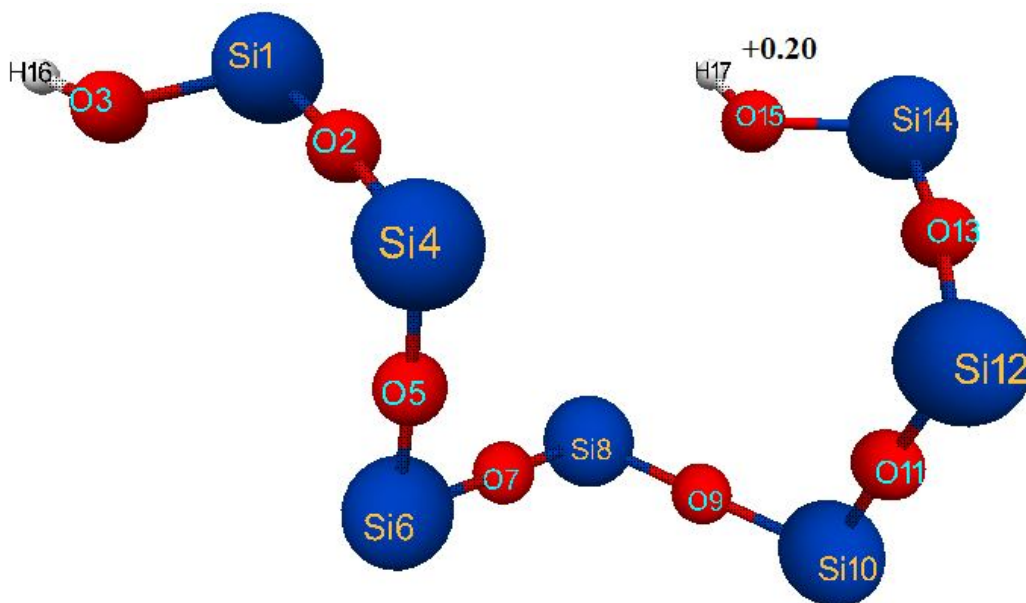


Рис. 6. Геометрическое и электронное строение молекулы гептасилоксандиол-1,13. ($E_0 = -311324$ кДж/моль, $E_{эл} = -1288829$ кДж/моль)

Таблица 6

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы гептасилоксандиол-1,13

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.59	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.90
O(3)-Si(1)	1.64	Si(1)-O(2)-Si(4)	174	O(2)	-0.92
Si(4)-O(2)	1.61	O(2)-Si(4)-O(5)	100	O(3)	-0.66
O(5)-Si(4)	1.61	Si(4)-O(5)-Si(6)	177	Si(4)	+0.96
Si(6)-O(5)	1.61	O(5)-Si(6)-O(7)	100	O(5)	-0.94
O(7)-Si(6)	1.61	Si(6)-O(7)-Si(8)	180	Si(6)	+0.94
Si(8)-O(7)	1.61	O(7)-Si(8)-O(9)	100	O(7)	-0.94
O(9)-Si(8)	1.61	Si(8)-O(9)-Si(10)	177	Si(8)	+0.94
Si(10)-O(9)	1.61	O(9)-Si(10)-O(11)	100	O(9)	-0.94
O(11)-Si(10)	1.61	Si(10)-O(11)-Si(12)	178	Si(10)	+0.94
Si(12)-O(11)	1.60	O(11)-Si(12)-O(13)	100	O(11)	-0.94
O(13)-Si(12)	1.62	Si(12)-O(13)-Si(14)	172	Si(12)	+0.96
Si(14)-O(13)	1.59	O(13)-Si(14)-O(15)	98	O(13)	-0.92
O(15)-Si(14)	1.65	Si(1)-O(3)-H(16)	123	Si(14)	+0.90
H(16)-O(3)	0.93	Si(14)-O(15)-H(17)	123	O(15)	-0.67
H(17)-O(15)	0.93			H(16)	+0.19
				H(17)	+0.20

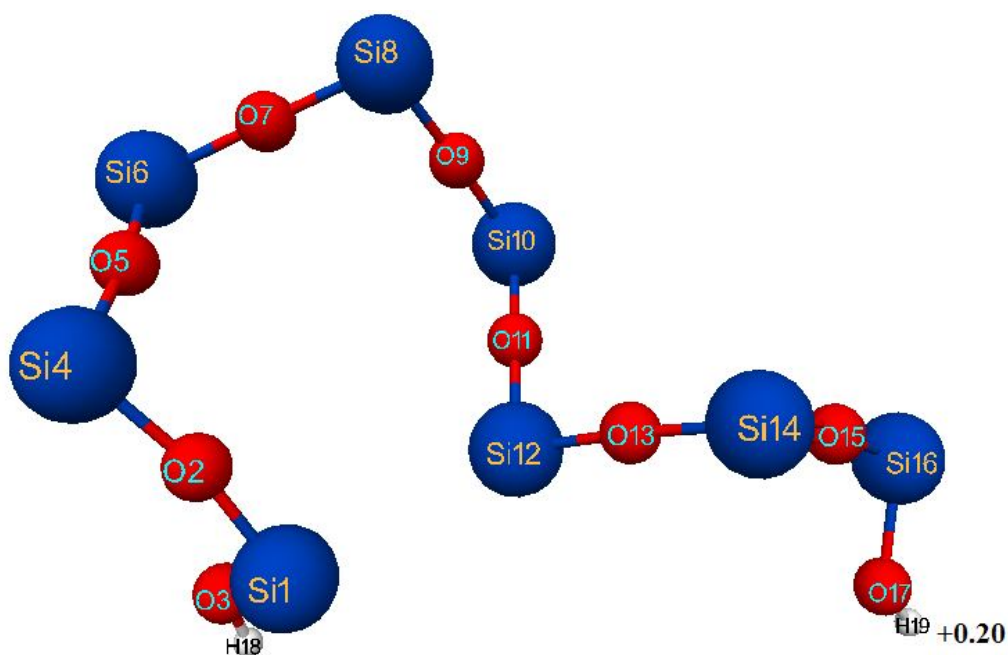


Рис. 7. Геометрическое и электронное строение молекулы октасилоксандиол-1,15. ($E_0 = -350970$ кДж/моль, $E_{эл} = -1538702$ кДж/моль)

Таблица 7

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы октасилоксандиол-1,15

Длины связей	R,Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
O(2)-Si(1)	1.60	O(2)-Si(1)-O(3)	98	Si(1)	+0.90
O(3)-Si(1)	1.65	Si(1)-O(2)-Si(4)	169	O(2)	-0.92
Si(4)-O(2)	1.61	O(2)-Si(4)-O(5)	100	O(3)	-0.66
O(5)-Si(4)	1.61	Si(4)-O(5)-Si(6)	172	Si(4)	+0.95
Si(6)-O(5)	1.61	O(5)-Si(6)-O(7)	100	O(5)	-0.94
O(7)-Si(6)	1.61	Si(6)-O(7)-Si(8)	180	Si(6)	+0.94
Si(8)-O(7)	1.61	O(7)-Si(8)-O(9)	99	O(7)	-0.94
O(9)-Si(8)	1.61	Si(8)-O(9)-Si(10)	177	Si(8)	+0.94
Si(10)-O(9)	1.61	O(9)-Si(10)-O(11)	99	O(9)	-0.94
O(11)-Si(10)	1.61	Si(10)-O(11)-Si(12)	180	Si(10)	+0.94
Si(12)-O(11)	1.60	O(11)-Si(12)-O(13)	100	O(11)	-0.94
O(13)-Si(12)	1.61	Si(12)-O(13)-Si(14)	176	Si(12)	+0.94
Si(14)-O(13)	1.61	O(13)-Si(14)-O(15)	100	O(13)	-0.94
O(15)-Si(14)	1.61	Si(14)-O(15)-Si(16)	173	Si(14)	+0.96
Si(16)-O(15)	1.59	O(15)-Si(16)-O(17)	98	O(15)	-0.92
O(17)-Si(16)	1.64	Si(1)-O(3)-H(18)	122	Si(16)	+0.90
H(18)-O(3)	0.93	Si(16)-O(17)-H(19)	123	O(17)	-0.66
H(19)-O(17)	0.93			H(18)	+0.19
				H(19)	+0.20

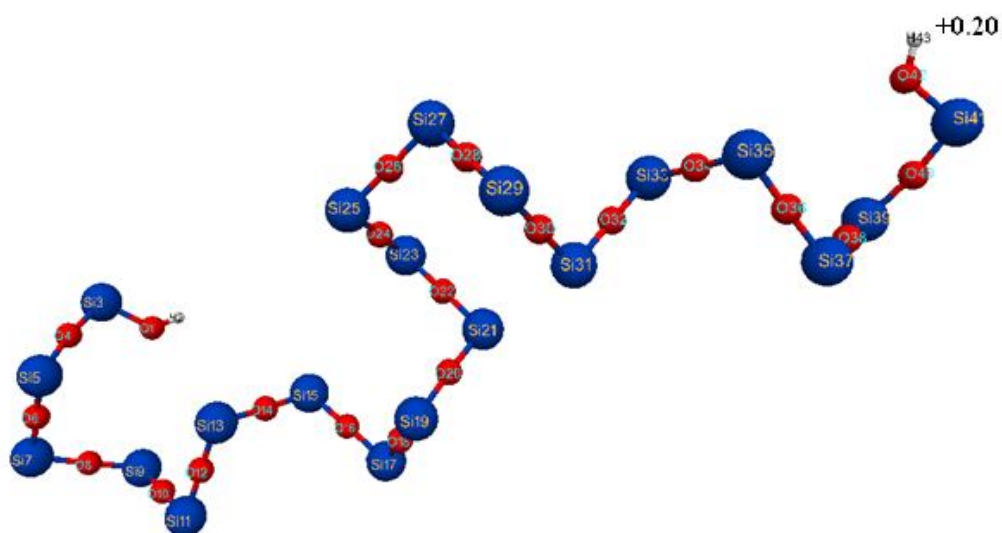


Рис. 8. Геометрическое и электронное строение молекулы дидекасилоксандиол-1,39. ($E_0 = -828031$ кДж/моль, $E_{эл} = -5082637$ кДж/моль)

Таблица 8

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы дидекасилоксандиол-1,39

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
H(2)-O(1)	0.93	H(2)-O(1)-Si(3)	123	O(1)	-0.67
Si(3)-O(1)	1.65	O(1)-Si(3)-O(4)	98	H(2)	+0.19
O(4)-Si(3)	1.59	Si(3)-O(4)-Si(5)	172	Si(3)	+0.89
Si(5)-O(4)	1.62	O(4)-Si(5)-O(6)	100	O(4)	-0.92
O(6)-Si(5)	1.60	Si(5)-O(6)-Si(7)	177	Si(5)	+0.95
Si(7)-O(6)	1.61	O(6)-Si(7)-O(8)	100	O(6)	-0.94
O(8)-Si(7)	1.61	Si(7)-O(8)-Si(9)	177	Si(7)	+0.94
Si(9)-O(8)	1.61	O(8)-Si(9)-O(10)	100	O(8)	-0.94
O(10)-Si(9)	1.61	Si(9)-O(10)-Si(11)	179	Si(9)	+0.95
Si(11)-O(10)	1.61	O(10)-Si(11)-O(12)	100	O(10)	-0.94
O(12)-Si(11)	1.61	Si(11)-O(12)-Si(13)	179	Si(11)	+0.94
Si(13)-O(12)	1.61	O(12)-Si(13)-O(14)	100	O(12)	-0.94
O(14)-Si(13)	1.61	Si(13)-O(14)-Si(15)	177	Si(13)	+0.95
Si(15)-O(14)	1.61	O(14)-Si(15)-O(16)	100	O(14)	-0.94
O(16)-Si(15)	1.61	Si(15)-O(16)-Si(17)	179	Si(15)	+0.94
Si(17)-O(16)	1.61	O(16)-Si(17)-O(18)	100	O(16)	-0.94
O(18)-Si(17)	1.61	Si(17)-O(18)-Si(19)	178	Si(17)	+0.94
Si(19)-O(18)	1.61	O(18)-Si(19)-O(20)	100	O(18)	-0.94
O(20)-Si(19)	1.61	Si(19)-O(20)-Si(21)	176	Si(19)	+0.94
Si(21)-O(20)	1.61	O(20)-Si(21)-O(22)	100	O(20)	-0.94
O(22)-Si(21)	1.61	Si(21)-O(22)-Si(23)	175	Si(21)	+0.95

Длины связей	R,Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
Si(23)-O(22)	1.61	O(22)-Si(23)-O(24)	100	O(22)	-0.95
O(24)-Si(23)	1.61	Si(23)-O(24)-Si(25)	176	Si(23)	+0.94
Si(25)-O(24)	1.61	O(24)-Si(25)-O(26)	100	O(24)	-0.94
O(26)-Si(25)	1.61	Si(25)-O(26)-Si(27)	178	Si(25)	+0.94
Si(27)-O(26)	1.61	O(26)-Si(27)-O(28)	100	O(26)	-0.94
O(28)-Si(27)	1.61	Si(27)-O(28)-Si(29)	176	Si(27)	+0.94
Si(29)-O(28)	1.61	O(28)-Si(29)-O(30)	100	O(28)	-0.94
O(30)-Si(29)	1.61	Si(29)-O(30)-Si(31)	177	Si(29)	+0.94
Si(31)-O(30)	1.61	O(30)-Si(31)-O(32)	100	O(30)	-0.94
O(32)-Si(31)	1.61	Si(31)-O(32)-Si(33)	179	Si(31)	+0.95
Si(33)-O(32)	1.61	O(32)-Si(33)-O(34)	100	O(32)	-0.94
O(34)-Si(33)	1.61	Si(33)-O(34)-Si(35)	179	Si(33)	+0.94
Si(35)-O(34)	1.61	O(34)-Si(35)-O(36)	100	O(34)	-0.94
O(36)-Si(35)	1.61	Si(35)-O(36)-Si(37)	178	Si(35)	+0.95
Si(37)-O(36)	1.61	O(36)-Si(37)-O(38)	100	O(36)	-0.94
O(38)-Si(37)	1.61	Si(37)-O(38)-Si(39)	178	Si(37)	+0.94
Si(39)-O(38)	1.60	O(38)-Si(39)-O(40)	100	O(38)	-0.94
O(40)-Si(39)	1.61	Si(39)-O(40)-Si(41)	172	Si(39)	+0.96
Si(41)-O(40)	1.59	O(40)-Si(41)-O(42)	98	O(40)	-0.92
O(42)-Si(41)	1.65	Si(41)-O(42)-H(43)	123	Si(41)	+0.90
H(43)-O(42)	0.93			O(42)	-0.67
				H(43)	+0.20

Общая энергия (E_0), суммарная энергия связей ($E_{эл}$), максимальный заряд на атоме водорода ($q_{\max}^{H^+}$) универсальный показатель кислотности рКа некоторых силосандиолов приведен в табл. 9.

Таблица 9

№ п.п.	Силосандиолы	$-E_0$ кДж/моль	$-E_{эл}$ кДж/моль	$q_{\max}^{H^+}$	рКа
1	дисилосандиол-1,3	113093	283525	+0.20	13
2	трисилосандиол-1,5	152738	442257	+0.19	14
3	тетрасилосандиол-1,7	192384	618009	+0.19	14
4	пентасилосандиол-1,9	232033	817740	+0.19	14
5	гексасилосандиол-1,11	271678	1033814	+0.19	14
6	гептасилосандиол-1,13	311324	1288829	+0.20	13
7	октасилосандиол-1,15	350970	1538702	+0.20	13
8	дидекасилосандиол-1,39	828031	5082637	+0,20	13

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пащенко А.А., Мясников А.А и др. Физическая химия силикатов. под ред. Пащенко А.А. – М.: Высш. шк., 1986. — 368 с.
2. Shmidt M.W., Baldrosge K.K., Elbert J.A., Gordon M.S., Enseh J.H., Koseki S., Matsvnaga N., Nguyen K.A., SU S.J. and anothers. J. Comput. Chem. 14, 1993. — P. 1347–1363.
3. Bode B.M. and Gordon M.S. J. Mol. Graphics Mod., 16, 1998. — P. 133-138.
4. Babkin V.A., Fedunov R.G., Minsker K.S. and anothers. Oxidation communication, 2002, №1, 25. — P. 21–47.
5. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule hexene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 93–95.
6. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule heptene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 95–97.
7. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule decene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, c. Volgograd, 2010. — P. 97–99.
8. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule nonene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 99–102.
9. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule isobutylene by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 176–177.
10. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 177–179.
11. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutene-2 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 179–180.
12. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylpentene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 181–182.
13. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule butene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 89–90.
14. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule hexene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 93–95.
15. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule octene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 103–105.
16. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule pentene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 105–107.

В.А. Бабкин, В.Ю. Дмитриев, Г.А. Савин, Г.Е. Заиков

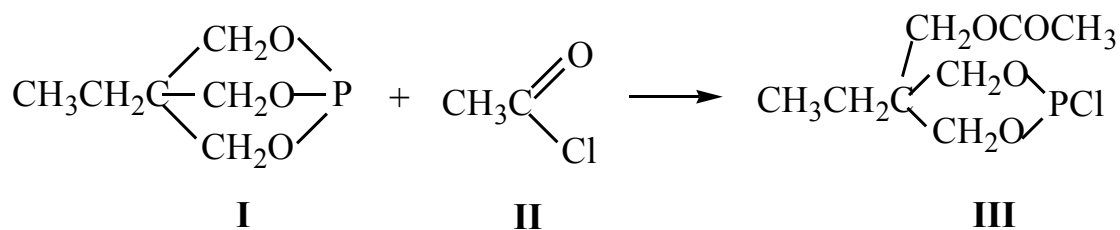
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПРЯМОГО АЦИЛИРОВАНИЯ БИЦИКЛОФОСФИТОВ АЦИЛГАЛОГЕНИДАМИ

Институт биохимической физики РАН,
Себряковский филиал Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета,
Волгоградский государственный педагогический университет

Впервые экспериментальными методами ЯМР и ПМР и теоретическими квантово-химическими методами MNDO и AB INITIO исследован механизм ацилирования этриолбициклофосфита ацетилхлоридом. Показано, что эта реакция протекает без изменения валентности атома фосфора. Установлено, что продуктом этой реакции является моноциклический хлорфосфит. Показано, что синтез 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринана – результат согласованного взаимодействия ацетилхлорида и 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октана, которое протекает по механизму бимолекулярного нуклеофильного замещения S_N2 . Установлено, что эта реакция эндотермична и носит барьерный характер. Величина энергетического барьера составляет 178 кДж/моль (метод MNDO) и 54 кДж/моль (метод AB INITIO).

Бициклические фосфиты – важные органические соединения. Они широко используются как для научных, так и для практических целей. Они широко применяются для получения биологически активных веществ, лекарственных средств для лечения гепатита и других полезных для человека соединений. В частности, например, в последнее время они наряду с другими производными фосфористой кислоты используются при получении аналогов липидов. [1]. Поэтому интерес к этим каркасным веществам неуклонно растет. В частности была изучена реакция между этриолобициклофосфитом (2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октаном) (I) и ацетилхлоридом (II) [2].

С учетом сказанного была предложена такая схема этой реакции:



5-Ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринан (III) может явиться весьма перспективным синтоном для получения различных новых химических соединений и, в частности, лекарственных препаратов с полезными

и возможно уникальными свойствами. Отметим, что механизм синтеза 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринана (III) на электронном уровне в настоящее время не изучен. В связи с этим целесообразным в настоящей работе явилось исследование механизма синтеза этого соединения (III) классическими квантово-химическими полуэмпирическими и неэмпирическими методами.

В связи с этим цель настоящей работы – изучение механизма реакции прямого ацилирования бициклофосфитов фосфоринан-фосфоринанового типа ацилгалогенидами экспериментальными методами ЯМР и ПМР и теоретическими квантово-химическими методами MNDO и AB INITIO.

Методическая часть. Для исследования механизма синтеза 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринана (III) были выбраны квантово-химический полуэмпирический метод MNDO и AB INITIO в базисе 3-21G с оптимизацией геометрии по всем параметрам стандартным градиентным методом, встроенным в PC GAMESS [4]. Метод MNDO достаточно хорошо воспроизводит энергетические характеристики и стабильность химических соединений, в том числе и веществ, содержащих кратные связи [3]. Обоснование выбора метода AB INITIO и базиса 3-21G для подобных расчетов достаточно подробно представлен в монографии [6]. Расчеты выполнялись в приближении изолированной молекулы в газовой фазе. Для визуального представления исходной, промежуточных и конечной моделей использовалась программа MacMolPlt [5].

Механизм получения изучаемого соединения (III) методом MNDO исследовался следующим образом. Исходные модели компонентов реакции – 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октан (I) и ацетилхлорид (II) – располагались на расстоянии 2.8–3.0 Å друг от друга, то есть на таком расстоянии, на котором какие-либо взаимодействия между ними практически отсутствуют. В качестве координаты реакции было выбрано расстояние $R_{O_7C_{22}}$ (см. рис. 1), как наиболее энергетически выгодное направление взаимодействия исходных ингредиентов и судя по максимальным значениям зарядов на атомах молекулярной системы P_{10} , O_7 , Cl_{25} и C_{22} непосредственно участвующих в реакции. Далее, выполнялась оптимизация по всем параметрам исходных компонентов при $R_{O_7C_{22}} = 2.8 \text{ \AA}$. После оптимизации фиксировались и заносились в табл. 1–3 значения длин связей и валентных углов, значения E_0 (общей энергии системы) и q_H^- заряда на атомах вдоль координаты реакции $R_{O_7C_{22}}$, которая изменялась с 2.8 Å до 1.3 Å на каждой ступени оптимизации. Шаг по координате реакции $R_{O_7C_{22}}$ составил 0.2 Å. Исследование методом AB INITIO в базисе 3-21G заключалось в выполнении расчета и построении графика потенциальной поверхности энергий. Как и в методе MNDO исходные модели располагались на расстоянии 2.8 Å, что подтверждается расчетами, а в качестве координат реакции были выбраны расстояния $R_{O_7C_{22}}=2.8 \text{ \AA}$ и $R_{Cl_{25}P_{10}}=3.76 \text{ \AA}$. Далее для каждого фиксированного значения координаты реакции $R_{O_7C_{22}}$ (шаг 0,1 Å) выпол-

нялся расчет 18 точек координаты $R_{Cl_{25}P_{10}}$ (шаг 0,1 Å) с оптимизацией по всем параметрам, результаты которых представлены в табл. 2.

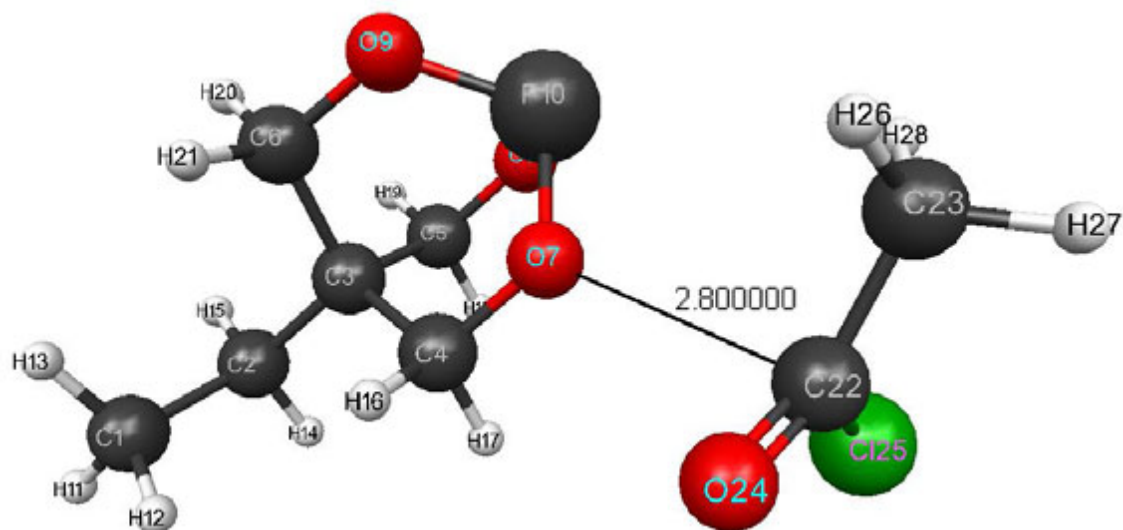
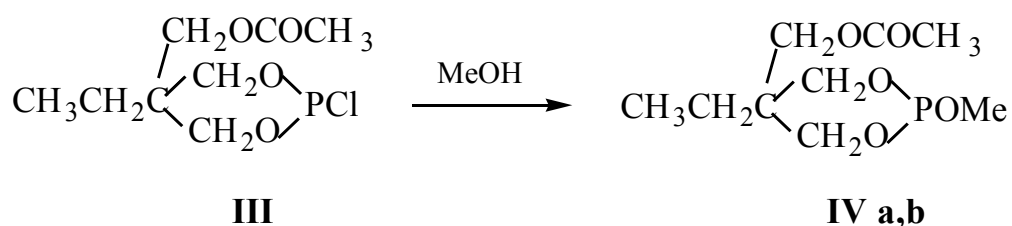


Рис. 1. Исходная модель взаимодействия 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октана (I) и ацетилхлорида (II). $R_{O_7C_{22}} = 2.8\text{Å}$

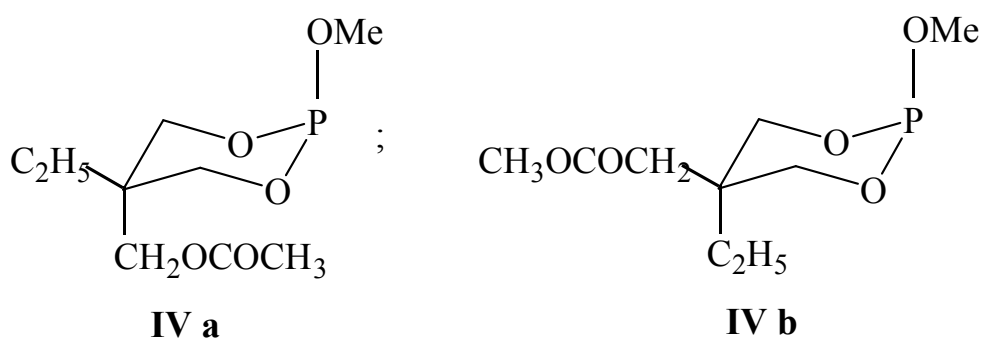
Экспериментальная часть. 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октан (I) при взаимодействии с хлорангидридом уксусной кислоты (II) не образует α -кетофосфонатов, а превращается без изменения валентности фосфора – в спектрах ЯМР $^{31}P\{-^1H\}$ фиксировали сигналы 148.8-149.0 м.д., характерные не для фосфонатов, а для 2-хлор-1,3,2-диоксафосфоринанов (III) [2]. Кроме того, установлено, что хлористый ацетил (II) при взаимодействии с 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октаном (I) образует смесь, содержащую 90% 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринана (III) в случае 36-часового выдерживания эквимольных количеств реагентов при 120°C в запаянной ампуле.

5-Ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринан (III) в условиях вакуумной перегонки разлагался, поэтому переводили его в средние фосфиты (IV a,b) обработкой спиртами. Так, при реакции 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,2,3-диоксафосфоринана (III) с метанолом были получены полные эфиры фосфористой кислоты (IV a,b):



Реакции проводили в абсолютном бензоле при 10°C в присутствии триэтиламина в качестве акцептора выделяющегося хлороводорода за 2 часа. При этом получали смесь изомеров (IV a,b), которые выделяли перегонкой в

вакууме с выходом до 70%. Вывод об образовании в ходе реакции именно таких изомеров был сделан на основании следующих фактов. Во-первых, в спектре ЯМР $^{31}\text{P}\{-^1\text{H}\}$ смеси изомеров (IV a,b) фиксировали один синглет с δ р 125.5 м.д. Во-вторых, при анализе ПМР спектров смеси продуктов (IV a,b) наблюдали факт спин-спинового взаимодействия экваториальных протонов при С4 и С6 фосфоринанового цикла с атомом фосфора. При этом оказалось, что $\text{KCCB } ^3\text{J}(\text{H-P})$ для соединения (IV a) и $\text{KCCB } ^3\text{J}(\text{H-P})$ для его изомера (IV b) были равны между собой и составляли 10.3 Гц, что указывает на аксиальное положение заместителей при атоме фосфора фосфоринанового цикла для обоих изомеров (IV a,b). Наличие же двух групп сигналов протонов этильного радикала (0.47 т, 0.80 кв и 0.74 т, 1.75 кв) и ацетилоксиметильного радикала (1.58 с, 3.51 с и 1.64 с, 4.49 с) позволило сделать вывод об образовании изомеров (IV a,b).



Спектры ЯМР ^1H растворов соединений (IV a,b) в дейтеробензоле записаны на приборе Bruker AM – 400 (400 МГц). Отнесение сигналов ^1H проведено на основании данных двойного магнитного резонанса. Спектры ЯМР $^{31}\text{P}\{-^1\text{H}\}$ (в импульсном режиме с последующим Фурье-преобразованием, развязкой от протонов и ^2H стабилизацией) растворов соединений (III, IV a,b) в бензоле получены на спектрометре Bruker WP-80SY (32.4 МГц) относительно внешнего стандарта 85%-ной фосфорной кислоты. Все синтезы с участием производных трехвалентного фосфора проводили в атмосфере сухого аргона.

5-Ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринан (III). 1,62 г 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октана (I) и 0.8 г ацетилхлорида (II) нагревали 36 часов при 120°C в запаянной ампуле. Спектр ЯМР ^{31}P (C_6H_6 , δ , м.д.): 149.0 с.

5-Ацетилоксиметил-2-метокси-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринаны (IV a, b). К 2.4 г неочищенного 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринана (III) в 20 мл абсолютного бензола добавляли при охлаждении (10 °C) 0.32 г сухого метанола и 1 г триэтиламина в 10 мл абсолютного бензола. Смесь выдерживали 2 часа, осадок фильтровали, растворитель отгоняли, а остаток перегоняли в вакууме. Выход соединений (IV a, b) 1.62 г (69%), т. кип. 80-81 °C (1мм рт. ст.), n_D^{20} 1.4615; R_f 0,55 (гексан-диоксан, 3:1). Спектр ПМР (C_6D_6 , δ , м.д.): для соединения (IV a): 0.47 т (3H, CH_3CH_2), 0.80 кв (2H, CH_3CH_2), 1.64 с (3H, CH_3CO), 3.27 д [3H, POCH_3 , $^3\text{J}(\text{HP})$ 11.8 Гц], 3.47 т, 4.06 д [4H, $\text{POCH}_2\text{CCH}_2\text{O}$], $^3\text{J}(\text{H}^a\text{P})$ 10.3 Гц, $^3\text{J}(\text{H}^b\text{P})$ 1.5 Гц, $^2\text{J}(\text{HH})$ 10.3 Гц], 4.49 с (2H, CH_2OCO);

для соединения (IV b): 0.74 т (3H, CH₃CH₂), 1.58 с (3H, CH₃CO), 1,75 кв (2H, CH₃CH₂), 3.29 д [3H, POCH₃, ³J (HP) 12.5 Гц], 3.38 т, 4.28 д [4H, POCH₂CCH₂O, ³J(H^eP) 10.3 Гц, ³J(H^aP) 1.5 Гц, ²J(HH) 10.3 Гц], 3.51 с (2H, CH₂OCO). Спектр ЯМР ³¹P (C₆H₆, δ, м.д.): 125.5 с. Найдено, %: С 45.62; Н 7.17; Р 13.09. C₉H₁₇O₅P. Вычислено, %: С 45.75; Н 7.25; Р 13.12.

Результаты расчетов. Оптимизированные геометрические параметры исходных моделей, полученные методом MNDO, промежуточного состояния системы (в самом ключевом положении – в момент отрыва атома Cl₂₅) и конечного сформировавшегося состояния молекулы 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринана (III) представлены на рис. 1–3.

Изменение длин связей, валентных углов, общей энергии всей молекулярной системы и зарядов на атомах вдоль координаты реакции R_{O7C22} с шагом 0.2Å представлены в работах [7]. Полученные значения энергий и графики потенциальной поверхности энергий представлены в табл. 2 и рис.5. Полученные результаты методом MNDO свидетельствуют о том, что никаких существенных изменений с системой исходных ингредиентов кроме взаимной ориентации друг относительно друга на ступенях 1-6 (R_{O7C22} изменяется от 2.8Å до 1.8Å) не происходит, из расчетов методом АВ INITIO видно, что ориентация происходит на ступенях 1-2, 1-6 (R_{O7C22}=2.8-2.7Å и R_{Cl25P10}=3.76-3.26 Å). В связи с этим определим эти стадии как стадии координации. На II стадии взаимодействия согласно методу MNDO (7-8 ступени, R_{O7C22} изменяется с 1.8Å до 1.4Å) происходит одновременный и почти полный разрыв двух связей C₂₂-Cl₂₅ и P₁₀-O₇, длины связей которых соответственно изменяются с 1.95Å до 4.42Å и с 1.6Å до 3,62 Å) соответственно (см. табл. 2), исходя же из расчетов методом АВ INITIO видно, что разрыв связи C₂₂-Cl₂₅ начинается уже с ступеней 3 по координате R_{O7C22}=2.6Å и ступени 7 по координате R_{Cl25P10}=3.16Å соответственно, а разрыв связи P₁₀-O₇ происходит начиная со ступени 12 по координате R_{O7C22}=1.7Å и ступени 12 по координате R_{Cl25P10}=2.66Å. В связи с этим определим эти стадии, как стадии разрыва связей. На последней третьей стадии атом Cl₂₅ ацетилхлорида (III) атакует атом P₁₀ 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октана (I), образуя ковалентную связь P₁₀-Cl₂₅ согласно методу MNDO (2.02Å) и согласно методу АВ INITIO (2.06 Å), а атом O₇ и C₂₂ образуют ковалентную связь O₇-C₂₂ (MNDO- 1.4Å, АВ INITIO- 1.36Å), определим ее, как конечную стадию получения 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринана (III) заканчивается формирование искомого продукта.

Кроме того, весьма полезно при этом было проследить за изменением зарядов на атомах непосредственно участвующих в реакции P₁₀, O₇, C₂₂ и Cl₂₅, полученных методом MNDO, а также изменением E₀ (общей энергии молекулярной системы) вдоль координаты реакции R_{O7C22} (см. рис. 4–5 и табл. 1), и изменение энергии полученной методом АВ INITIO в базисе 3-21 G представленной в табл. 5.

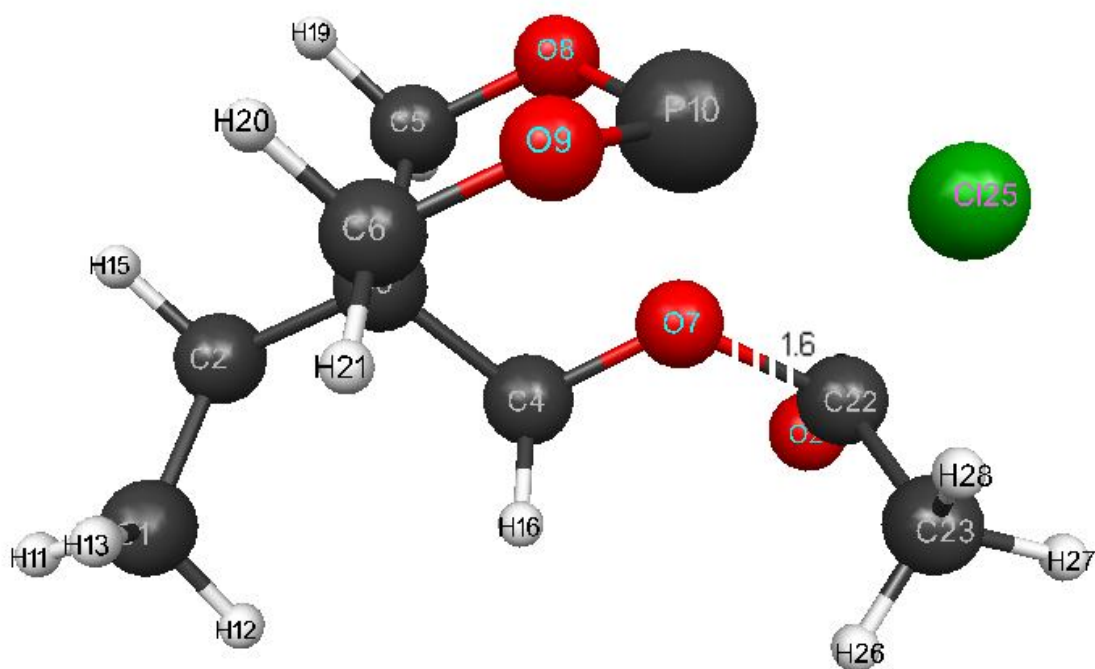


Рис. 2. Модель стадии разрыва связей (переходное состояние). $R_{O7C22} = 1.6\text{Å}$

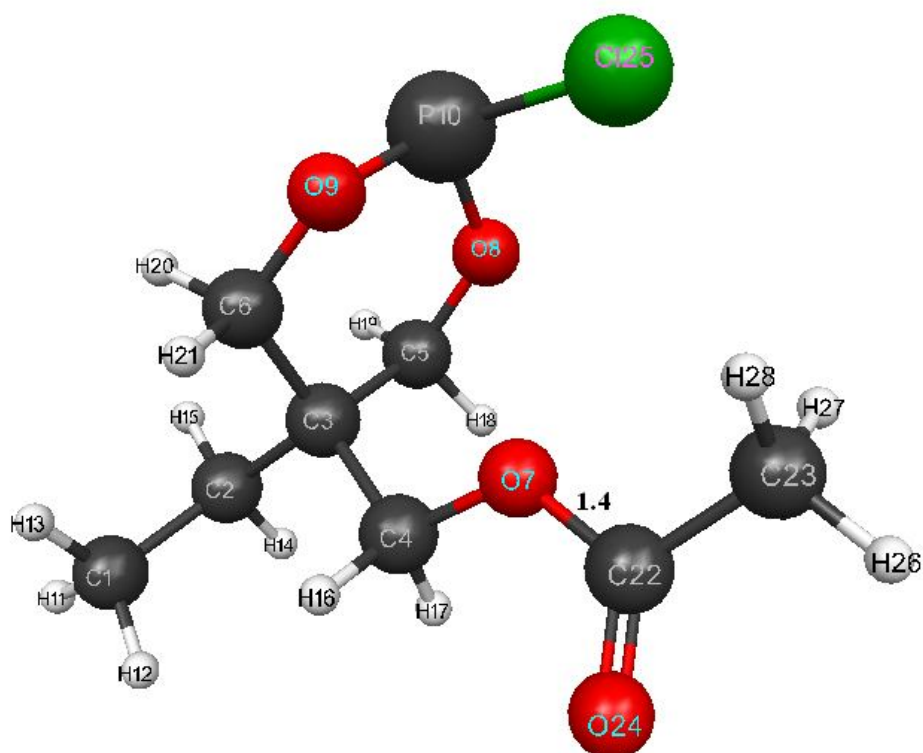


Рис. 3. Конечная модель – образование 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринана (III). $R_{O7C22} = 1.4\text{Å}$

Из приведенных графиков и таблиц видно, что реакция носит барьерный характер (см. рис. 4 и 5). Величина барьера согласно методу MNDO составляет 178 кДж/моль, а методу АВ INITIO 54 кДж/моль. При этом согласно методу MNDO положительные заряды на атомах P₁₀ и C₂₂ изменяются симбатно изменению E₀, достигая своих максимальных значений в момент разрыва связей C₂₂-Cl₂₅ и P₁₀-O₇, а отрицательные заряды на атомах O₇ и Cl₂₅ антибатны изменению E₀, также достигают своих максимальных значений (по модулю) в момент разрыва этих же связей.

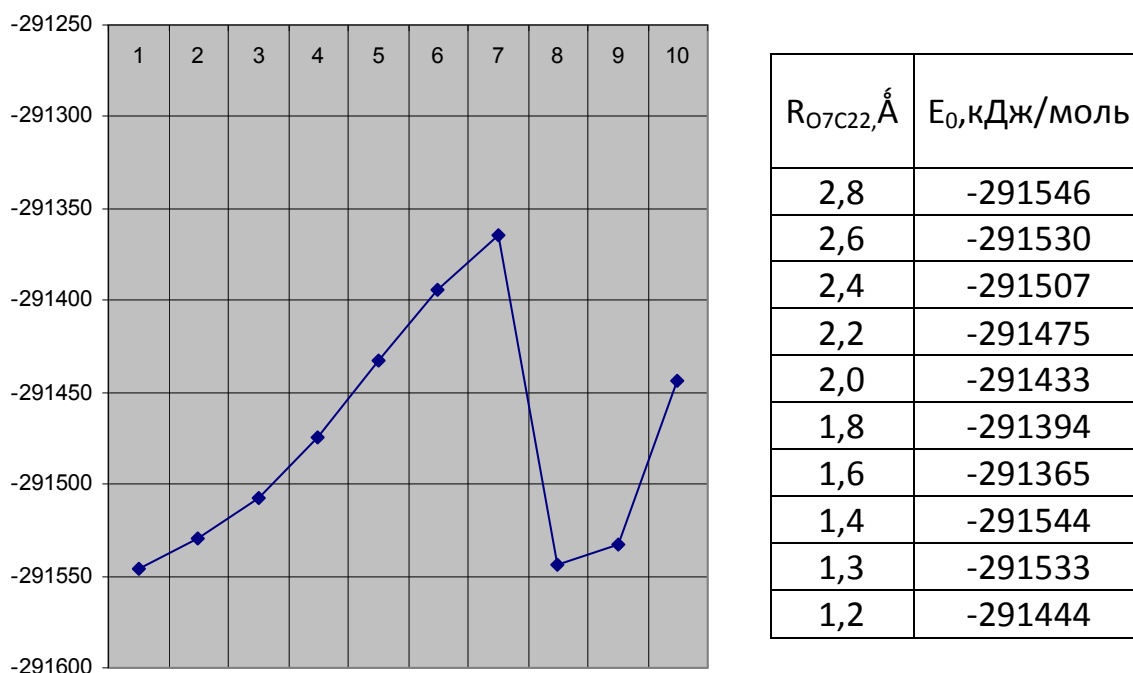


Рис. 4. Изменение общей энергии системы вдоль координаты реакции R_{07C22}

Анализируя изложенное выше (поведение атомов P₁₀, O₇, C₂₂ и Cl₂₅, изменение зарядов на этих атомах и энергетику реакции), можно констатировать, что механизм синтеза 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринана (III) представляет собой согласованный процесс с разрывом связей P₁₀-O₇ и C₂₂-Cl₂₅ и образованием новых связей P₁₀-Cl₂₅ и C₂₂-O₇. Эта реакция имеет все черты S_N2 нуклеофильного замещения.

Таким образом, нами впервые изучен механизм синтеза 5-ацетилоксиметил-2-хлор-5-этил-1,3,2-диоксафосфоринана (III) квантово-химическим полуэмпирическим методом MNDO и неэмпирическим методом АВ INITIO в базисе 3-21 G. Показано, что синтез этого соединения – результат согласованных взаимодействий ацетилхлорида (II) и 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октана (I) по схеме S_N2 нуклеофильного замещения. Установлено, что эта реакция эндотермична, что качественно согласуется с экспериментом и носит барьерный характер. Величина энергетического барьера изучаемой реакции 178 кДж/моль согласно методу MNDO и 54 кДж/моль согласно методу АВ INITIO в базисе 3-21G/.

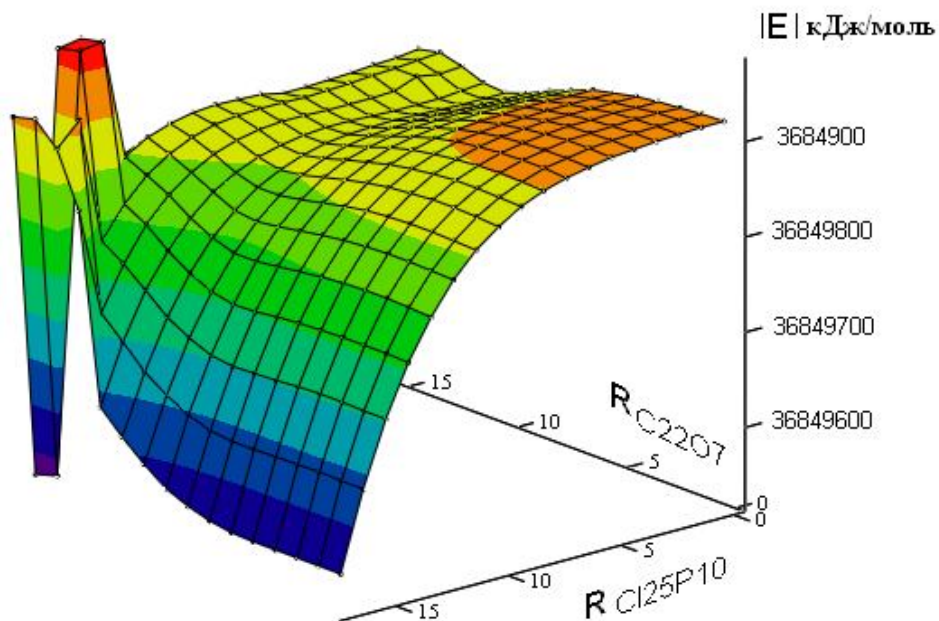


Рис. 5. График потенциальной поверхности энергий взаимодействия 2,6,7-триокса-4-этил-1-фосфабицикло[2.2.2]октана и ацетилхлорида

Таблица 2

Изменение энергий вдоль координат реакции $R_{O7C22}=2.8 \text{ \AA}$ и $R_{Cl25P10}=3.76 \text{ \AA}$

	2.96	2.86	2.76	2.66	2.56	2.46	2.36
2.8	3684899	3684889	3684874	3684856	3684831	3684798	3684757
2.7	3684900	3684890	3684876	3684857	3684832	3684800	3684758
2.6	3684901	3684891	3684877	3684858	3684833	3684801	3684758
2.5	3684900	3684891	3684877	3684858	3684833	3684801	3684758
2.4	3684898	3684889	3684875	3684857	3684832	3684800	3684757
2.3	3684895	3684886	3684873	3684855	3684830	3684798	3684756
2.2	3684891	3684882	3684869	3684851	3684827	3684795	3684754
2.1	3684885	3684876	3684864	3684846	3684823	3684792	3684751
2.0	3684877	3684870	3684858	3684841	3684819	3684789	3684750
1.9	3684870	3684863	3684852	3684837	3684816	3684789	3684755
1.8	3684864	3684858	3684849	3684837	3684819	3684797	3684766
1.7	3684864	3684860	3684854	3684844	3684830	3684809	3684781
1.6	3684870	3684868	3684863	3684855	3684842	3684825	3684800
1.5	3684875	3684874	3684871	3684864	3684853	3684837	3684813
1.4	3684876	3684877	3684875	3684870	3684862	3684848	3684975
1.3	3684846	3684847	3684847	3684843	3684837	3684937	3684970

Продолжение табл. 2

	3.26	3.16	3.06	2.96	2.86	2.76	2.66
2.8	3684915	3684911	3684906	3684899	3684889	3684874	3684856
2.7	3684916	3684912	3684908	3684900	3684890	3684876	3684857
2.6	3684916	3684912	3684908	3684901	3684891	3684877	3684858
2.5	3684914	3684911	3684907	3684900	3684891	3684877	3684858
2.4	3684911	3684909	3684905	3684898	3684889	3684875	3684857
2.3	3684907	3684905	3684902	3684895	3684886	3684873	3684855
2.2	3684902	3684900	3684897	3684891	3684882	3684869	3684851
2.1	3684895	3684893	3684890	3684885	3684876	3684864	3684846
2.0	3684886	3684885	3684882	3684877	3684870	3684858	3684841
1.9	3684877	3684876	3684874	3684870	3684863	3684852	3684837
1.8	3684869	3684868	3684867	3684864	3684858	3684849	3684837
1.7	3684865	3684866	3684866	3684864	3684860	3684854	3684844
1.6	3684869	3684869	3684870	3684870	3684868	3684863	3684855
1.5	3684875	3684874	3684875	3684875	3684874	3684871	3684864
1.4	3684870	3684870	3684875	3684876	3684877	3684875	3684870
1.3	3684837	3684838	3684843	3684846	3684847	3684847	3684843

Окончание табл. 2

	2.56	2.46	2.36	2.26	2.16	2.06
2.8	3684831	3684798	3684757	3684704	3684637	3684554
2.7	3684832	3684800	3684758	3684704	3684637	3684554
2.6	3684833	3684801	3684758	3684705	3684638	3684554
2.5	3684833	3684801	3684758	3684705	3684637	3684554
2.4	3684832	3684800	3684757	3684704	3684637	3684554
2.3	3684830	3684798	3684756	3684702	3684636	3684555
2.2	3684827	3684795	3684754	3684701	3684636	3684559
2.1	3684823	3684792	3684751	3684700	3684639	3684566
2.0	3684819	3684789	3684750	3684703	3684647	3684576
1.9	3684816	3684789	3684755	3684713	3684659	3684593
1.8	3684819	3684797	3684766	3684726	3684675	3684613
1.7	3684830	3684809	3684781	3684746	3684698	3684636
1.6	3684842	3684825	3684800	3684765	3684720	3684834
1.5	3684853	3684837	3684813	3684781	3684914	3684890
1.4	3684862	3684848	3684975	3684972	3684532	3684913
1.3	3684837	3684937	3684970	3684966	3684525	3684907

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынов И.В., Фетисов В.И., Соколов В.Б. Бициклические ортоэфирные кислоты фосфора / Итоги науки и техники. Серия органическая химия. ВИНТИ. 1989. Т. 11. — С. 1–113.
2. Нифантьев Э.Е., Предводителев Д.А., Савин Г.А. Ацилирование этириолфосфита. Первый случай О-ацилирования средних фосфитов // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. №4. — С. 905–908.
3. Кларк Т. Компьютерная химия. — М.: Мир, 1976. — 512 с.
4. Schmidt M.W., Baldrosge K.K., Elbert J.A. et al. // J. Computer Chem. 1993. Vol. 14, p. 1347-1363.
5. Vode B.M., Gordon M.S. // J. Mol. Graphics Mod. 1998. Vol. 16. — P. 133–138.
6. Бабкин В.А., Дмитриев В.Ю., Савин Г.А., Заиков Г.Е., Рахимов А.И. Квантово-химические аспекты механизма ацилирования бицикло-фосфитов хлорангидридами карбоновых кислот. Волгоград, изд-во «ВолГУ», 2011. — 91 с.
7. Бабкин В.А., Дмитриев В.Ю., Савин Г.А., Заиков Г.Е. Квантово-химическое исследование реакции прямого ацилирования бициклофосфитов ацилгалогенидами. Ижевск: «Химическая физика и мезоскопия», 2010, Т12, №4. — С. 553–563.

В.А. Бабкин, М.М. Неписов, Г.Е. Заиков

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ НЕКОТОРЫХ АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ ОЛЕФИНОВ И ДИОЛЕФИНОВ МЕТОДОМ MNDO

Институт биохимической физики РАН,
Себряковский филиал Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета

Впервые выполнен квантово-химический расчет некоторых алициклических олефинов и диолефинов: метиленциклогептана, цис-1,2-дивинилциклогексана, 2-аллил-1-метиленциклогексана методом MNDO. Получено оптимизированное по всем параметрам геометрическое и электронное строение этих соединений. Установлено, что все они обладают одинаковой кислотной силой. Теоретически оценена их кислотная сила ($pK_a=35-36$).

Цель работы и методическая часть. Целью настоящей работы является квантово-химический расчет некоторых молекул мономеров катионной полимеризации – алициклических олефинов и диолефинов (метиленциклогептан, цис-1,2-дивинилциклогексан, 2-аллил-1-метиленциклогексан) [1], из которых получают различные промышленно важные продукты – олигомеры, теломеры и полимеры, методом MNDO с оптимизацией геометрии по всем параметрам стандартным градиентным методом, встроенный в PC GAMESS [2], в приближении изолированной молекулы в газовой фазе и теоретическая оценка его ки-

слотной силы. Для визуального представления модели молекул использовалась известная программа MacMolPlt [3].

Результаты расчетов. Оптимизированные геометрические и электронные строение, общая энергия и электронная энергия молекул (метиленциклогептан, цис-1,2-дивинилциклогексан, 2-аллил-1-метиленциклогексан) полученные методом MNDO и показаны на рис. 1–3 и в табл. 1–4. Используя формулу $pK_a = 49,4 - 134,61 \cdot q_{\max}^{H^+}$ [4] которая с успехом использовалась, например в работах [5-16] (где pK_a - универсальный показатель кислотности, $q_{\max}^{H^+}$ -максимальный общий заряд на атоме водорода(по Милликену[1]) $R=0.96$, R -коэффициент корреляции, $q_{\max}^{H^+} = +0,4 \div +0.5$ (см. табл. 11.)) определяем значения pK_a для каждого мономера. Из табл. 11 видно, что все изучаемые мономеры обладают одинаковой и весьма слабой кислотной силой $pK_a=35-36$.

Заключение. Таким образом, нами впервые выполнен квантово-химический расчет некоторых молекул мономеров катионной полимеризации – алициклических олефинов и диолефинов (метиленциклогептан, цис-1,2-дивинилциклогексан, 2-аллил-1-метиленциклогексан) методом АВ INITIO в базисе 6-311G**. Получены оптимизированные геометрические и электронные строение этих соединений. Показано, что все они обладают одинаковой кислотной силой. Теоретически оценена их кислотная сила $pK_a=35-36$. Установлено, что некоторые изученные мономеры катионной полимеризации- алициклических олефины и диолефины относятся к классу очень слабых Н-кислот($pK_a > 14$).

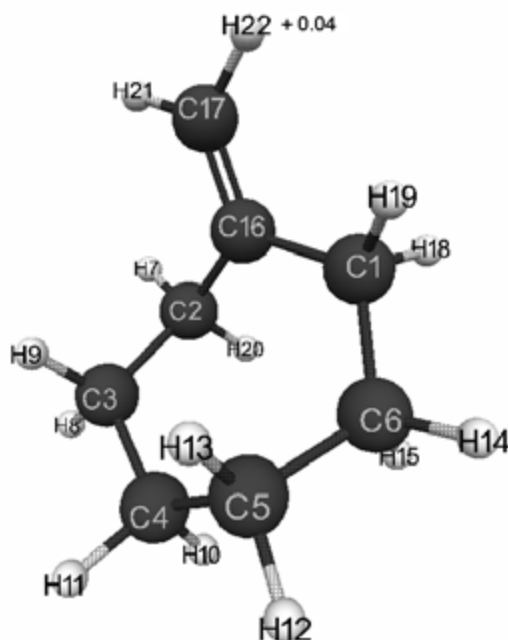


Рис. 1. Геометрическое и электронное строение молекулы метиленциклогептана ($E_0 = -117890$ кДж/моль)

Таблица 1

Оптимизированные длины связей, валентные углы
и заряды на атомах молекулы метиленциклогептана

Длины связей	R, А	Валентные углы	Град.	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(1)-C(16)	1.54	C(1)-C(2)-C(3)	106	C(1)	+0.04
C(3)-C(2)	1.54	C(2)-C(3)-C(4)	117	C(2)	+0.04
C(4)-C(3)	1.54	C(3)-C(4)-C(5)	117	C(3)	0.00
C(5)-C(4)	1.54	C(4)-C(5)-C(6)	116	C(4)	0.00
C(6)-C(5)	1.54	C(1)-C(2)-H(7)	137	C(5)	0.00
H(7)-C(2)	1.12	C(2)-C(3)-H(8)	108	C(6)	0.00
H(8)-C(3)	1.12	C(2)-C(3)-H(9)	109	H(7)	0.00
H(9)-C(3)	1.11	C(3)-C(4)-H(10)	109	H(8)	0.00
H(10)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(11)	108	H(9)	+0.01
H(11)-C(4)	1.12	C(4)-C(5)-H(12)	107	H(10)	0.00
H(12)-C(5)	1.12	C(4)-C(5)-H(13)	110	H(11)	0.00
H(13)-C(5)	1.11	C(5)-C(6)-H(14)	108	H(12)	0.00
H(14)-C(6)	1.12	C(5)-C(6)-H(15)	110	H(13)	+0.01
H(15)-C(6)	1.11	C(1)-C(2)-C(16)	211	H(14)	0.00
C(16)-C(2)	1.52	C(2)-C(16)-C(17)	121	H(15)	0.00
C(17)-C(16)	1.35	C(2)-C(1)-H(18)	105	C(16)	-0.15
H(18)-C(1)	1.12	C(2)-C(1)-H(19)	136	C(17)	-0.04
H(19)-C(1)	1.12	C(1)-C(2)-H(20)	267	H(18)	0.00
H(20)-C(2)	1.11	C(16)-C(17)-H(21)	124	H(19)	0.00
H(21)-C(17)	1.09	C(16)-C(17)-H(22)	124	H(20)	+0.01
H(22)-C(17)	1.09			H(21)	+0.04
				H(22)	+0.04

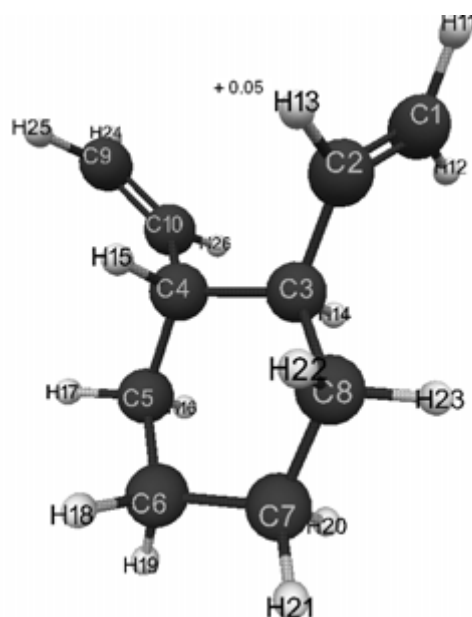


Рис. 2. Геометрическое и электронное строение молекулы цис-1,2-дивинилциклогексана ($E_0 = -145203$ кДж/моль)

Таблица 2

Оптимизированные длины связей, валентные углы
и заряды атомов молекулы цис-1,2-дивинилциклогексана

Длины связей	R, А	Валентные углы	Град.	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.34	C(1)-C(2)-C(3)	126	C(1)	-0.06
C(3)-C(2)	1.51	C(7)-C(8)-C(3)	114	C(2)	-0.11
C(3)-C(8)	1.55	C(2)-C(3)-C(4)	112	C(3)	0.00
C(4)-C(3)	1.57	C(9)-C(10)-C(4)	126	C(4)	+0.01
C(4)-C(10)	1.51	C(3)-C(4)-C(5)	112	C(5)	0.00
C(5)-C(4)	1.55	C(4)-C(5)-C(6)	114	C(6)	-0.01
C(6)-C(5)	1.54	C(5)-C(6)-C(7)	114	C(7)	-0.01
C(7)-C(6)	1.54	C(6)-C(7)-C(8)	114	C(8)	0.00
C(8)-C(7)	1.54	C(3)-C(4)-C(9)	126	C(9)	-0.06
C(10)-C(9)	1.34	C(2)-C(1)-H(11)	122	H(11)	+0.04
H(11)-C(1)	1.09	C(2)-C(1)-H(12)	125	H(12)	+0.04
H(12)-C(1)	1.09	C(1)-C(2)-H(13)	119	H(13)	+0.05
H(13)-C(2)	1.10	C(2)-C(3)-H(14)	108	H(14)	+0.01
H(14)-C(3)	1.12	C(3)-C(4)-H(15)	107	H(15)	+0.01
H(15)-C(4)	1.12	C(4)-C(5)-H(16)	110	H(16)	+0.01
H(16)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(17)	109	H(17)	+0.01
H(17)-C(5)	1.11	C(5)-C(6)-H(18)	110	H(18)	+0.01
H(18)-C(6)	1.11	C(5)-C(6)-H(19)	109	H(19)	+0.01
H(19)-C(6)	1.11	C(6)-C(7)-H(20)	109	H(20)	+0.01
H(20)-C(7)	1.11	C(6)-C(7)-H(21)	109	H(21)	+0.01
H(21)-C(7)	1.11	C(7)-C(8)-H(22)	109	H(22)	+0.01
H(22)-C(8)	1.11	C(7)-C(8)-H(23)	108	H(23)	+0.01
H(23)-C(8)	1.11	C(4)-C(9)-H(24)	151	H(24)	+0.04
H(24)-C(9)	1.09	C(4)-C(9)-H(25)	96	H(25)	+0.04
H(25)-C(9)	1.09	C(9)-C(10)-H(26)	119	H(26)	+0.05
H(26)-C(10)	1.10				

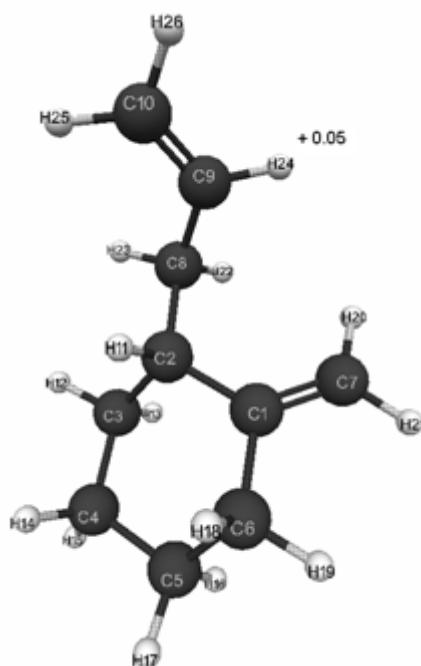


Рис. 3. Геометрическое и электронное строение молекулы 2-аллил-1-метиленциклогексана ($E_0 = -144978$ кДж/моль)

Таблица 3

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды атомов молекулы 2-аллил-1-метиленциклогексана

Длины связей	R, А	Валентные углы	Град.	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.53	C(1)-C(2)-C(3)	109	C(1)	-0.14
C(3)-C(2)	1.56	C(2)-C(3)-C(4)	114	C(2)	+0.01
C(4)-C(3)	1.54	C(3)-C(4)-C(5)	114	C(3)	0.00
C(5)-C(4)	1.54	C(1)-C(6)-C(5)	113	C(4)	-0.01
C(5)-C(6)	1.54	C(2)-C(1)-C(6)	113	C(5)	-0.01
C(6)-C(1)	1.52	C(2)-C(1)-C(7)	127	C(6)	+0.04
C(7)-C(1)	1.35	C(1)-C(2)-C(8)	118	C(7)	-0.03
C(8)-C(2)	1.56	C(2)-C(8)-C(9)	115	C(8)	+0.04
C(9)-C(8)	1.51	C(8)-C(9)-C(10)	127	C(9)	-0.12
C(10)-C(9)	1.34	C(1)-C(2)-H(11)	106	C(10)	-0.05
H(11)-C(2)	1.12	C(2)-C(3)-H(12)	110	H(11)	+0.01
H(12)-C(3)	1.11	C(2)-C(3)-H(13)	110	H(12)	0.00
H(13)-C(3)	1.11	C(3)-C(4)-H(14)	109	H(13)	+0.01
H(14)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(15)	109	H(14)	0.00
H(15)-C(4)	1.11	C(4)-C(5)-H(16)	109	H(15)	+0.01
H(16)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(17)	109	H(16)	+0.01
H(17)-C(5)	1.11	C(1)-C(6)-H(18)	109	H(17)	0.00
H(18)-C(6)	1.12	C(1)-C(6)-H(19)	111	H(18)	+0.01

Длины связей	R, А	Валентные углы	Град.	Атом	Заряды на атомах молекулы
H(19)-C(6)	1.11	C(1)-C(7)-H(20)	125	H(19)	0.00
H(20)-C(7)	1.09	C(1)-C(7)-H(21)	123	H(20)	+0.04
H(21)-C(7)	1.09	C(2)-C(8)-H(22)	110	H(21)	+0.04
H(22)-C(8)	1.11	C(2)-C(8)-H(23)	109	H(22)	+0.01
H(23)-C(8)	1.12	C(8)-C(9)-H(24)	115	H(23)	0.00
H(24)-C(9)	1.10	C(9)-C(10)-H(25)	124	H(24)	+0.05
H(25)-C(10)	1.09	C(9)-C(10)-H(26)	122	H(25)	+0.04
H(26)-C(10)	1.09			H(26)	+0.04

Таблица 4

Общая энергия (E_0), максимальный заряд на атоме водорода (q_H^{\max}), универсальный показатель кислотности (pKa)

№	Мономеры	E_0 , кДж/моль	$q_{\max, H}$	pKa
1	метиленциклогептан	-117890	+0,04	36
2	цис-1,2-дивинилциклогексан	-145203	+0,05	35
3	2-аллил-1-метиленциклогексан	-144978	+0,05	35

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кеннеди Дж. Катионная полимеризация олефинов. – М., 1978. — 431 с.
2. Shmidt M.W., Baldrosge K.K., Elbert J.A., Gordon M.S., Enseh J.H., Koseki S., Matsvnaga N., Nguyen K.A., SU S.J. and anothers. J. Comput. Chem. 14, 1993. — P. 1347–1363.
3. Bode B.M. and Gordon M.S. J. Mol. Graphics Mod., 16, 1998. — P. 133-138.
4. Babkin V.A., Fedunov R.G., Minsker K.S. and anothers. Oxidation communication, 2002, №1, 25. — P. 21–47.
5. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule hexene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 93–95.
6. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule heptene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 95–97.
7. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule decene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, c. Volgograd, 2010. — P. 97–99.
8. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule nonene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 99–102.

9. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule isobutylene by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 176–177.

10. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 177–179.

11. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutene-2 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 179–180.

12. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylpentene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 181–182.

13. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule butene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 89–90.

14. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule hexene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 93–95.

15. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule octene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 103–105.

16. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule pentene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 105–107.

В.А. Бабкин, А.А. Пристансков, Г.Е. Заиков

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КИСЛОТНОЙ СИЛЫ И КВАНТОВОХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕКОТОРЫХ АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ ОЛЕФИНОВ

Институт биохимической физики РАН,
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волгоградский государственный педагогический университет

Впервые выполнен квантово-химический расчет молекул некоторых алициклических олефинов циклопентена, 3-метилциклопентена, 1-метилциклопентена, метилциклопентана, винилциклопентана методом MNDO. Получено оптимизированное по всем параметрам геометрическое и электронное строение этих соединений. Установлено, что все они обладают одинаковой кислотной силой. Теоретически оценена их кислотная сила ($pK_a=+31-+36$).

Цель работы и методическая часть. Алициклические олефины являются классическими мономерами катионной полимеризации из которых получают различные промышленно важные продукты – олигомеры, теломеры и полимеры. Например, при обработки метилциклопентана $AlCl_3$ в

растворе этил хлорида при температуре -135°C образуется жидкий продукт – триммер [1–2]. В работе [3] Шмитт Г., Шуерх С. описывали высоковакуумные эксперименты, в ходе которых 1-метилциклопентен контактировал с BF_3 и комплексами $[\text{BF}_3 - \text{камфара}]$ в растворах н-гексана и хлороформа при 0°C . Во всех случаях шла полимеризация с образованием вязкого маслянистого продукта [1, 3]. Также циклопентен легко олигомеризуется в присутствии BF_3 и небольшого количества HF додимеров, триммеров и тетроммеров, а также до прозрачных, твёрдых янтарных смол [1, 4]. Однако, циклопентен не полимеризуется по обычной катионной схеме [6] или в лучшем случае образуют димеры [4], его триметильное производное (3-метилциклопентен) медленно полимеризуется с образованием полимера содержащего необычные мономерные звенья, что очевидно сопровождается внутримолекулярным переносом гидрид иона [1, 4, 6]. Полимеризацию винилциклопентана изучали в ходе работы [5] по изомеризационной полимеризации. Авторы этой работы установили, что при полимеризации в присутствии AlBr_3 в этилхлориде при температуре от -78 до 100°C образуются продукты низкого молекулярного веса ($M_n=950$, СП – 10) с температурами размягчения $55\text{--}58^{\circ}\text{C}$. Интересно, что по данным ИК-спектроскопии в процессе полимеризации не происходит изомеризации и полимер содержит только обычные 1, 2 – звенья [1, 4]. Несмотря на то, что сами алициклические олефины были синтезированы и полимеризованы ещё в прошлом веке, до сих пор не изучено их геометрическое электронное строение методами квантовой химии, а также не оценена кислотная сила, которая является одним из важных критериев при проведении катионных процессов.

В связи с этим, целью настоящей работы является квантово-химический расчет молекул (циклопентен, 3-метилциклопентен, 1-метилциклопентен, метилциклопентан, винилциклопентан) методом MNDO с оптимизацией геометрии по всем параметрам стандартным градиентным методом встроенным в PC GAMESS [7], в приближении изолированной молекулы в газовой фазе и теоретическая оценка их кислотной силы. Для визуального представления модели молекулы использовалась известная программа MacMolPlt [8].

Результаты расчетов. Оптимизированное геометрическое и электронное строение, общая энергия и электронная энергия молекул (циклопентен, 3-метилциклопентен, 1-метилциклопентен, метилциклопентан, винилциклопентан) получены методом MNDO и показаны на рис. 1–5 и в табл. 1–6. Используя известную формулу $\text{pKa}=42.11-147.18q_{\text{max}}^{\text{H}^+}$ [9] ($0,04 \leq q_{\text{max}}^{\text{H}^+} \leq 0,07$ – максимальный заряд на атоме водорода, pKa- универсальный показатель кислотности) с успехом используемая, например в работах [12–42] находим значение кислотной силы равные $31 \leq \text{pKa} \leq 36$.

Закключение. Таким образом, нами впервые выполнен квантово-химический расчет молекул циклопентен, 3-метилциклопентен, 1-

метилциклопентен, метилциклопентан, винилциклопентан методом MNDO. Получено оптимизированное геометрическое и электронное строение этих соединений. Теоретически оценена их кислотная сила $31 \leq pK_a \leq 36$. Установлено, что циклопентен, 3-метилциклопентен, 1-метилциклопентен, метилциклопентан, винилциклопентан относятся к классу очень слабых Н-кислот ($pK_a > 14$).

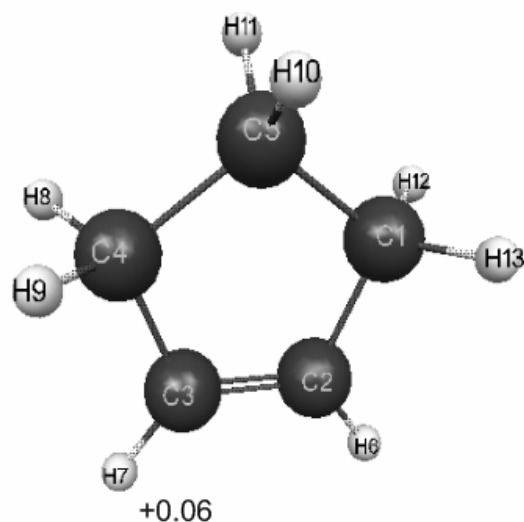


Рис. 1. Геометрическое и электронное строение молекулы циклопентена ($E_0 = -72571$ кДж/моль, $E_{эл} = -280292$ кДж/моль)

Таблица 1

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы циклопентена

Длины связей	R, А	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.51	C(1)-C(2)-C(3)	112	C(1)	0.01
C(3)-C(2)	1.35	C(2)-C(3)-C(4)	112	C(2)	-0.10
C(4)-C(3)	1.51	C(3)-C(4)-C(5)	105	C(3)	-0.10
C(5)-C(1)	1.55	C(4)-C(5)-C(1)	106	C(4)	0.01
C(4)-C(5)	1.55	C(5)-C(1)-C(2)	105	C(5)	0.04
H(6)-C(2)	1.08	C(3)-C(2)-H(6)	127	H(6)	0.06
H(7)-C(3)	1.08	C(2)-C(3)-H(7)	127	H(7)	+0.06
H(9)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(8)	111	H(8)	0.01
H(8)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(9)	111	H(9)	0.01
H(10)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(10)	111	H(10)	0.009
H(11)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(11)	111	H(11)	0.009
H(13)-C(1)	1.11	C(5)-C(1)-H(13)	112	H(12)	0.01
H(12)-C(1)	1.11	C(5)-C(1)-H(12)	112	H(13)	0.01

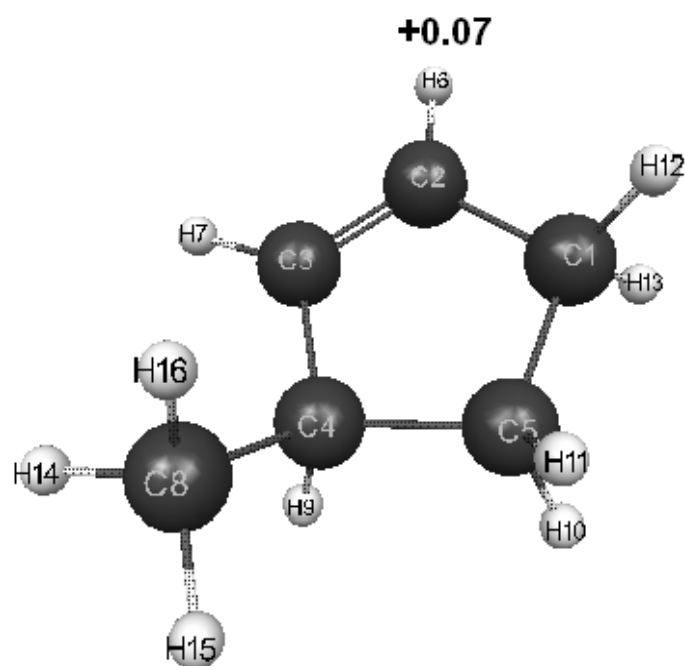


Рис. 2. Геометрическое и электронное строение молекулы 3-метилциклопентена ($E_0 = -87646$ кДж/моль, $E_{эл} = -376940$ кДж/моль)

Таблица 2

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы 3-метилциклопентена

Длины связей	R,Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.51	C(1)-C(2)-C(3)	112	C(1)	0.01
C(3)-C(2)	1.35	C(2)-C(3)-C(4)	113	C(2)	-0.11
C(4)-C(3)	1.52	C(3)-C(4)-C(5)	104	C(3)	-0.09
C(5)-C(1)	1.55	C(4)-C(5)-C(1)	107	C(4)	-0.03
C(4)-C(5)	1.56	C(5)-C(1)-C(2)	105	C(5)	-0.01
C(4)-C(8)	1,53	C(8)-C(4)-C(5)	115	H(6)	+0.07
H(6)-C(2)	1.08	C(8)-C(4)-C(3)	114	H(7)	0.07
H(7)-C(3)	1.08	C(3)-C(2)-H(6)	127	C(8)	0.05
H(9)-C(4)	1.12	C(2)-C(3)-H(7)	127	H(9)	0.02
H(10)-C(5)	1.11	C(3)-C(4)-H(9)	108	H(10)	0.01
H(11)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(10)	112	H(11)	0.01
H(13)-C(1)	1.11	C(4)-C(5)-H(11)	112	H(12)	0.01
H(12)-C(1)	1.11	C(5)-C(1)-H(13)	112	H(13)	0.01
H(14)-C(8)	1,11	C(5)-C(1)-H(12)	112	H(14)	-0.01
H(15)-C(8)	1,11	C(4)-C(8)-H(14)	111	H(15)	-0.01
H(16)-C(8)	1,11	C(4)-C(8)-H(15)	111	H(16)	-0.01
		C(4)-C(8)-H(16)	112		

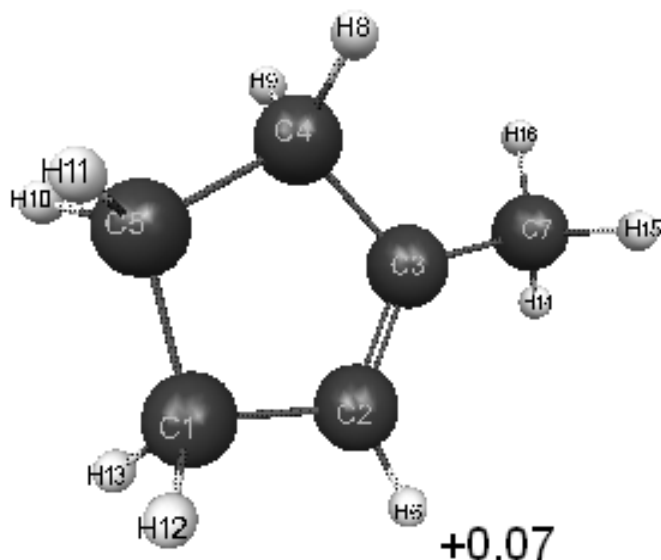


Рис. 3. Геометрическое и электронное строение молекулы 1-метилциклопентена ($E_0 = -87673 \text{ кДж/моль}$, $E_{эл} = -374613 \text{ кДж/моль}$)

Таблица 3

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы 1-метилциклопентена

Длины связей	R, Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.51	C(1)-C(2)-C(3)	113	C(1)	0.01
C(3)-C(2)	1.36	C(2)-C(3)-C(4)	111	C(2)	-0.08
C(4)-C(3)	1.52	C(3)-C(4)-C(5)	105	C(3)	-0.15
C(5)-C(1)	1.55	C(4)-C(5)-C(1)	106	C(4)	0.03
C(4)-C(5)	1.55	C(5)-C(1)-C(2)	105	C(5)	-0.02
H(6)-C(2)	1.08	C(4)-C(3)-C(7)	122	H(6)	+0.07
H(9)-C(4)	1.11	C(2)-C(3)-C(7)	128	C(7)	0.09
H(8)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(8)	111	H(8)	0.01
H(10)-C(5)	1.11	C(3)-C(4)-H(9)	111	H(9)	0.01
H(11)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(10)	111	H(10)	0.01
H(13)-C(1)	1.11	C(4)-C(5)-H(11)	111	H(11)	0.01
H(12)-C(1)	1.11	C(5)-C(1)-H(13)	112	H(12)	0.01
C(3)-C(7)	1,49	C(5)-C(1)-H(12)	112	H(13)	0.01
C(7)-H(15)	1,11	C(3)-C(2)-H(6)	127	H(14)	-0.01
C(7)-H(15)	1,11	C(3)-C(7)-H(14)	112	H(15)	-0.01
C(7)-H(15)	1,11	C(3)-C(7)-H(15)	111	H(16)	-0.01
		C(3)-C(7)-H(16)	112		

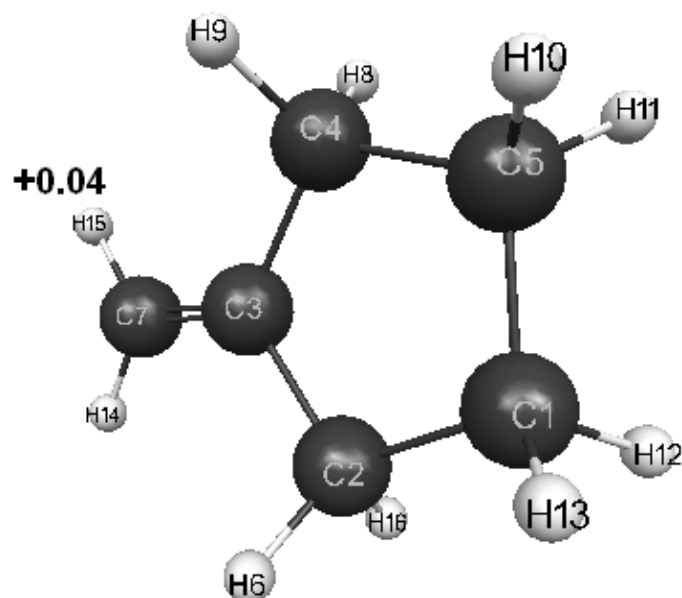


Рис. 4. Геометрическое и электронное строение молекулы метилциклопентана ($E_0 = -87668$ кДж/моль, $E_{эл} = -376027$ кДж/моль)

Таблица 4

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы метилциклопентана

Длины связей	R,Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.54	C(1)-C(2)-C(3)	107	C(1)	-0.01
C(3)-C(2)	1.52	C(2)-C(3)-C(4)	110	C(2)	0.03
C(4)-C(3)	1.52	C(3)-C(4)-C(5)	107	C(3)	-0.15
C(5)-C(1)	1.54	C(4)-C(5)-C(1)	108	C(4)	0.03
C(4)-C(5)	1.54	C(5)-C(1)-C(2)	108	C(5)	-0.02
H(6)-C(2)	1.11	C(3)-C(2)-C(7)	125	H(6)	0.01
H(16)-C(2)	1.11	C(2)-C(3)-C(7)	125	C(7)	-0.03
H(9)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(8)	111	H(8)	0.01
H(8)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(9)	111	H(9)	0.01
H(10)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(10)	111	H(10)	0.01
H(11)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(11)	111	H(11)	0.01
H(13)-C(1)	1.11	C(5)-C(1)-H(13)	112	H(12)	0.01
H(12)-C(1)	1,11	C(5)-C(1)-H(12)	111	H(13)	0.01
H(15)-C(7)	1,09	C(3)-C(7)-H(15)	123	H(14)	0.04
H(14)-C(7)	1,09	C(3)-C(7)-H(14)	123	H(15)	+0.04
C(3)-C(7)	1,34			H(16)	0.01

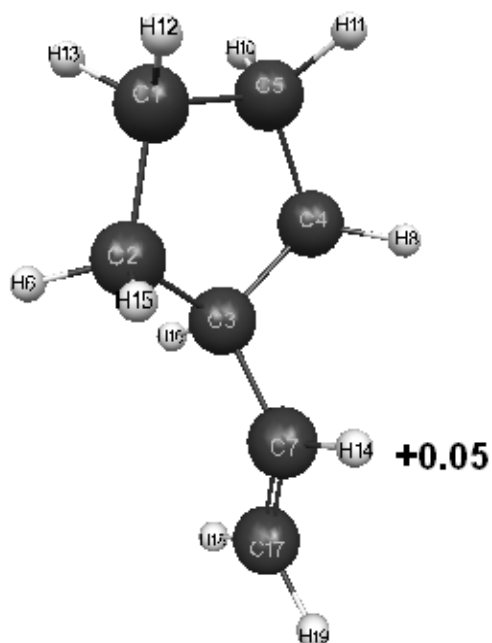


Рис. 5. Геометрическое и электронное строение молекулы винилциклопентана ($E_0 = -102724$ кДж/моль, $E_{эл} = -479207$ кДж/моль)

Таблица 5

Оптимизированные длины связей, валентные углы и заряды на атомах молекулы винилциклопентана

Длины связей	R,Å	Валентные углы	Град	Атом	Заряды на атомах молекулы
C(2)-C(1)	1.54	C(1)-C(2)-C(3)	108	C(1)	-0.02
C(3)-C(2)	1.55	C(2)-C(3)-C(4)	107	C(2)	-0.01
C(4)-C(3)	1.55	C(3)-C(4)-C(5)	108	C(3)	-0.01
C(5)-C(1)	1.54	C(4)-C(5)-C(1)	108	C(4)	-0.01
C(4)-C(5)	1.54	C(5)-C(1)-C(2)	108	C(5)	-0.02
H(6)-C(2)	1.11	C(4)-C(3)-C(7)	114	H(6)	0.01
H(15)-C(2)	1.11	C(2)-C(3)-C(7)	114	C(7)	-0.10
H(9)-C(4)	1.11	C(3)-C(7)-C(17)	126	H(8)	0.01
H(8)-C(4)	1.11	C(3)-C(4)-H(9)	110	H(9)	0.01
H(10)-C(5)	1.11	C(3)-C(4)-H(8)	112	H(10)	0.01
H(11)-C(5)	1.11	C(4)-C(5)-H(10)	111	H(11)	0.01
H(13)-C(1)	1.11	C(4)-C(5)-H(11)	111	H(12)	0.01
H(12)-C(1)	1,11	C(5)-C(1)-H(13)	111	H(13)	0.01
C(3)-C(7)	1,51	C(5)-C(1)-H(12)	111	H(14)	+0.05
C(3)-C(16)	1,12	C(3)-C(7)-H(14)	115	H(15)	0.01
C(7)-H(14)	1,10	C(7)-C(3)-H(16)	109	H(16)	0.01
C(7)-C(17)	1,34	C(7)-C(17)-H(18)	125	C(17)	-0.06
H(18)-C(17)	1,09	C(7)-C(17)-H(19)	122	H(18)	0.04
H(19)-C(17)	1,09			H(19)	0.04

Таблица 6

Общая энергия (E_0), суммарная энергия связей ($E_{эл}$),
максимальный заряд на атоме водорода ($q_{\max}^{H^+}$) универсальный
показатель кислотности pK_a , алициклических олефинов

№ п/п	Алициклические олефины	$-E_0$ кДж/моль	$-E_{эл}$ кДж/моль	$q_{\max}^{H^+}$	pK_a
1	1-метилциклопентен	87673	374613	0,07	31
2	3-метилциклопентен	87646	376940	0,07	31
3	циклопентен	72571	280292	0,06	33
4	винилциклопентан	102724	479207	0,05	35
5	метилциклопентан	87668	376027	0,04	36

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кеннеди Дж.* Катионная полимеризация олефинов. – М., 1978. — 431 с.
2. *Van Lohuizen O.E., De Vries K.S.* J. Polymer Sci., C16, 3943, 1968.
3. *Schmitt G.J., Schuerch C. J.* Polymer Sci., 49, 287, 1961.
4. *Hoffman F.* Chem. Ztg., 57,5, 1933.
5. *Ketley A.D., Ehrig R.J.* J. Polymer Sci., A, 2, 4461, 1964.
6. *Boor J., Youngman E.A., Dimbat M.* Makromol. Chem., 90, 26, 1966.
7. *Shmidt M.W., Baldrosge K.K., Elbert J.A., Gordon M.S., Enseh J.H., Koseki S., Matsvnaga N., Nguyen K.A., SU S.J. and anothers.* J. Comput. Chem. 14, 1993. — P. 1347–1363.
8. *Bode B.M. and Gordon M.S.* J. Mol. Graphics Mod., 16, 1998. — P. 133-138.
9. *Babkin V.A., Fedunov R.G., Minsker K.S. and anothers.* Oxidation communication, 2002, №1, 25. — P. 21–47.
11. *Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E.* Quantum chemical calculation of molecule hexene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 93–95.
12. *Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E.* Quantum chemical calculation of molecule heptene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 95–97.
13. *Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E.* Quantum chemical calculation of molecule decene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, c. Volgograd, 2010. — P. 97–99.
14. *Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E.* Quantum chemical calculation of molecule nonene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 99–102.
15. *Babkin V.A., Andreev D.S.* Quantum chemical calculation of molecule isobutylene by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 176–177.
16. *Babkin V.A., Andreev D.S.* Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 177–179.

17. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutene-2 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 179–180.
18. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylpentene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 181–182.
19. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule butene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 89–90.
20. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule hexene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 93–95.
21. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule octene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 103–105.
22. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule pentene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 105–107.
23. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule propene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 107–108.
24. Babkin V.A., Dmitriev V.Yu., Zaikov G.E. Quantum chemical calculation of molecule ethylene-1 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 108–109.
25. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule butadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 235–236.
26. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-methylbutadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 236–238.
27. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2,3-dimethylbutadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 238–239.
28. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule pentadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 240–241.
29. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule trans-trans-hexadien-2,4 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 241–243.
30. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule cis-trans-hexadien-2,4 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 243–245.
31. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule cis-cis-hexadien-2,4 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 245–246.
32. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule trans-2-methylpentadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 247–248.

33. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule trans-3-methylpentadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 249–250.

34. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule cis-3-methylpentadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 251–252.

35. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 4-methylpentadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 252–254.

36. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule cis-3-methylpentadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 254–256.

37. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 1,1,4,4-tetramethylbutadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 256–258.

38. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 2-phenylbutadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 260–262.

39. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule 1-phenyl-4-methylbutadien-1,3 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 262–264.

41. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule chloropren by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 264–265.

42. Babkin V.A., Andreev D.S. Quantum chemical calculation of molecule trans-hexathrien-1,3,5 by method MNDO. In book: Quantum chemical calculation of unique molecular system. Vol. I. Publisher VolSU, Volgograd, 2010. — P. 266–267.

Н.Г. Балибардина

ПРАВОВОЙ РЕЖИМ ОБЪЕКТОВ НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Себряковский филиал Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета

Выбор данной темы связан с тем, что для изучения и анализа интересны в первую очередь те институты, которые находят широкое практическое применение в повседневной жизни, в которые сама практика вносит много неразрешенных вопросов, которые тесно связаны с нормами и институтами других отраслей права. Все вышесказанное относится в полной мере к объектам незавершенного строительства.

Строительство составляет особую отрасль материального производства [3]. Она отличается тем, что в этом случае конечный продукт представляет собой недвижимость по ее природе: создаваемые и подготовленные

к вводу объекты, которые, пользуясь терминологией ст. 130 ГК РФ, прочно связаны с землей, и по этой причине «перемещение... невозможно без несоразмерного ущерба их назначению» [1].

На протяжении ряда лет вопрос о правовом режиме объектов незавершенного строительства носил дискуссионный характер. Пробелы в законодательстве, несовершенство юридической доктрины применительно к объектам незавершенного строительства – все это негативно сказывалось на стабильности гражданского оборота. Количество споров в отношении объектов незавершенного строительства неуклонно росло, а законодатель не предпринимал шагов для устранения возникающих противоречий. При рассмотрении споров суды фактически были вынуждены самостоятельно разрабатывать правовой режим объектов незавершенного строительства, устраняя пробелы в законодательстве.

В настоящее время сомнения в том, что объект незавершенного строительства является недвижимым имуществом, а не набором строительных материалов, уже отпали. Гражданский кодекс РФ прямо указал на то, что объекты незавершенного строительства относятся к недвижимым вещам (пункт 1 статьи 130 ГК РФ). Однако четкое определение данного объекта в законодательстве отсутствует. Предполагается, что объектом незавершенного строительства является недвижимая вещь в виде незаконченного строительством объекта (находящегося в процессе строительства), прочно связанного с землей, перемещение которого без соразмерного ущерба его назначению невозможно и который имеет ряд особенностей, в частности, не является предметом действующего договора строительного подряда.

Анализируя законодательство и правоприменительную практику, можно выделить общие признаки объекта незавершенного строительства как недвижимого имущества и специальные признаки, позволяющие отграничить его от других недвижимых объектов.

Объект незавершенного строительства должен отвечать двум признакам:

- 1) объект, прочно связанный с землей;
- 2) его перемещение невозможно без несоразмерного ущерба его назначению (ст. 130 ГК).

В соответствии с п. 1 ст. 130 ГК выделяют три типа недвижимости:

- 1) «недвижимость по природе» (земля, участки недр);
- 2) «недвижимость по закону» (движимые вещи, которые законодатель отнес к недвижимости: воздушные и морские суда, суда внутреннего плавания, космические объекты);
- 3) объекты, прочно связанные с землей, перемещение которых невозможно без несоразмерного ущерба их назначению (леса, многолетние насаждения, здания, сооружения).

Объект незавершенного строительства причислен к третьему типу. Кроме того, характеристика объекта недвижимости сводится не только к указанным двум признакам: помимо фактических признаков, он должен быть прямо введен в гражданский оборот.

Таким образом, для признания объекта незавершенного строительства недвижимым имуществом необходимо одновременно наличие трех признаков:

- 1) соответствие двум признакам по ст. 130 ГК РФ;
- 2) отсутствие разрешения на ввод объекта в эксплуатацию в установленном законодательством порядке;
- 3) создание или реконструкция здания (сооружения).

Резюмируя изложенное, можно сформулировать следующее определение: «объект незавершенного строительства – это создаваемое или реконструируемое здание (сооружение) в установленном законодательством порядке, на которое отсутствует разрешение на ввод объекта в эксплуатацию».

В то же время отметим, что упорное нежелание законодателя ввести на уровне закона понятие объекта незавершенного строительства приводит к тому, что даже внесенные в статью 130 ГК РФ изменения нельзя оценивать как предпосылку к существенному изменению сложившейся судебной практики.

Практическим аспектом рассматриваемой проблематики является возможность совершения сделок с объектами незавершенного строительства.

Старая редакция п. 2 ст. 25 Закона о регистрации предполагала, что регистрировать право собственности на объект незавершенного строительства можно только в том случае, если с ним в дальнейшем предполагается совершить какую-либо сделку (например, купли-продажи, передачи в залог). Данная позиция была также подтверждена и судебной практикой. В п. 16 Информационного письма Президиума ВАС РФ от 16.02.2001 г. №59 «Обзор практики разрешения споров, связанных с применением федерального закона «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним» указано, что «право собственности на объект недвижимости, не завершённый строительством, подлежит регистрации *только* в случае, если он не является предметом действующего договора строительного подряда и при необходимости собственнику совершить с этим объектом сделку».

В новой редакции ст. 25 Закона о регистрации (Федеральный закон от 29.12.2004 г. № 196-ФЗ) указания на обязательное совершение сделки с объектом незавершенного строительства нет, поэтому, можно сделать вывод, что в настоящее время заинтересованное лицо может при желании зарегистрировать свое право собственности на объект незавершенного строительства и без намерения в дальнейшем совершить с ним сделку.

При определении перечня документов, необходимых для предоставления в регистрирующий орган нужно руководствоваться нормами Закона о регистрации (ст.ст. 17, 18, 25 Закона) и учитывать специфику данного объекта недвижимости.

Объект незавершенного строительства, право на который зарегистрировано в Едином государственном реестре прав, может быть предметом гражданско-правовых сделок: купли-продажи, дарения, мены и т.д. В этом случае право на объект будет регистрироваться на основании соответствующего договора об отчуждении имущества с представлением иных необходимых в соответствии с Законом о регистрации документов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гражданский кодекс РФ часть 1 № 51-ФЗ от 30.11.1994 г. в редакции ФЗ от 27.12.2009г. № 352-ФЗ. Федеральный закон РФ «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним» от 29.12.2004 г. № 196-ФЗ

2. Информационное письмо Президиума ВАС РФ от 16.02.2001 г. №59 «Обзор практики разрешения споров, связанных с применением федерального закона «О государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним»

3. Брагинский М.И., Витрянский В.В. Договорное право. Договоры о выполнении работ и оказании услуг (книга 3). Издательство «Статут», 2002.

А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, С.В. Казначеев, В.Т. Ерофеев

БИОСТОЙКИЕ КОМПОЗИТЫ КАРКАСНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛА

Мордовский государственный университет

Создание новых композиционных материалов, обеспечивающих улучшение их эксплуатационных показателей, повышение эффективности, снижение материалоемкости и трудоемкости изготовления – важнейшая задача в области строительного материаловедения. В настоящее время весьма актуальной является проблема комплексного применения местного сырья и отходов промышленных предприятий.

Специалистами Мордовского государственного университета были проведены исследования, направленные на получение вяжущих на основе отходов стекла, а также строительных композитов с его использованием [1, 2]. Основным компонентом вяжущего являлся бой стекла лампового производства, измельченный до дисперсности 3200–3500 см²/г.

Целью данных исследований является получение композиционных материалов каркасной структуры с применением в качестве матричного материала стеклощелочного связующего [3, 4]. Как известно, каркасные композиты, в отличие от материалов, изготавливаемых обычным смещи-

ванием компонентов, можно получать на комплексных связующих, когда для каркаса и для матрицы применяются различные, порой даже несовместимые при непосредственном перемешивании связующие. При этом за счет такого объединения в композите различных связующих в некоторых случаях достигается существенный эффект. Технология их изготовления включает предварительное создание оптимальных смесей заполнителей и склеивание зерен друг с другом с последующим заполнением пустот полученного каркаса матрицей. Такая технология способствует получению эффективных композитов с улучшенными эксплуатационными показателями, снижению расхода связующих и трудоемкости изготовления изделий.

На первом этапе были изготовлены образцы – каркасы, расход составляющих компонентов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Расход заполнителей на 100 мас. ч. различных связующих

Заполнитель	Расход заполнителей (мас. ч.) в зависимости от вида связующего	
	цементное	эпоксидное
Гранитный щебень	1500	2300
Известняковый щебень	650	2150

В качестве заполнителя в каркасах использовался гранитный щебень фракции 5–10 мм с насыпной плотностью 1400 кг/м^3 , маркой по прочности М1200 и известняковый щебень фракции 5–10 мм с насыпной плотностью 1250 кг/м^3 , маркой по прочности М 400.

При использовании в качестве клея каркаса цементного вяжущего водотвердое отношение было принято 0,5; при этом использовался цемент М500 Д0 производства ОАО «Мордовцемент». При использовании в качестве клея каркаса эпоксидного вяжущего применялся двухкомпонентный эпоксидный клей производства ООО «Экоклас» (Россия, Ростовская область).

Образцы изготавливались в металлических формах, которые перед укладкой смесей покрывались парафином. После укладки образцы в течение 1 сут. твердели при нормальных условиях. Затем каркасы на цементном клее подвергались термовлажностной обработке по режиму 2+6+2 ч (соответственно время подъема температуры до максимальной, время выдерживания при максимальной температуре и время сброса температуры от максимальной величины до нормальной) с температурой изотермического цикла 90°C , а на эпоксидном клее термической обработке при температуре 80°C в течение 6 часов. Результаты испытаний образцов каркасов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства каркасов

Вид клея каркаса	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
<i>заполнитель – гранитный щебень</i>			
цементный	1 670	2,6	1,7
эпоксидный	1 480	4,5	3,9
<i>заполнитель – известняковый щебень</i>			
цементный	1 440	2,2	1,5
эпоксидный	1 340	2,7	1,9

Заполнение пустот в каркасах производилось стеклощелочной матрицей ($V/T = 0,45$) путем погружения в нее крупнопористого каркаса. Известно, что данный способ получения каркасных композитов наиболее эффективен [5]. Пропитка осуществлялась с вибрированием на лабораторном столе. Кинетика набора прочности полученных каркасных композитов (состав приведен в табл. 3) представлена на рис. 1 и 2.

Таблица 3

Исследуемые составы строительных композитов каркасной структуры

№ состава	Наименование компонентов		
	заполнитель	клей каркаса	матрица
1	гранитный щебень	цементный	вяжущее на основе боя стекла
2		эпоксидный	
3	известняковый щебень	цементный	
4		эпоксидный	

Средняя плотность исследуемых составов каркасных композитов приведена в табл. 4.

Таблица 4

Средняя плотность строительных композитов каркасной структуры

№ состава	Средняя плотность, кг/м ³
1	2 070
2	2 050
3	1 950
4	1 850

Как следует из табл. 4, плотность композитов, изготовленных по каркасной технологии, так же как и материалов, полученных по стандартным технологиям, в основном определяется плотностью используемых заполнителей.

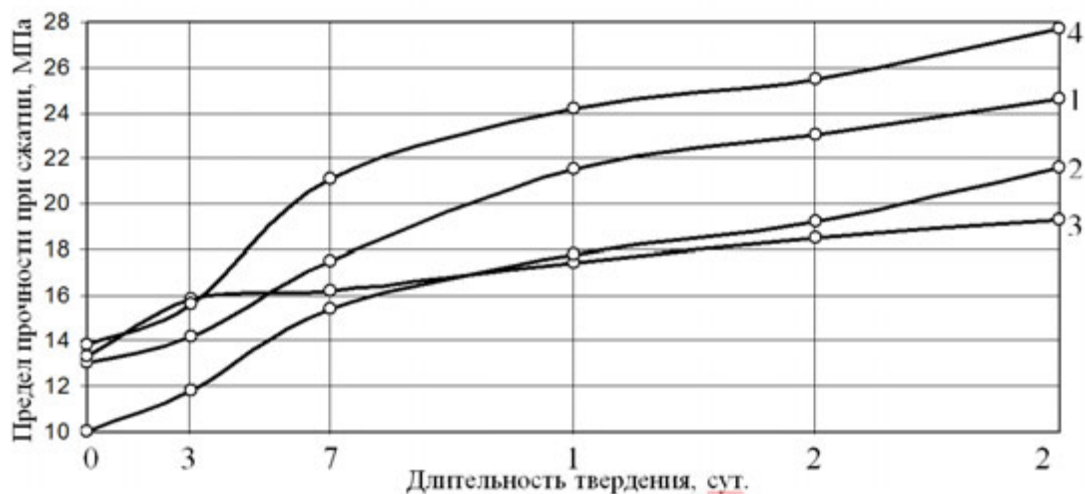


Рис. 1. Зависимость изменения предела прочности при сжатии от длительности твердения

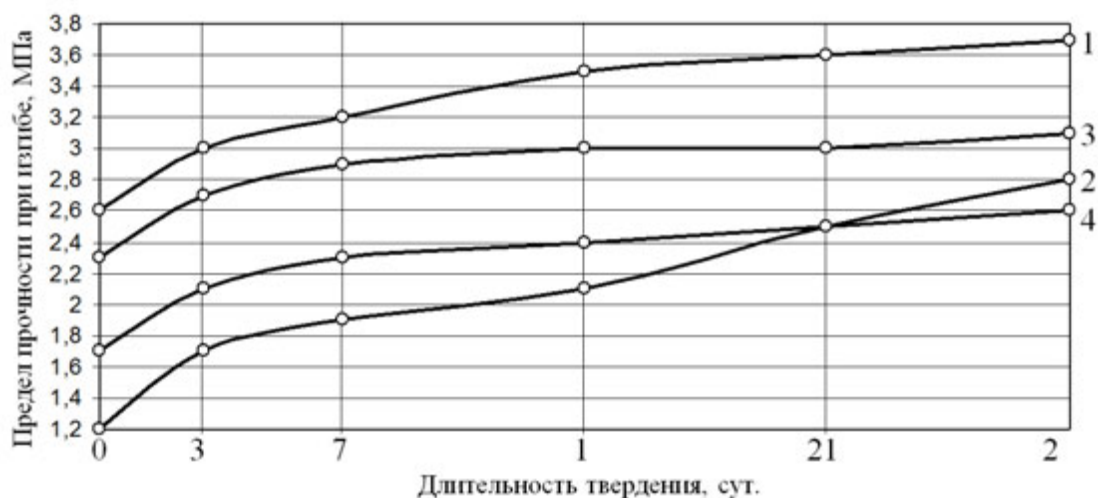


Рис. 2. Зависимость изменения предела прочности при изгибе от длительности твердения

Строительные материалы и изделия подвергаются разрушающему действию биологически активных сред. Под биоповреждениями понимается разрушение материалов и нарушение работоспособности изделий в результате воздействия бактерий, мицелиальных грибов, актиномицетов и продуктов их жизнедеятельности. Практика показывает, что риск возникновения и развития биоповреждений должен быть исключен на самой ранней стадии, т.е. уже при проектировании строительных изделий и конструкций, так как внешне безобидные пятна плесени кроме разрушений материалов могут представлять смертельную опасность для людей и животных. Микроорганизмы постоянно и повсеместно обитают в среде пребывания человека, используя органические и неорганические соединения, входящие в состав всего созданного человеком, как питательный субстрат.

В наших исследованиях испытания материалов на грибостойкость и фунгицидные свойства проводились в соответствии с ГОСТ 9.049-91 по двум методам: 1 (без дополнительных источников питания) и 3 (на твердой питательной среде Чапека-Докса). Их сущность заключалась в выдерживании материалов, зараженных спорами плесневых грибов, в оптимальных для их развития условиях с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности образцов.

Со временем, даже фунгицидный изначально материал может утрачивать свои свойства, поэтому необходимо предусмотреть мероприятия, позволяющие сохранить данные свойства как можно дольше. Одним из способов является обработка поверхности строительных материалов биоцидными составами по мере необходимости. Далее приведем результаты исследования биологической стойкости стеклощелочного связующего после выдерживания в течение трех, девяти и двенадцати месяцев в воздушно-сухих условиях, а также пропитанных после года выдерживания в заданных условиях биоцидными составами (табл. 5). В качестве биоцидных добавок были использованы «Тефлекс-реставратор» (комплекс сополимеров гуанидина, активный кислород, полифункциональные добавки) и «Тефлекс-антиплесень» (комплекс сополимеров гуанидина), производства

Таблица 5

Биологическая стойкость стеклощелочного связующего

Условия выдерживания	Метод 1	Метод 3	Результат
После набора марочной прочности	0	0 (R = 45 мм)	фунгициден
После выдерживания в течение 3 месяцев в воздушно-сухих условиях	0	0 (R = 15 мм)	фунгициден
После выдерживания в течение 9 месяцев в воздушно-сухих условиях	0	0	фунгициден
После выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях	0	2	грибостоек
После выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях с последующей пропиткой «Тефлекс-антиплесень»	0	0	фунгициден
После выдерживания в течение 12 месяцев в воздушно-сухих условиях с последующей пропиткой «Тефлекс-реставратор»	0	0	фунгициден

Примечание: R – радиус зоны ингибирования роста грибов

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что стеклощелочное вяжущее обладает повышенной устойчивостью к воздействию биологических сред. Таким образом, внедрение в производство технологии получения строительных материалов на основе боя стекла позволит частично решить проблему утилизации отходов светотехнической промышленности и получить изделия, отдельные показатели которых выгодно отличаются от широко используемых композитов. Стеклощелочное связующее целесообразно использовать при изготовлении изделий, эксплуатирующихся в условиях воздействия биологически активных сред, при этом поддержание фунгицидных свойств в течение долгого времени возможно путем обработки поверхности биоцидными препаратами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Соломатов В.И., Богатов А.Д., Симонов А.В. и др.* Сырьевая смесь для приготовления ячеистого бетона // Патент РФ № 2164504, М. кл. С04. В 38/02. Опубл. в Б.И. 2001, №9. — С. 190.

2. *Черкасов В.Д., Ерофеев В.Т., Богатова С.Н., Богатов А.Д.* Бетоны пониженной плотности на связующем из боя стекла / Материалы Пятой всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства». Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — С. 388–391.

3. Патент

4. *Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Богатова С.Н., Богатов А.Д., Казначеев С.В.* Биостойкие строительные композиты на основе отходов стекла // Вестн. Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та. — 2009. — №16 (35). — С. 122–126.

5. *Ерофеев В.Т., Мищенко Н.И., Селяев В.П., Соломатов В.И.* Каркасные строительные композиты: В 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / под ред. Акад. РААСН В. И. Соломатова. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. — 200 с.

А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, С.И. Шиян, Т.М. Тихонова

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ПОРОД ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Исследования лессовых пород в условиях длительного взаимодействия с водой выполнялись на примере территории междуречья Прут-Днестр.

Изучение деформационного поведения лессовых пород осуществлялось в компрессионных приборах системы Н.Н. Маслова, позволяющих замерять просадочные деформации при капиллярном водонасыщении и при фильтрации воды через образец грунта. Использовалась водопроводная вода. Компрессионные испытания выполнялись методом «одной кри-

вой» с замачиванием при нагрузке 0,15 МПа. После условной стабилизации (0,001 мм за 1 сут.) начиналась фильтрация воды в течение 90 сут. с ежесуточной регистрацией деформации. Такая методика компрессионных испытаний, несмотря на общеизвестные недостатки, позволяет оценить не только полную деформацию образца при замачивании, но и дифференцировать ее на собственно просадку и послепросадочное уплотнение. Она широко использовалась в практике исследований на Северном Кавказе, Ростовской области, Украине, Молдавии, Средней Азии.

Изменение *механического состава* заключается в следующем. В целом содержание дисперсных и мелких фракций по результатам микроагрегатного анализа не изменилось. Наибольшие изменения отмечены для фракции крупнее 0,1 мм. При фильтрации воды эти агрегаты распадаются, увеличивая содержание более мелких фракций, что способствует уменьшению размера межагрегатных пор и снижает общую пористость. Агрегированность дисперсной фракции практически не меняется, $K_{агр} = 2,6–11,4$. В следствие длительной фильтрации и вымывания легкорастворимых солей в 1,5–3,0 раза уменьшилось содержание Na^+ , существенно увеличилось содержание Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} . Практически не изменилось содержание HCO_3^- . В следствие этого, общая минерализация либо уменьшается на 20–30%, либо не меняется вообще, а в отдельных случаях увеличивается в 1,7–1,8 раз. До фильтрации тип засоления пород определялся как: $Ca^{+2} - Mg^{+2} - SO_4^{-2} - HCO_3^-$, после – $HCO_3^- - Mg^{+2} - Ca^{+2}$.

Испытания лессовых пород в условиях замачивания и фильтрации в течение 90 сут показали, что длительное взаимодействие с водой ведет к полной их деградации. Уменьшается содержание крупных фракций (более 0,1 мм), за их счет повышается содержание более мелких фракций, при практически не изменяющемся содержании дисперсной фракции. Легко растворимые соли вымываются, одновременно слабо и среднерастворимые соединения преобразуются в сильно растворимые. Повышается содержание гидрокарбонатов и гипса, грунт приобретает содово-кальциевое или содово-магниевое засоление, становится более плотным и прочным (как отмечал Е.Н. Сквалецкий (1988) для пород Таджикистана – преобразуется в «озерный мергель»). При этом изменяются почти все свойства лесса: W – увеличивается на 0,05–0,12, W_p – не изменяется или повышается на 0,01–0,02, W_L – повышается на 0,01–0,04, что обусловлено изменениями общего содержания карбонатов и др. В результате повышается J_p на 0,01–0,03, уменьшается пористость, пластическая прочность падает в 1,5–6,0 раз.

Послепросадочное уплотнение, связанное с длительной фильтрацией воды через лессовую породу, обусловлено разрушением водостойких структурно-коллоидных связей между ее частицами и проявляется в виде деформации ползучести скелета. Просадочный и послепросадочный про-

цессы обычно сочетаются и деформация носит комплексный характер. Из-за трудности их разграничения на практике часто говорят об общей деформируемости лессовой толщи, условно выделяя наиболее активно протекающую стадию процесса (просадка) и плавную постоянно затухающую (послепросадочная стадия). Вопросы количественной оценки обеих составляющих имеют большое практическое значение. Деформационное поведение отдельных образцов лессовых пород в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды показано на рис. 1. В процессе опыта фиксировались следующие величины относительной деформации: ε_{sl}^2 – относительная просадка через 2 суток после замачивания (по ГОСТ 23161-78); ε_{sl}^4 – то же через 4 суток после замачивания (по А.К. Ларионову это время завершения провальной просадки); ε_{sl}^k – то же после завершения консолидации образца при замачивании; ε_{sl}^ϕ – полная деформация образца после завершения фильтрации воды.

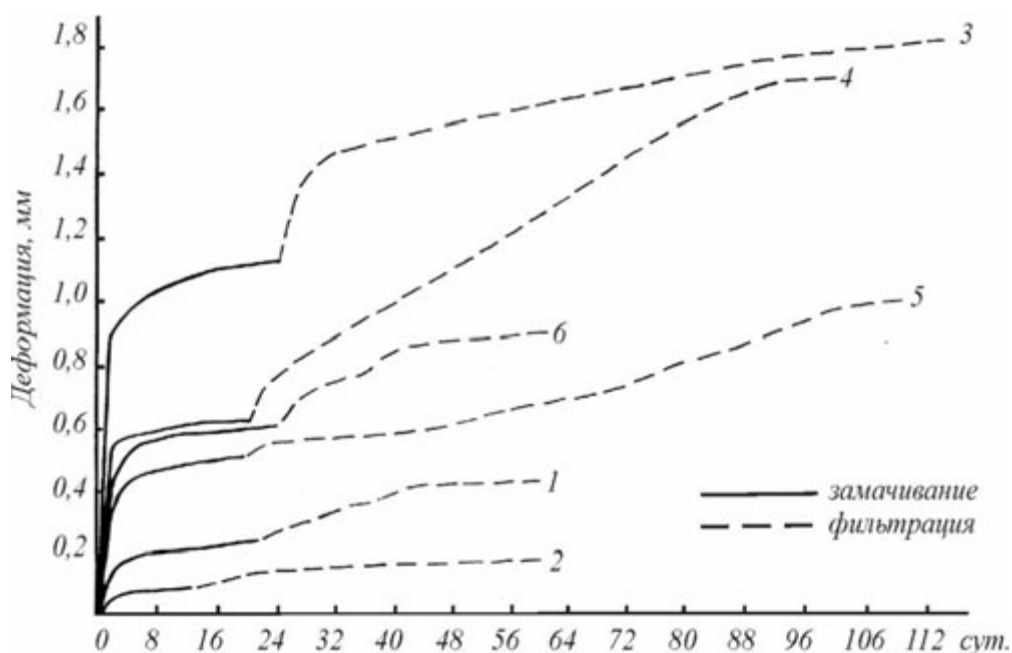


Рис. 1. Кривые деформации лессовых пород при замачивании и фильтрации воды:
 1 – едр Q₃₋₄ п. Котовск; 2 – едр Q₃₋₄ г. Кишинев;
 3 – едр Q₃₋₄ г. Кишинев; 4 – едр Q₃₋₄ п. Котовск;
 5 – deol Q₂ п. Тараклия; 6 – deol Q₂ п. Кантемир

Рассчитаны следующие составные части общей деформации: ε_{sl}^4 – провальная просадка (по А.К. Ларионову); $\varepsilon_{sl}^k - \varepsilon_{sl}^4$ – замедленная просадочность; $\varepsilon_{sl}^\phi - \varepsilon_{sl}^k$ – послепросадочное уплотнение. Для прогноза деформации лессовых пород выделены 3 коэффициента: $K_1 = \varepsilon_{sl}^4 / \varepsilon_{sl}^2$; $K_2 = \varepsilon_{sl}^k / \varepsilon_{sl}^2$; $K_3 = \varepsilon_{sl}^\phi / \varepsilon_{sl}^2$. Обобщение и анализ результатов позволил установить, что значения коэффициентов K_{1-3} зависят не столько от показателей физических свойств и состава породы, как от величины ε_{sl}^2 . Максимальное значе-

ние величины замедленной просадки и послепросадочного уплотнения наблюдается для образцов с ε_{sl}^2 менее 0,01. С повышением величины провальной просадки замедленная просадка и послепросадочное уплотнение уменьшаются. Например, для пород с ε_{sl}^2 равной 0,041–0,050 послепросадочное уплотнение примерно в 2 раза меньше, чем для пород с ε_{sl}^2 равной 0,001–0,005. Составленная таблица может использоваться для предварительной оценки послепросадочного уплотнения и замедленной просадки по результатам ГОСТовских исследований просадочности.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов K_3 для лессовых пород различных регионов, свидетельствующие о том, что лессовая толща междуречья Прут-Днестр по характеру развития просадочных и послепросадочных деформаций сходна с лессовыми толщами Северного Кавказа и Ростовской области.

Таблица 1

Поправочные коэффициенты $K_3 = \varepsilon_{sl}^\phi / \varepsilon_{sl}^2$ для различных регионов

Район	Автор	$K_3 = \varepsilon_{sl}^\phi / \varepsilon_{sl}^2$	
		Категория просадочности	
		слабо-просадочные	средне-просадочные
Предкавказье	В.П. Ананьев, Э.В. Запорожченко	2,3	1,9
Средняя Азия	Е.Н. Сквалецкий	1,7	1,7
Молдова	Ю.И. Олянский	2,55	1,9
Междуречье Дунай-Днестр	И.И. Молодых	1,2–1,4	

В результате длительного взаимодействия лессовых пород с водой в условиях капиллярного водонасыщения и длительной фильтрации изменяется степень и вид засоления, ионно-солевой комплекс и все показатели свойств при неизменной дисперсности. Возникающие при этом послепросадочные деформации по своей величине соизмеримы с величиной провальной просадки, определяемой по гостированной методике.

А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, С.И. Шиян, Т.М. Тихонова

О ПРОСАДОЧНЫХ И ПОСЛЕПРОСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ ЛЕССОВЫХ ПОРОД МЕЖДУРЕЧЬЯ ПРУТ-ДНЕСТР

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Лессовые породы покрывают около 60% территории северной Молдовы и более 90% южной ее части и находятся в зоне инженерного освоения. Вследствие неизбежного нарушения природного равновесия в природной среде при техногенезе происходит подъем уровня подземных вод и начинается водонасыщение массивов лессовых пород. Противопроемочные мероприятия в основаниях гидротехнических сооружений, по трассам водопроводов и каналов часто оказываются мало эффективными по той причине, что назначены без учета длительного воздействия воды на грунты при систематической фильтрации, следствием которой является их дополнительное уплотнение.

Лабораторное изучение просадочности для проектирования объектов водоснабжения и гидромелиорации осуществляется в одометрах различных систем. Выполнение одного опыта занимает не более 3–4 суток, при этом время консолидации на каждой ступени нагрузки не превышает одних суток. Однако, как показывают практические исследования, особенности структуры лессовых грунтов таковы, что консолидация их не заканчивается в первые сутки, а может продолжаться длительное время. Если принять во внимание, что многие авторы делят общую величину деформации лессового грунта при замачивании на три составляющие: провальная просадка, замедленная просадка и послепроемочное уплотнение [1–7], то становится очевидным, что компрессионные испытания моделируют, в основном, первую составляющую общей деформации лессового образца. Это может служить причиной аварий зданий и сооружений, особенно с «мокрым» технологическим циклом.

В соответствии с вышеизложенным была поставлена задача изучить процесс длительной консолидации лессовых грунтов региона в компрессионных приборах. Для этой цели отобраны образцы основных литологических типов и стратиграфических горизонтов из различных инженерно-геологических областей центральной и южной части республики. Вещественный состав образцов приведен в табл. 1. Лессовые породы делювиально-пролювиального генеза из центральной части республики (г. Кишинев) характеризуются невысоким содержанием пылеватой фракции (менее 50%) и повышенным содержанием песчаных частиц (до 51,3%). Коэффици-

енты агрегированности для глинистых частиц не превышают 13,71, а для пылеватых частиц – 1,67. В дисперсной фракции основными минералами являются монтмориллонит и гидрослюда. Это преимущественно супеси и легкие суглинки с влажностью 0,09–0,18, пористостью 0,39–0,48. Лессовые породы эолово-делювиального генезиса из южных регионов республики (г. Тараклия, г. Тирасполь, г. Кахул) по содержанию пыли больше напоминают «истинные лессы». Содержание пылевой фракции у них значительно превышает величину 50% и достигает 74%, песчаной – 21–31,3%. В дисперсной фракции преобладающим минералом является гидрослюда и монтмориллонит. Это преимущественно легкие, средние и тяжелые суглинки с влажностью 0,11–0,16, пористостью 0,36–0,46, коэффициентами агрегированности 2,07–14,78 – для глинистой фракции и 1,0–2,08 – для пылевой.

Компрессионные испытания осуществлялись методом «одной кривой» с замачиванием образцов при нагрузке 0,15 МПа. При больших сжимающих давлениях, значительная степень уплотнения образца препятствует интенсивной фильтрации воды. Испытания выполнялись по следующей схеме. Образец обжимался до нагрузки 0,15 МПа, после чего его влажность увеличивалась методом капиллярного водонасыщения. При такой влажности образец выдерживался от 2 до 4 недель до величины условной стабилизации равной 0,001 мм за сутки, на что уходило 15–25 суток, после этого создавались условия для фильтрации воды через образец в течение 30–60 суток. Направление фильтрации – снизу вверх при градиенте напора 50. Такая методика испытаний, несмотря на кажущуюся ее искусственность, позволяет выделить три составные части общей деформации образца при замачивании: величину провальной просадки (которая по мнению А.К. Ларионова заканчивается через 4 суток после замачивания), замедленную просадку и послепросадочное уплотнение. Одновременные замеры фильтрационного расхода воды в процессе опыта позволяют оценить изменения коэффициента фильтрации грунта, а величина градиента напора дает возможность, при определенных условиях, ввести масштаб времени для перехода от лабораторных к натурным условиям.

В табл. 2 приведены результаты компрессионных испытаний наиболее характерных образцов. Величина провальной просадки $\varepsilon s/l_1$ не превысила 0,042, что составило, в среднем, 30–70% от общей деформации образца $\varepsilon s/l$. Приращение деформации за счет замедленной просадки $\varepsilon s/l_2$ составляет 10–25%. На стадии замедленной просадки завершилась деформация более плотных и непросадочных (по ГОСТ 23161-78) образцов № 280 и 455, послепросадочная деформация $\varepsilon s/l_3$ у них не зафиксирована.

Таблица 1

Вещественный состав образцов лессовых грунтов

Лаборат. номер образца и геолог. индекс	Местоположение	Минеральный состав глинистой фракции%			Гранулометрический состав%			Микроагрегатный состав%			Коэффициенты агрегированности частиц	
		монт-мори-ллонит	гидро-слюда	прочие	песок >0,05 мм	пыль 0,05-0,005 мм	глина <0,005 мм	песок >0,05 мм	пыль 0,05-0,005 мм	глина <0,005 мм	<0,005 мм	0,05-0,005 мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
272 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	54	38	8	52,3	16,9	30,8	61,0	28,1	10,9	2,83	1,67
314 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	30	47	15	26,1	47,4	26,5	30,1	59,1	10,8	2,43	1,24
315 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	30	55	15	15,8	36,2	48,0	43,7	52,8	3,5	13,71	1,46
316 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	42	38	20	40,3	35,6	24,1	50,2	41,9	7,9	3,05	1,18
226 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	45	39	16	51,3	26,6	22,1					
227 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	34	46	19	28,4	30,5	29,1	54,1	36,6	9,3	3,16	1,20
274 dp Q ₃₋₄	г. Кишинев	50	40	10	46,8	17,9	35,3	58,0	21,8	20,2	2,86	1,21
278 dp Q ₁	г. Орхей	47	38	15	0,5	38,4	61,1					
280 dp Q ₁	г. Орхей	47	40	13	44,2	18,0	37,8	49,1	32,7	18,2	2,08	1,81

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
205 deol Q ₃	г. Кахул	64	23	13	8,2	58,4	33,4	22,0	68,5	9,5	3,50	1,17
208 deol Q ₃	г. Кахул	46	42	12	2,9	74,0	23,1	18,3	77,7	4,0	5,81	1,05
210 deol Q ₃	г. Кахул	52	36	12	4,0	66,0	30,0	20,1	74,8	5,1	5,81	1,13
214 deol Q ₃	г. Кахул	44	43	13	2,1	69,1	28,8	22,8	67,9	9,3	3,12	1,00
302 deol Q ₃	г. Тараклия	43	40	17	10,4	45,7	43,9	17,6	61,2	21,2	2,07	1,34
303 deol Q ₃	г. Тараклия	41	41	18	14,4	38,8	46,8	22,9	56,3	20,8	2,25	1,45
304 deol Q ₃	г. Тараклия	47	39	14	10,6	45,7	43,7					
455 deol Q ₃	г. Тараклия	52	27	21	15,4	47,4	37,2	20,6	76,6	2,8	13,20	1,62
458 deol Q ₃	г. Тараклия	33	47	20	12,9	59,0	28,1	11,1	85,7	3,2	8,77	1,45
460 deol Q ₃	г. Тараклия	47	35	18	17,4	49,0	33,6	41,5	56,2	2,3	12,54	1,15
462 deol Q ₃	г. Тараклия	45	35	20	31,3	33,0	35,7	33,2	64,4	2,4	14,78	1,95
464 deol Q ₃	г. Тараклия	49	38	13	22,2	32,8	45,0	28,6	68,4	3,0	14,69	2,08

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов лессовых грунтов

Лабораторный номер образца	Природная влажность ω	Число пластичности J_p	Пористость n	Относительная деформация при замачивании и фильтрации				$\frac{\varepsilon s_1}{\varepsilon s} \cdot 100\%$	$\frac{\varepsilon s_1 + \varepsilon s_2}{\varepsilon s} \cdot 100\%$
				εs_1	εs_2	εs_3	εs		
272	0,11	0,13	0,40	0,004	0,001	0,007	0,012	33,0	41,7
314	0,11	0,12	0,48	0,042	0,005	0,037	0,084	50,0	56,0
315	0,18	0,11	0,44	0,020	0,002	0,016	0,038	52,6	57,9
316	0,14	0,02	0,39	0,017	0,008	0,021	0,046	37,0	63,0
226	0,09	0,08	0,40	0,022	0,004	0,034	0,060	36,7	43,3
227	0,12	0,07	0,44	0,015	0,018	0,011	0,044	34,1	75,0
274	0,12	0,13	0,37	0,010	0,000	0,002	0,012	83,3	83,3
278	0,16	0,18	0,40	0,009	0,003	0,008	0,020	45,0	55,0
280	0,12	0,12	0,36	0,002	0,001	0,000	0,003	66,7	100,0
205	0,17	0,12	0,43	0,010	0,003	0,004	0,017	58,8	76,5
208	0,11	0,09	0,46	0,020	0,004	0,006	0,030	66,7	80,0
210	0,15	0,10	0,44	0,024	0,005	0,010	0,039	61,5	74,4
214	0,13	0,08	0,33	0,009	0,001	0,003	0,013	69,2	76,9
302	0,18	0,17	0,42	0,017	0,001	0,008	0,026	64,4	69,2
303	0,19	0,19	0,45	0,020	0,006	0,028	0,054	37,0	48,2
304	0,20	0,16	0,44	0,012	0,001	0,010	0,023	52,2	56,5
455	0,15	0,14	0,40	0,003	0,000	0,000	0,003	100,0	100,0
458	0,14	0,09	0,40	0,011	0,000	0,002	0,013	84,6	84,6
460	0,16	0,12	0,42	0,019	0,004	0,006	0,029	65,5	79,3
462	0,13	0,13	0,36	0,009	0,000	0,004	0,013	69,2	69,2
464	0,16	0,15	0,40	0,003	0,000	0,016	0,019	15,8	15,8

У ряда непросадочных (по вышеуказанному ГОСТу) образцов преимущественно из южных регионов республики (№ 274, 455, 462, 464) с высоким содержанием монтмориллонита отсутствует деформация на стадии замедленной просадки, что очевидно обусловлено набуханием глинистых минералов и компенсацией при этом просадочных деформаций. После начала фильтрации послепросадочные деформации у этих образцов оказались соизмеримыми с провальными просадочными. Таким образом, на начало фильтрации реализовано от 15,8 до 84,6% общей относительной деформации ε_s . Наибольшей величиной замедленной просадки отличается образец № 227 с одним из самых низких значений содержания монтмориллонита. На начало фильтрации у него реализовано 75% от общей деформации. Для остальных образцов деформация на стадии замедленной просадки в основном не превысила 15–20% от провальной.

Величина послепросадочного уплотнения в целом составила 15,4–84,2% от общей. Связь ее с содержанием глинистых минералов не установлена. Характерно, что для образцов № 210 и 314 с большой величиной провальной просадки после начала фильтрации так же отмечается резкое увеличение деформации. В первые 5–6 суток после начала фильтрации реализовано до 80% послепросадочной деформации. У образцов с замедленным типом просадочных деформаций послепросадочное уплотнение так же увеличивается равномерно пропорционально времени фильтрации. Около 80% его реализуется через 1,0–1,5 месяца после начала фильтрации.

Таким образом, по характеру проявления просадочных и послепросадочных деформаций изученные образцы близки к лессовым породам аналогичного состава и состояния из других регионов и в первую очередь Северного Кавказа и Южной Украины [1, 2]. Величина послепросадочного уплотнения у большинства образцов изученных типов пород соизмерима с просадочными деформациями. Неучет их при проектировании и строительстве объектов гидромелиорации и других инженерных сооружений может привести к аварийным ситуациям и к необходимости значительных затрат на ремонтно-восстановительные работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Запорожченко Э.В., Трусова С.В.* О степени доуплотнения лессовых пород при длительной фильтрации через них воды // Тезисы докладов на Всесоюзной конференции, Ростов-на-Дону: 1980. — С. 109–113.
2. *Окнина Н.А., Реутова Н.С., Иножарская Н.Г.* Изменение инженерно-геологических свойств лессовых пород Дунай-Днестровского массива орошения под влиянием длительной фильтрации // Комплексная инженерно-геологическая оценка глинистых лессовых пород. Труды ПНИИИСа, т. XII М.: Стройиздат. — С. 150–164.
3. *Олянский Ю.И.* Соотношение просадочных и суффозионно-пластических деформаций в лессовых грунтах Молдавии / Тезисы докладов Всесоюзной научной конф. посвященной 80-летию академика АН УзССР Г.А. Мавлянова. Ташкент: 1990. — С. 113–114.

4. Олянский Ю.И., Богдевич О.П., Вовк В.М. О дополнительном уплотнении некоторых типов лессовых пород Молдавии при фильтрации воды // Известия АН МССР. Физика и техника, 1991. № 3(6). — С. 118–127.

5. Олянский Ю.И. Лессовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах республики Молдова). Кишинев: Изд. Штиинца. 1992.— 130 с.

6. Олянский Ю.И. Опыт оценки послепросадочного уплотнения лессовых пород по лабораторным испытаниям / Вестник ВолгГАСУ. Серия Естественные науки. Вып. 4(14), 2005. — С. 81–85.

7. Сквалецкий Е.Н. К количественному учету послепросадочного уплотнения лессовых грунтов / Инженерная геология. 1983, №2. — С. 48–58.

О.А. Богомолова, Б.С. Бабаханов, А.В. Соловьев, Р.С. Нестеров, С.А. Богомолов

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

подавляющее большинство методов расчета несущей способности основания заглубленного ленточного фундамента базируется на положении о том, что в несвязных грунтах, при достижении внешней нагрузкой критического значения, формируется упругое грунтовое ядро треугольной формы. Форма и размеры ядра зависят от угла внутреннего трения грунта φ , ширины фундамента и характера внешней нагрузки.

К недостаткам этих методов относят то, что при расчетах не учитывается собственный вес грунта, заглубление фундамента имитируется при помощи полубесконечных боковых нагрузок, в расчетные данные не входит величина коэффициента бокового давления грунта ξ_0 (в редких случаях она считается равной единице), положение линии выпора принимается заранее известным и т.д.

В тоже время, имеются экспериментальные и теоретические исследования, например, Г.А. Гениева [1], результаты которых говорят о том, что форма упругого грунтового ядра в несвязных грунтах не всегда является треугольной, а сведений о том, что в связных грунтах упругое ядро имеет треугольную форму очень мало.

Тем не менее, в настоящее время при расчете несущей способности оснований широко используются методы, базирующиеся на этой гипотезе. Следует отметить, что все они, в той или иной степени, основываются на предложениях, сделанных Л. Прандтлем при рассмотрении задачи об определении величины критической нагрузки на грунт [2].

Согласно принятой им расчетной схеме под загруженным участком образуется клиновидная область, состоящая из уплотненного грунта. Уп-

лотненный грунтовый клин (ядро) тесно связан с сооружением и перемещается совместно с ним, как некое твердое тело. В своем движении уплотненное ядро оказывает на окружающий грунт распирающее действие. При определенной нагрузке, расположенный по бокам от уплотненного ядра, грунт переходит в предельное состояние, в результате чего происходит выпор грунта из под основания на дневную поверхность.

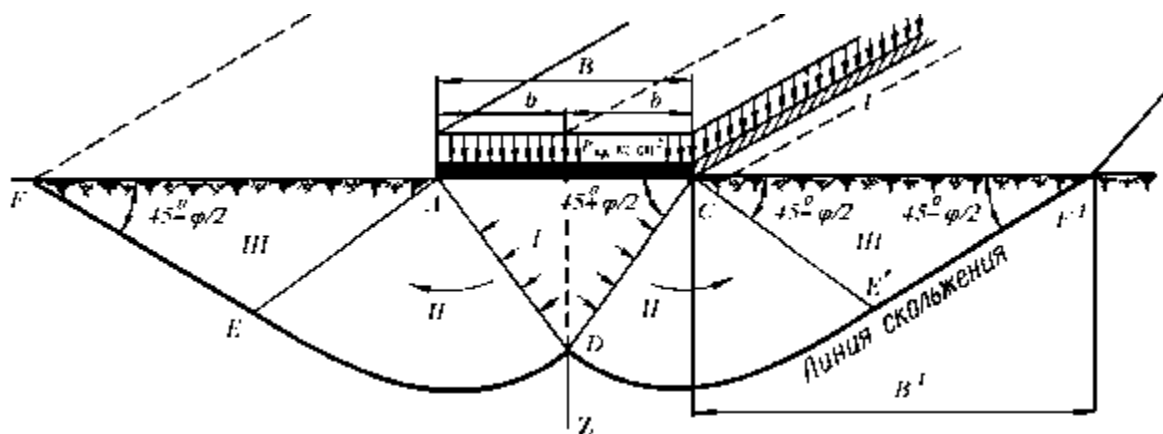


Рис. 1. Расчетная схема по Л. Прандтлю для грунтов типа $\varphi \neq 0$

Считая, что среда невесома и не обладает внутренним трением ($\gamma=0$; $\varphi=0$), автор получил простую формулу

$$p_{кр} = (\pi + 2,0)C = 5,14C, \quad (1)$$

где C – сцепление.

Для грунтов, обладающих внутренним трением, но, как и прежде, невесомых ($\gamma=0$; $\varphi \neq 0$), Л.Прандтль предложил следующее выражение:

$$p_{кр} = C \operatorname{tg}^{-1} \varphi \left(\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right). \quad (2)$$

Приближенная формула для определения величины предельного давления жесткого шероховатого заглубленного фундамента круглой в плане формы приведена в работе В.Г. Березанцева [3].

При ее выводе автором сделан ряд допущений, которые оправданы опытными данными:

- 1) уплотненное ядро под подошвой фундамента принимается в виде конуса с углом при вершине по меридиональному сечению равным 90° ;
- 2) образующая поверхности выпора состоит из отрезков логарифмической спирали и прямой;
- 3) точки B , расположены на сторонах треугольника $O'AA$ и отстоят от вершины O' на расстоянии $0,05 AO'$.

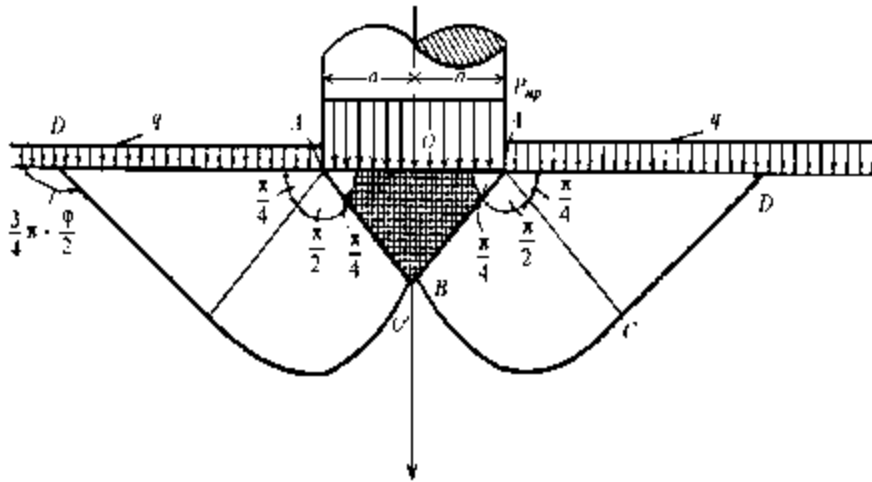


Рис. 2. Расчетная схема метода В.Г. Березанцева

Интегрируя одно из дифференциальных уравнений предельного равновесия для заданного очертания образующей призмы выпора с использованием условия равновесия уплотненного грунтового ядра как абсолютно твердого тела, получим формулу для вычисления средней величины интенсивности предельного давления на основание:

$$p_{пр} = (\xi_{уд}\gamma a + \xi_{рд})(1 + \sin\varphi), \quad (3)$$

где $\xi_{уд}$ и $\xi_{рд}$ – коэффициенты пассивного давления грунта, определяемые кривыми, приведенными на рис. 3.

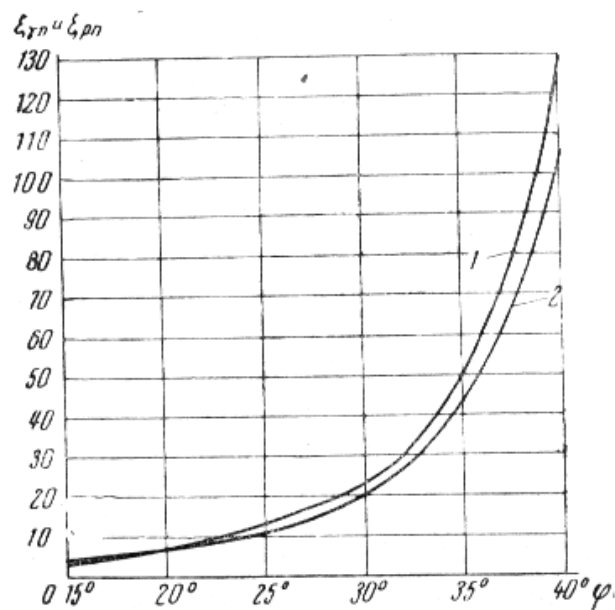


Рис. 3. График для определения величины коэффициентов пассивного давления грунта $\xi_{уд}$ (1) и $\xi_{рд}$ (2)

Авторы работ [4, 5], также используя гипотезу об образовании уплотненного грунтового ядра треугольной формы (со сторонами в виде отрезков прямых и кривых линий), предлагают в качестве физической основы теории пластичности грунтов использование реального, определенного опытным путем, пластического потенциала или неассоциированного закона пластического течения, подчиняющегося условию пластичности Губера-Шлейхера (обозначения работы [6])

$$\theta = \sigma_i - (\sigma_{св} + \sigma)v \neq 0, \quad \sigma_i = (\sigma_{св} + \sigma)tg\psi, \quad (4)$$

где σ_i – интенсивность касательных напряжений; σ – среднее нормальное напряжение; $\sigma_{св} = Ctg\psi$ – давление связности, эквивалентное сцеплению грунта C ; ψ ; v – угол внутреннего трения грунта по октаэдрической площадке и коэффициент дилатансии.

Эта физическая основа позволила получить соответствующие выражения для компонент напряжения, из которых следует, что в плоской задаче теории пластичности грунтов необходимо пользоваться приведенным углом внутреннего трения ρ , определяемым из соотношения

$$\sin\rho = \left(1 - \frac{v^2}{3}\right) \left(1 - \frac{v}{3tg\psi}\right)^{-1} tg\psi. \quad (5)$$

Установлено также, что испытания грунтов на срез, соответствующие совпадению поверхности среза с линией скольжения, дают приближенно (при $v=0$) не традиционный угол внутреннего трения Кулона, а угол трения $\varphi_{ср}$ по октаэдрической площадке, который связан с действительным углом внутреннего трения φ_c по Кулону соотношением

$$\sin\varphi_c = \sqrt{3}tg\psi_{ср} \left(2 + \frac{\sqrt{3}}{3tg\psi_{ср}}\right). \quad (6)$$

Данные физические представления позволили разработать инженерный метод расчета несущей способности основания, особенностью которого является то, что криволинейная форма поверхности жесткого грунтового ядра (рис. 4, а) заменена прямоугольным треугольником (рис. 4, б).

Удовлетворение всем условия равновесия сил, действующих на ядро, дало возможность получить численные значения нормальной и касательной составляющих силы вдавливания, являющиеся коэффициентами несущей способности.

Решить задачу о нахождении величины несущей способности ленточного фундамента при действии эксцентричной наклонной нагрузки, посвящен метод, изложенный в работе [7], являющийся обобщением классического решения Л. Прандтля [3].

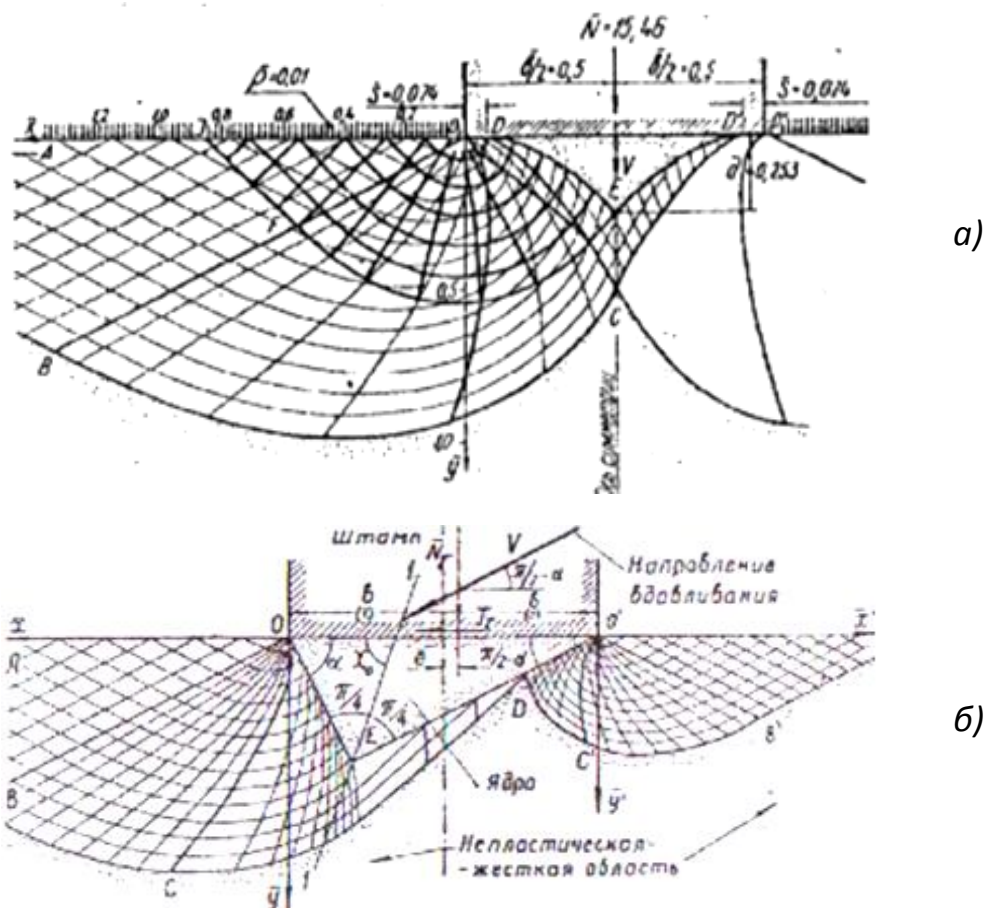


Рис. 4. Схема пластического с пригрузкой (а) и косо́го без пригрузки (б) вдавливания шероховатого штампа в идеально сыпучее основание

Материал жесткопластического невесомого основания подчиняется закону Кулона с углом внутреннего трения φ и сцеплением C . Ленточный фундамент – жесткий штамп OD шириной b нагружен силой P , приложенной под углом δ к вертикали и с эксцентриситетом e относительно центра штампа.

Расчетная линия скольжения $ABCD$, отделяющая сдвигаемый массив от неподвижного, состоит из трех участков: прямой AB , являющейся границей ренкиновской зоны максимального напряженного состояния ABO ; логарифмической спирали BC – границей централизованного поля линий скольжения с центром O ; дугой логарифмической спирали или прямой CD – границы ядра OCD .

Управляющими параметрами решения являются два угла β_1 и β_2 , определяющие положение точки O_1 .

Контактные напряжения находятся путем интегрирования уравнений Кеетера, которые для случая невесомого основания имеют вид

$$\frac{d\sigma_n}{dx} \pm 2\tau \frac{d\alpha}{dx} = 0. \quad (7)$$

Параметры предельной нагрузки находятся интегрированием соответствующих уравнений равновесия

$$\begin{cases} V = P \cos \delta = \int_{-b}^0 s dx ; \\ H = P \sin \delta = \int_{-b}^0 t dx ; \\ m_O = V \left(\frac{b}{2} - e \right) = - \int_{-b}^0 s x dx . \end{cases} \quad (8)$$

К большому сожалению, в публикации не рассмотрены вопросы соответствия приводимых результатов эксперименту, назначения допустимых нагрузок и коэффициентов запаса.

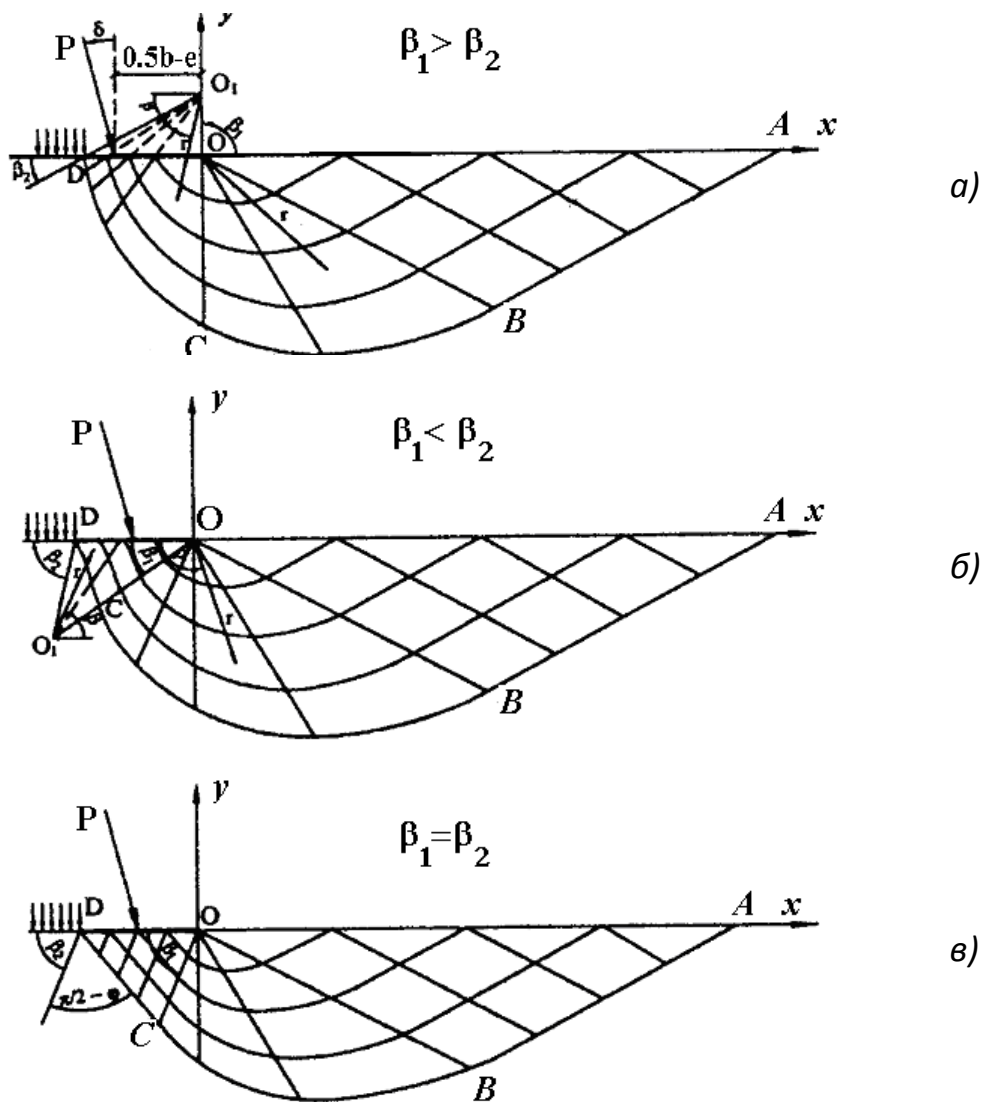


Рис. 5. Расчетная схема исчерпания несущей способности (потери устойчивости) основания при $e < 0$ (а), $e > 0$ (б), $e = 0$ (в)

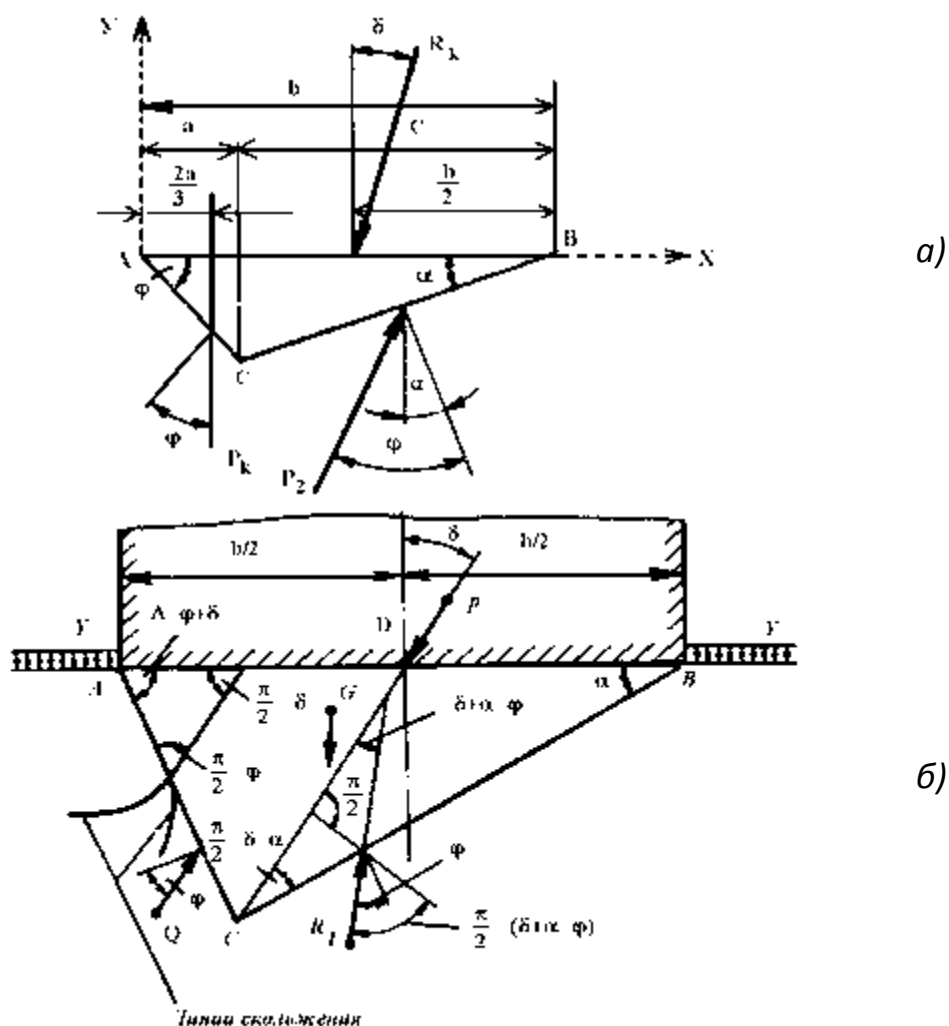


Рис. 7. Расчетная схема и уплотненное ядро по В.С. Христофорову (а) и расчетная схема М.Ш. Минцковского для определения равнодействующей предельного давления (б)

Используя результаты своих экспериментальных исследований М.Ш. Минцковский [10] для аналогичных условий получил формулу для определения равнодействующей предельной нагрузки в предположении треугольной формы уплотненного грунтового ядра. Особенность этого треугольника заключается в том, что его нижняя вершина расположена на линии действия равнодействующей предельного давления, а угол наклона одной из сторон к основанию равен $\Delta = \varphi + \delta$ (см. рис. 7, б).

Тогда формула для определения равнодействующей предельного давления имеет вид

$$P_{\Pi} = P_k - g_{\text{я}} \left[1 - \text{tg} \delta \text{ctg} (\delta + \alpha - \varphi) \right] \cos \delta, \quad (11)$$

где P_k – суммарное предельное давление на грань AC как на шероховатую как наклонную подпорную стенку, определяемое методами теории предельного равновесия; $g_{\text{я}}$ – вес уплотненного ядра.

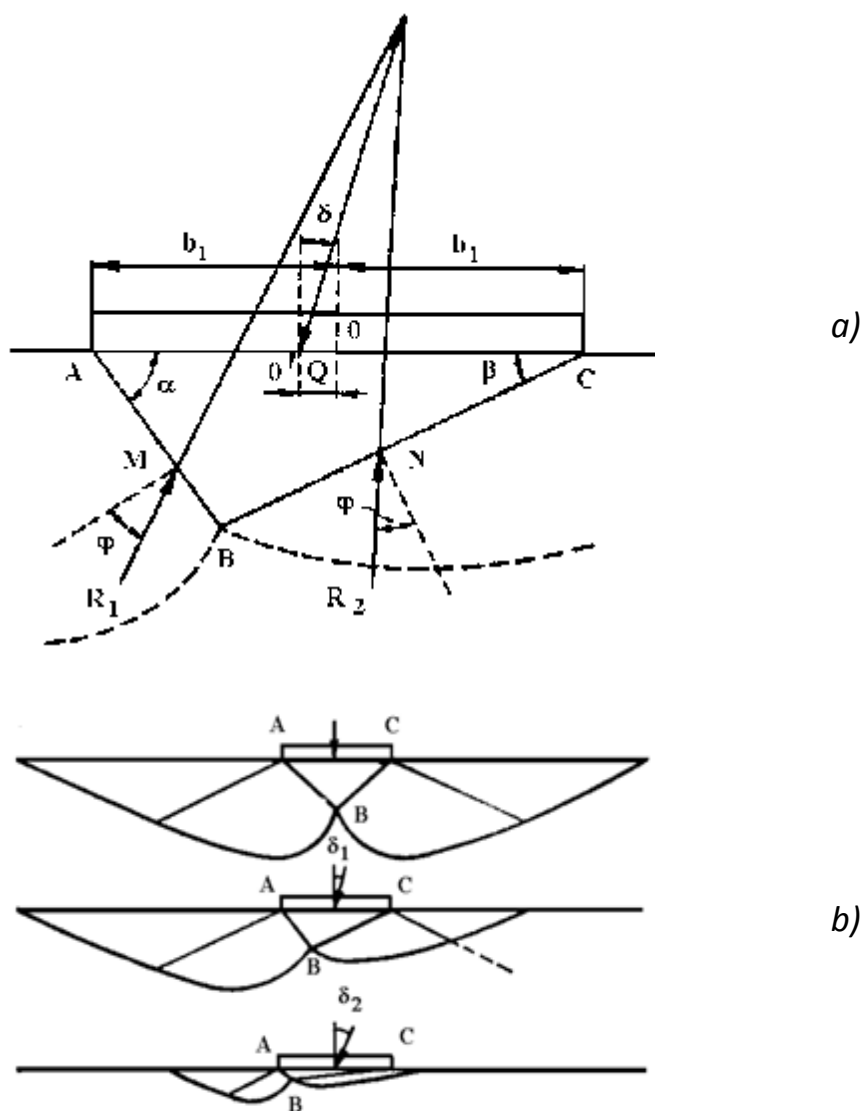


Рис. 9. Расчетная схема к методу Е.Захареску (а) и схемы очертания сдвигаемых объемов грунта (b)

В результате обобщения множества результатов экспериментальных исследований Е. Захаренску [11] получил выражение для вычисления предельного значения наклонной, приложенной с некоторым эксцентриситетом силы. Его теоретические построения опирались на гипотезу о треугольной форме грунтового ядра и предположения о том, его грани составляют с подошвой фундамента углы $\alpha = \varphi + \delta$ и $\beta = \varphi - \delta$.

Величина равнодействующей предельного давления для незаглубленного фундамента определяется выражением

$$P_{\text{пр}} = \frac{2 \sin^2(\varphi - \delta)}{\sin^2 2\varphi} \left[1 + \frac{\sin 2\varphi \cos \delta - \frac{4}{3} \sin(\varphi - \delta) \cos \varphi}{\sin 2\varphi \cos \delta - 2m \sin(\varphi + \delta) \cos \varphi} \right] \gamma b_1^2 k_1. \quad (12)$$

Используя допущения о треугольной форме уплотненного грунтового ядра, невесомости грунтового массива, и, применяя на основании этого линии скольжения, составленные из отрезков прямых и логарифмических спиралей, Г.Г. Мейергоф [12-13] предложил формулу для определения величины центрально приложенной вертикальной результирующей силы предельного давления, которая имеет структуру, схожую со структурой формулы К. Терцаги [14]:

$$q = cN_c + p_0 N_q + \frac{1}{2} \gamma b N_\gamma. \quad (13)$$

где N_c, N_q, N_γ – определяются по графикам, построенным Г.Г. Мейергофом.

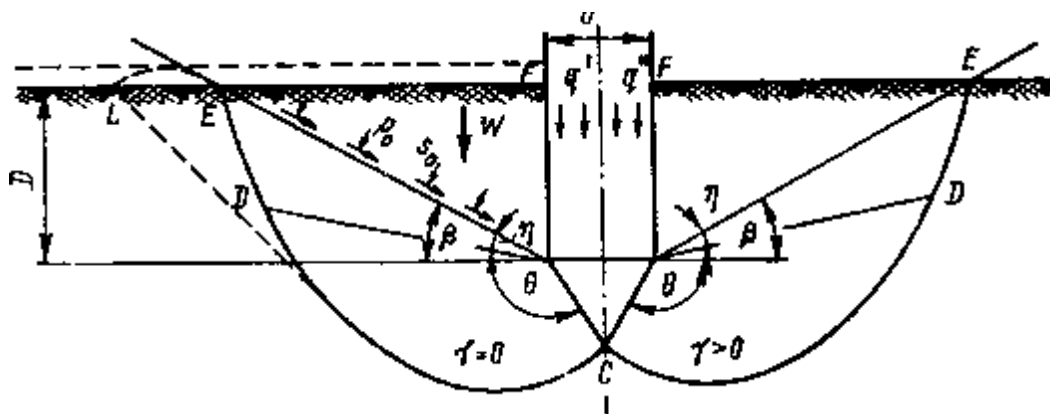


Рис. 10. Расчетная схема Г.Г. Мейергофа в случае равномерно распределенной нагрузки

Использовать эту формулу необходимо в совокупности с графиками, составленными автором для определения численных значений коэффициентов влияния.

Следует отметить, что использовать формулы и графики, разработанные Г.Г. Мейергофом, можно для фундаментов глубокого и мелкого заложения, незаглубленных фундаментов и фундаментов, возводимых на, по терминологии автора, «откосном основании».

При разработке метода определения вертикальной центрально приложенной равнодействующей предельного давления К. Терцаги [14] использовал очертания линий скольжения, полученных исходя из предположения, что плотность грунта равна нулю, т.е. игнорировал вес грунта как объемную силу.

В результате им получена широко известная и даже взятая за основу в современных нормах формула для определения величины предельной силы, которая для прямоугольных фундаментов имеет вид:

$$P_{\Pi} = b \left(cN_c + \gamma h N_q + \frac{1}{2} \gamma b N_\gamma \right), \quad (14)$$

а для квадратных фундаментов записывается в виде:

$$P_K = b^2 (1,3cN_c + \gamma h N_q + 0,4\gamma b N_\gamma), \quad (15)$$

где P_n и P_K – полная предельная нагрузка на фундамент; N_c , N_q и N_γ – расчетные коэффициенты, определяемые по графикам в зависимости от φ (рис. 11).

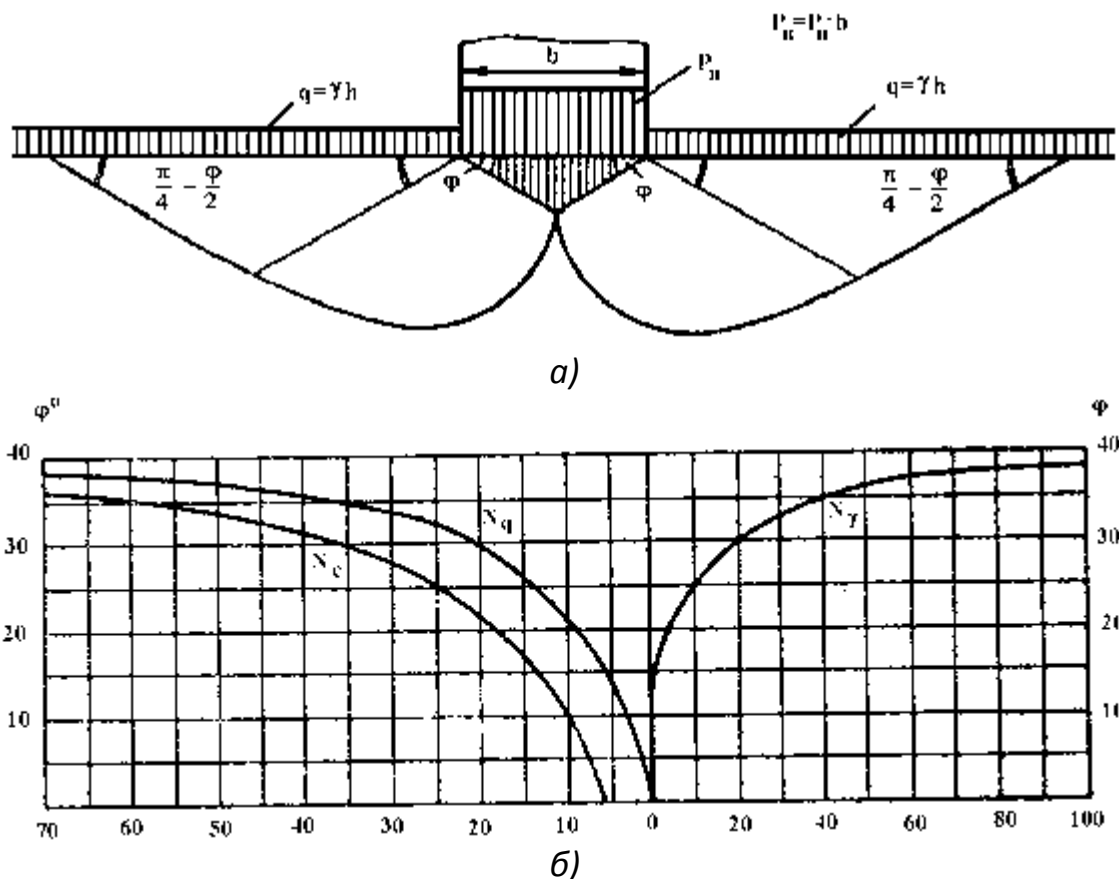


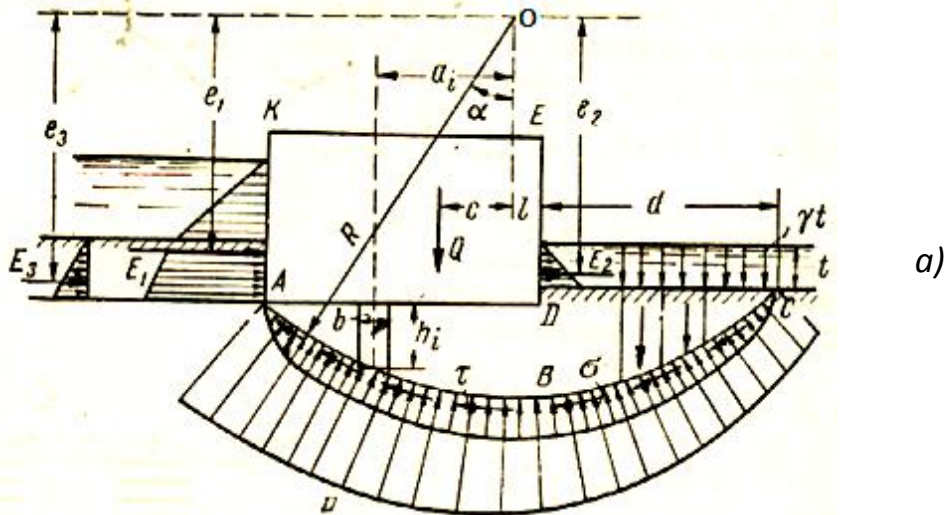
Рис. 11. Расчетная схема (а) и графики К. Терцаги (б)

Наряду с перечисленными выше методами в настоящее время широко используются методы расчета несущей способности оснований фундаментов, основанные на гипотезе о круглоцилиндрической форме поверхности выпора. Величина интенсивности внешнего воздействия, при которой величина коэффициента запаса устойчивости принимает значение равное $K=1$ и определяет значение несущей способности основания. Данный подход, впервые предложенный В. Феллениусом [15], особенно часто используется зарубежными исследователями из-за своей простоты.

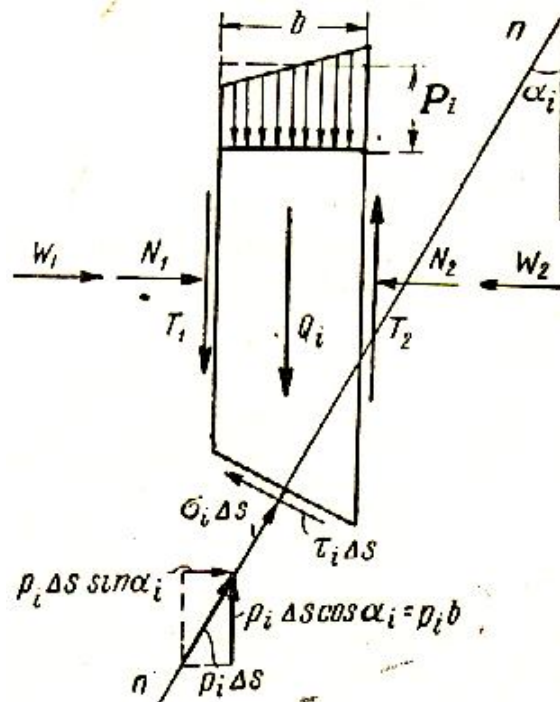
Исследование устойчивости оснований сооружений по способу круглоцилиндрических поверхностей скольжения применяется тогда, когда основание сложено однородными грунтами и смещение сооружения происходит по некоторой кривой, которую с достаточной для практики степенью точности можно заменить дугой окружности. Тогда проводя несколь-

ко возможных поверхностей скольжения через точку A и определяя соответствующие значения коэффициентов запаса устойчивости K , можно найти так называемую наиболее вероятную поверхность выпора, обладающую наименьшим по величине значением K .

На рис. 12 изображены все силы, действующие на один из вертикальных блоков, на которые развивается призма возможного выпора грунта при решении задачи об устойчивости основания.



a)



б)

Рис. 12. Расчетная схема метода круглоцилиндрических поверхностей для одностороннего выпора (а) и активные и реактивные силы, действующие на элементарный блок призмы выпора (б)

Под воздействием собственного веса сооружения и приложенных к нему внешних воздействий на поверхности выпора возникают реактивные напряжения σ и τ , которые должны уравниваться силами внешних воздействий и собственным весом сооружения. Другими словами, должны выполняться уравнения статики и, в частности, уравнение моментов относительно центра вращения точки O .

$$M_{OK} - \int R\tau(s)ds = 0. \quad (16)$$

Имея в виду формулу (18) легко получить выражение для вычисления численного значения коэффициента устойчивости основания

$$K = R \frac{b}{M_{OK}} \left[\sum (P_i + q_i - p_i) \operatorname{tg} \varphi_i \cos \alpha_i + \frac{\sum c_i \Delta s_i}{b} \right]. \quad (17)$$

Одной из разновидностей метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения (поверхностей выпора грунта) для однородного основания является метод Г. Вильсона, подробно изложенный в работе [16].

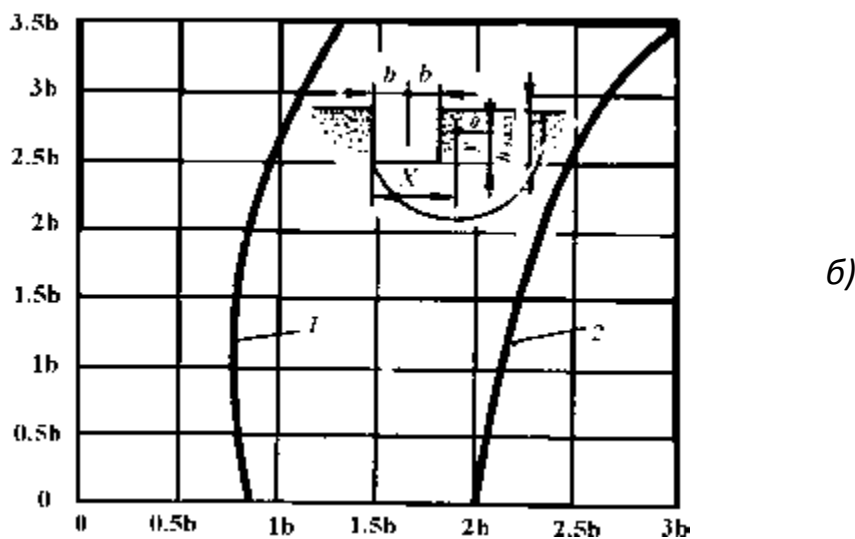
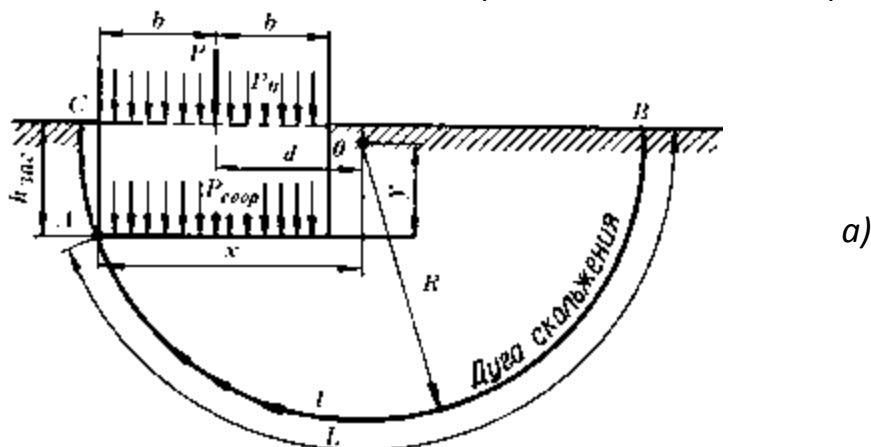


Рис. 13. Расчетная схема метода Г. Вильсона (а) и графики для определения координат центра вращения в однородном основании (б)

Предполагается, что дуга окружности (дуга линии скольжения, линии выпора) во всех случаях проходит через угловую точку *A* фундамента. Центр дуги скольжения располагается в точке с координатами *x* и *y* несколько ниже поверхности грунта и сбоку от фундамента. Цель расчета состоит в определении коэффициента запаса на возможное вращение сооружения с подстилающим его грунтом по дуге *СAB* вокруг центра *O*. Величина коэффициента устойчивости определяется как отношение сумм моментов удерживающих и сдвигающих сил, действующих по выбранной поверхности выпора грунта.

$$K = \frac{\sum M_O(F_{y\partial})}{\sum M_O(F_{c\partial})}. \quad (18)$$

В работе М.И. Горбунова-Посадова и В.В. Кречмера [39] приведено аналитическое решение (аналогичное решению Г. Вильсона) для фундаментов, передающих на однородное основание равномерно распределенную центрально приложенную вертикальную нагрузку, причем, основание сложено несвязными грунтами.

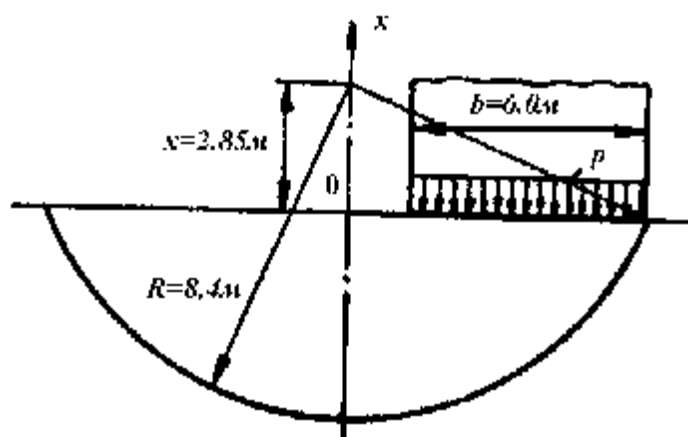


Рис. 14. Расчетная схема метода М.И. Горбунова-Посадова-Кречмера

Это решение позволило авторам построить вспомогательные графики, с помощью которых очень легко находятся центр и радиус наиболее вероятной круглоцилиндрической поверхности выпора грунта и величина соответствующей предельной интенсивности внешней нагрузки. Используя данный метод, определяется величина коэффициента запаса прочности грунтового основания η , как отношение численных значений предельно допустимой нагрузки на основание и соответствующего расчетного значения. Поясним, что предельно допустимое значение нагрузки на основание определяется из условия, что его коэффициент устойчивости $K=1$. Расчетное значение нагрузки – это ее величина при условии, что величина коэффициента устойчивости основания равна некоторому, заранее заданному, проектному значению, т.е. $K=K_{пр}$.

Сравнительно недавно предложен метод расчета несущей способности оснований [10], при реализации которого не накладывается ни одно

ограничение и не принимается ни одно из допущений, характерных для перечисленных выше методов.

Для построения наиболее вероятной линии выпора грунта в стадии упругой работы основания авторы впервые использовали методику, разработанную профессором Цветковым В.К., которая изначально предназначалась для построения наиболее вероятной линии скольжения в грунтовом откосе.

Определение напряжений в точках однородного грунтового основания осуществляется на основе аналитического решения первой основной задачи теории упругости для весомой однородной полуплоскости с трапециевидным вырезом на ее горизонтальной границе, полученного А.Н. Богомоловым [18], при помощи использования методов теории функций комплексного переменного.

Функция, совершающая конформное отображение нижней полуплоскости $\text{Im}z < 0$ на рассматриваемую односвязную область принята [18] в виде

$$z = \omega(\xi) = C_0 + C \cdot \xi + \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(\xi + a - b \cdot i)^{2k+1}}, \quad (19)$$

где $z = x + iy$; $\xi = \xi + i\eta$; $\eta < 0$; C_0 ; C ; $C_1 \dots C_{2k+1}$ – любые, в том числе и комплексные коэффициенты; a и b действительные числа, причем, $b > 0$.

При решении задачи об определении величины коэффициента устойчивости основания фундамента мелкого заложения прямоугольный вырез имитировался также, как это описано в работе [8].

На рис. 15, в качестве примера, изображена расчетная схема для решения этой задачи. Здесь же показана наиболее вероятная линия выпора грунта из-под подошвы фундамента (НВЛС) и ориентация площадок наиболее вероятного сдвига в точках грунтового основания.

Коэффициенты устойчивости K в любой точке грунтового массива и глобальный коэффициент устойчивости основания по наиболее вероятной линии определяются формулами [18; 20–22; 24]:

$$K = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz} \sin 2\alpha + \sigma_{св} \right] \text{tg} \varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha + \tau_{xz} \cos 2\alpha}, \quad (20)$$

$$K = \int_0^l F_{yд}(S) ds / \int_0^l F_{сд}(S) ds, \quad (21)$$

где: σ_z ; σ_x ; τ_{xz} и α – соответственно, напряжения и угол наклона наиболее вероятной площадки сдвига в рассматриваемой точке грунтового массива; $\sigma_{св} = C \text{tg} \varphi$ – давление связности (C и φ – соответственно, сцепление, и угол

внутреннего трения грунта); $F_{уд}$ и $F_{сд}$ – удерживающие и сдвигающие силы в точках НВПВ, определяемые, соответственно, числителем и знаменателем формулы (20); S – дуговая координата точки НВЛС.

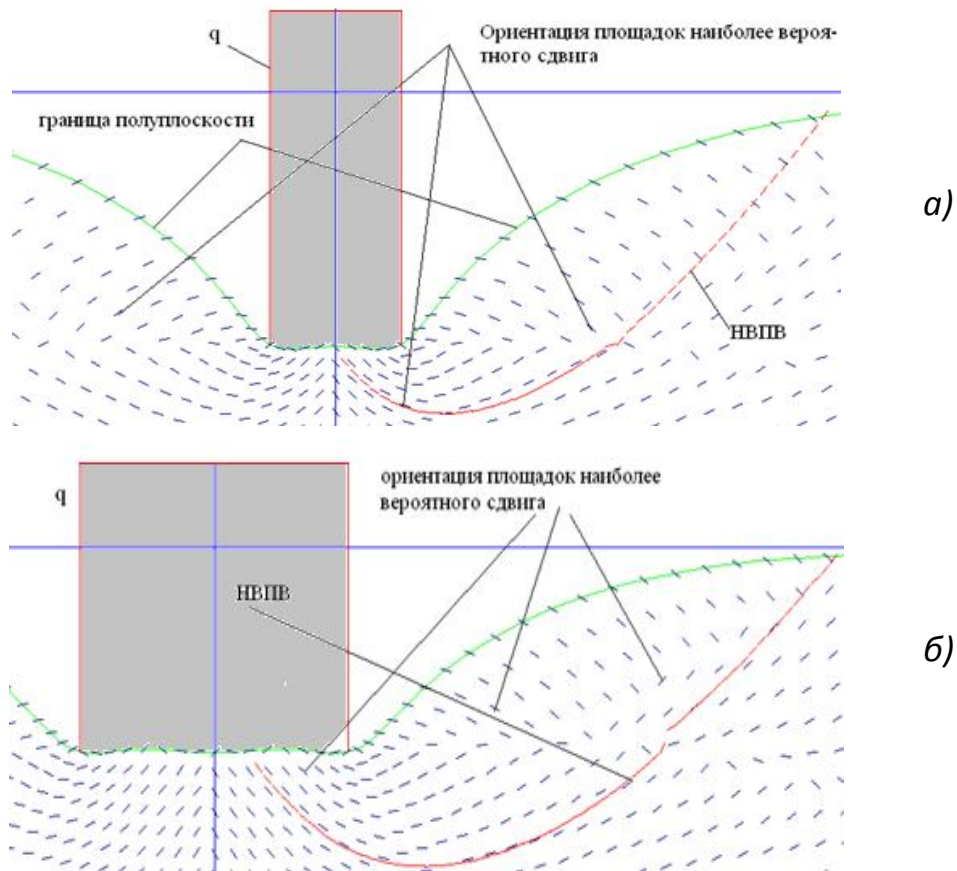


Рис. 15. Расчетная схема основания заглубленного фундамента для определения его несущей способности на основе методов ТФКП при величине отношения ширины фундамента к глубине его заложения $2b/h_3=0,5$ (а) и $2b/h_3=1,5$ (б)

Анализ этих формул показывает, что величина глобального коэффициента устойчивости грунтового основания зависит от всех трех компонент полного напряжения в каждой точке НВПВ, физико-механических свойств грунта и угла α – наклона касательной в каждой точке наиболее вероятной линии выпора, определяемого из условия (22) по формуле (23)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial K}{\partial \alpha} = 0; \\ \frac{\partial^2 K}{\partial \alpha^2} > 0, \end{array} \right\}, \quad (22)$$

$$\sin 2\alpha_{1;2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}}, \quad (23)$$

где $B = (\sigma_z + \sigma_x + 2\sigma_{св})$; $D = 4\tau_{xz}^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2$.

Следует особо отметить, что приведенное выше решение позволяет определять величину коэффициента устойчивости основания фундамента мелкого заложения при любом возможном в природе значении коэффициента бокового давления грунта ξ_0 и при любом законе распределения внешней нагрузки.

Отметим, если основание неоднородно, то предложенная методика также может быть использована, однако, в этом случае определение поля напряжений грунтового массива, следует проводить методом конечных элементов [24].

Сопоставим теперь результаты расчета величин коэффициентов запаса прочности η и коэффициентов устойчивости K оснований различных сооружений, которые заимствованы в различных источниках, с результатами вычислений, проведенных на основании сделанных нами предложений.

Все обозначения соответствуют обозначениям, используемым в цитируемых источниках.

Следует отметить, что в работе [1] под коэффициентом прочности η подразумевается отношение численных значений предельно допустимой P_n и действующей P_d нагрузок. Величина коэффициента устойчивости основания K , в общепринятом понимании, – это отношение суммы удерживающих сил к сумме сдвигающих сил, действующих вдоль наиболее вероятной поверхности выпора. Поэтому значения η и K для одного и того же объекта в силу их различного физического смысла не совпадают.

Пример 1. В работе [17] определяется коэффициент запаса прочности η однородного основания незаглубленного фундамента шириной 6 м, загруженного равномерно распределенной нагрузкой интенсивности $q=265$ т/м. Физико-механические свойства грунта имеют следующие значения: $\gamma=1,7$ т/м³; $\varphi=25^\circ$; $C=0$.

Расчет по методу М.И. Горбунова-Посадова и В.В. Кречмера [17] дал величину коэффициента запаса прочности $\eta=1,3$.

Расчет по методике проф. В.Г. Березанцева [1] дает величину $\eta=1,35$.

Нами проведен аналогичный расчет по методике, предложенной в работах [18; 19]. При этом напряжения в грунтовом массиве вычислялись при помощи метода конечных элементов.

Расчетная схема МКЭ, которая состоит из 10000 элементов, сопряженных в 5151 узлах, и наиболее вероятная поверхность выпора показаны на рис. 16 (сетка конечных элементов опущена, чтобы не загромождать рисунок).

Оказалось, что при нагрузке $q=305$ т/м и $\xi_0=0,4$ вычисленная нами величина коэффициента устойчивости основания равна $K=1,001$.

Тогда величина коэффициента запаса прочности будет $\eta=305/265=1,15$. Таким образом, полученное нами значение коэффициента запаса прочности на 11,5% и 11,1% меньше соответствующих значений, полученных методами [17] и [1].

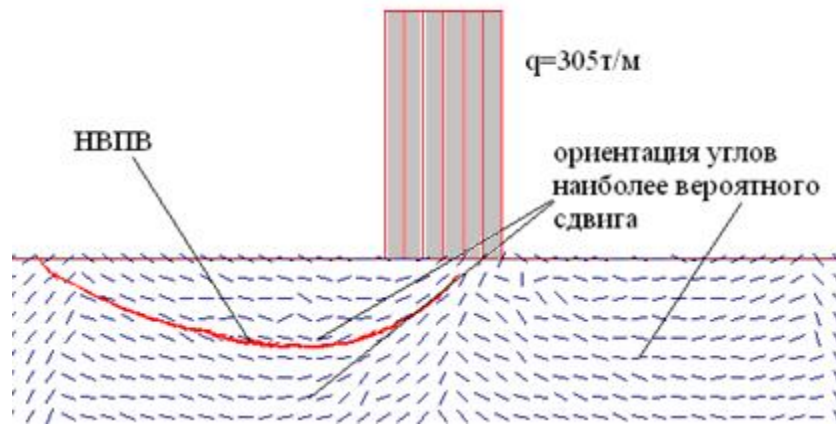


Рис. 16. Расчетная схема МКЭ к примеру №1

Пример 2. В работе [1] рассмотрен пример расчета несущей способности основания ленточного фундамента шириной 6м, передающего на основание нагрузку, вертикальная и горизонтальная составляющие которой соответственно равны $P_p=67$ т/м и $T_p=11,8$ т/м. Основание сложено пылеватым песком, имеющим объемный вес $\gamma=1,1$ т/м³ и угол внутреннего трения $\varphi=25^\circ$, сцепление $C=0$. Расчетная схема работы [1] и схема, использованная нами, приведены на рис. 17.

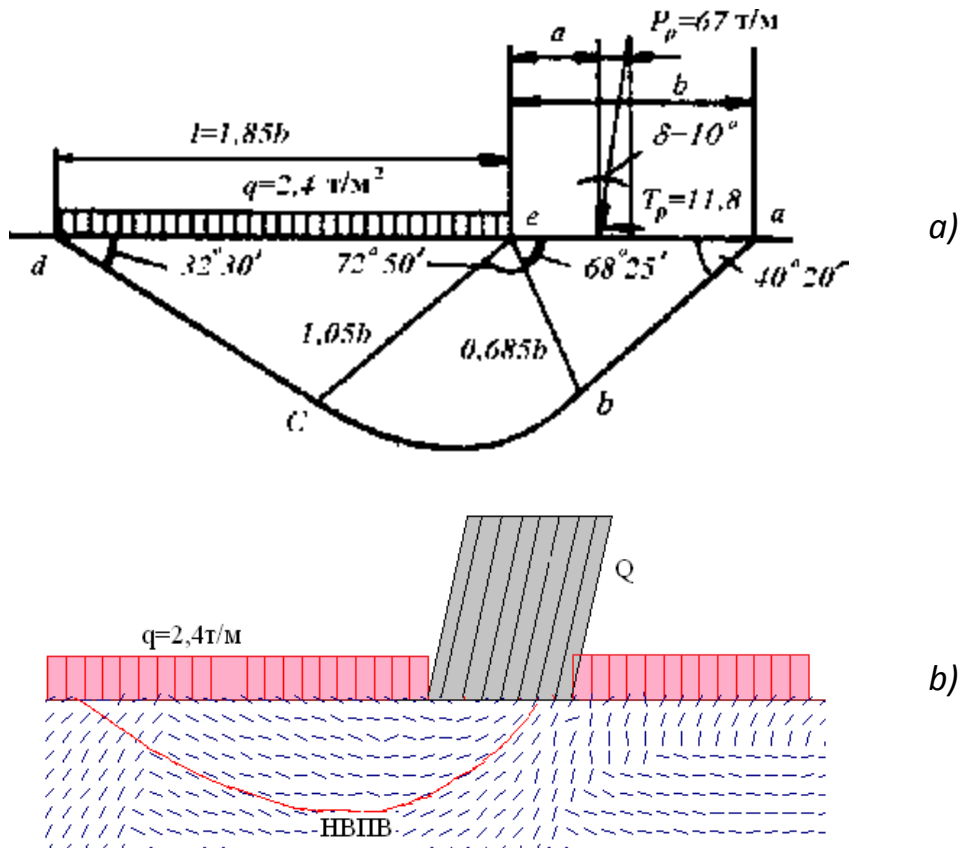


Рис. 17. Расчетная схема работы [1] к примеру № 2 (а), расчетная схема МКЭ к примеру № 2 (б)

В работе [1] сказано, что в результате вычисления коэффициентов устойчивости основания методом Д.Е. Польшина и Р.А. Токаря [25] и по формуле (43), приведенной в работе [1], их численные значения оказались соответственно равны 2,3 и 1,74.

Наши вычисления показывают, что если вертикальную и горизонтальную составляющие нагрузки увеличить на 60%, то величина коэффициента устойчивости основания, вычисленная по методике А.Н. Богомолова и Д.П. Торшина [18; 19], будет равна $K=1$, а величина соответствующего коэффициента прочности, что, очевидно, будет – $\eta=1,6$.

Пример 3. В параграфе 32 работы В.Г. Березанцева [1] рассмотрен пример определения коэффициента запаса прочности основания под фундаментом опоры моста шириной 5 м и длиной 20 м, заложенным на глубину 5 м. Грунт основания – плотный мелкий песок, насыщенный водой ($\gamma=1 \text{ т/м}^3$; $\varphi=32^\circ$; $C=0$). Нагрузка вертикальная $P=4250 \text{ т}$, приложена с эксцентриситетом $e=0,15 \text{ м}$. Величина коэффициента прочности вычислена равной $\eta=5,3$.

В то же время, величина коэффициента запаса прочности, вычисленная методом М.И. Горбунова-Посадова и В.В. Кремчера [17], оказалась равной $\eta=1,99$.

Наши вычисления (расчетная схема на рис. 18) дали следующие результаты. При величине интенсивности внешней нагрузки $q=42,5 \text{ т/м}^2$ (площадь фундамента 100 м^2 и основание работает в условиях плоской задачи, т.к. отношение длины фундамента к его ширине равно 5) коэффициент устойчивости основания $K=3,08$. Постепенно увеличивая величину интенсивности внешнего воздействия, мы определили, что при $q=238 \text{ т/м}^2$ величина коэффициента устойчивости станет равной $K=1,02$, а это означает, что величина коэффициента запаса прочности основания по расчетам, основанным на методике А.Н. Богомолова и Д.П. Торшина, составит $\eta=5,6$.

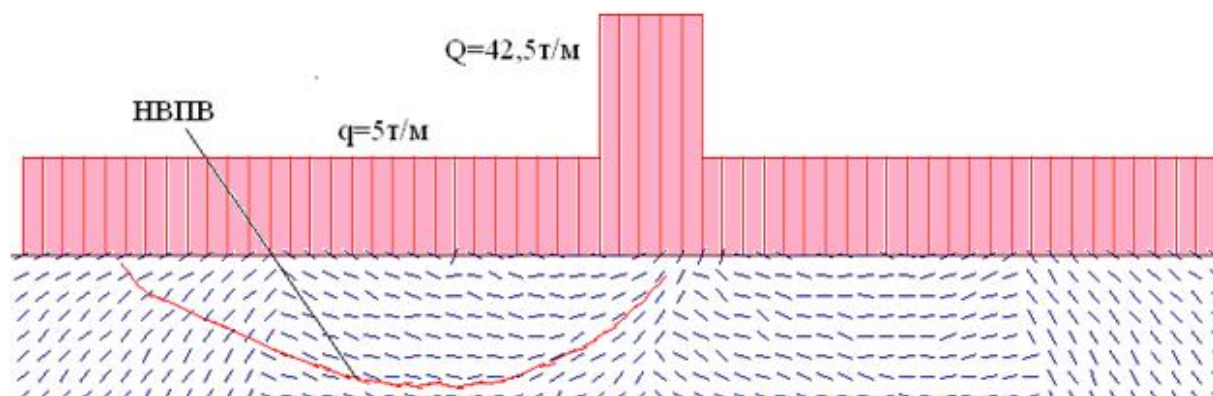


Рис. 18. Расчетная схема к примеру №3

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Тривиальные методы расчета несущей способности оснований фундаментов имеют следующие основные недостатки:

– собственный вес грунта не учитывается или учитывается косвенно, что в случае отсутствия боковой пригрузки предопределяет зарождение бесконечно больших пластических зон в несвязных грунтах при бесконечно малой интенсивности внешней нагрузки;

– использование расчетной схемы с боковой пригрузкой делает невозможным определение напряженного состояния части грунтового массива, расположенного выше подошвы фундамента. Согласно этой схеме, вдоль горизонтальной плоскости, проходящей через подошву фундамента, и, принимаемой условно за поверхность грунта, накладывается условие равенства нулю касательных напряжений, что оказывают существенное влияние на получаемый результат;

– расчет ведется при допущении, что величина коэффициента бокового давления грунта $\xi_0=1$. Это обстоятельство хотя и упрощает процесс получения решения, но вносит в результат значительную погрешность;

– в большинстве расчетных методах нагрузка на основание фундамента принимается равномерно распределенной. В случае центрального нагруженного фундамента прямоугольная эпюра внешней нагрузки соответствует характеру нагружения. Однако, при наличии некоторого эксцентриситета форма эпюры должна измениться, принимая вид некой трапеции. Поэтому величину несущей способности основания надо будет определять из условия минимальности коэффициента устойчивости по обеим возможным поверхностям выпора;

– используется положение о треугольной форме уплотненного грунтового ядра, образующегося под подошвой фундамента, хотя имеется множество экспериментальных и теоретических данных о том, что форма этого ядра не обязательно является треугольной;

– форма и положение наиболее вероятной линии (поверхности) выпора (скольжения) грунта принимаются заранее известными и т.д.

2. Результаты расчета величин коэффициента устойчивости, коэффициента прочности и допустимых нагрузок для одних и тех же объектов различными методами отличаются друг от друга до двух раз и более.

3. Методика расчета величины коэффициента устойчивости основания заглубленного фундамента, основанная на анализе полей напряжений, по нашему мнению, наиболее адекватно отвечает условиям рассматриваемой задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гениев Г.А.* К вопросу о постановке смешанной задачи теории упругости и статике сыпучей среды // Основания, фундаменты и механика грунтов. №5, 1966.

2. *Березанцев В.Г.* Расчет оснований сооружений. – Л.: Стройиздат, 1970.

3. Prandtl L. Uber die Harte plastischer Korper // Gottin-gen Nachrichten, 1920.
4. Струганов А.С., Снарский А.С. Инженерный метод расчета несущей способности оснований и его экспериментальная оценка // Основания, фундаменты и механика грунтов, №4, 1996.
5. Струганов А.С. Несущая способность пластически неоднородного основания, ограниченного жестким подстилающим слоем // Основания, фундаменты и механика грунтов, №6, 1974.
6. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. М.; Л.: АН СССР, 1942.
7. Fedorovsky V.G. Stability of foundations under eccentric and inclined loads // Proc. 12th ICSMFE. Rio-de-Janeiro, Vol. 1, 1989.
8. Малышев М.В. Теоретические и экспериментальные исследования несущей способности песчаного основания // Информ. материалы ВОДГЕО, №2, 1953.
9. Христофоров В.С. Расчет устойчивости грунта в основании сооружений с учетом клина уплотненного грунта // Гидротехн. Строительство, №2, 1951.
10. Минцковский М.Ш. О некоторых вопросах плоской задачи устойчивости оснований сооружений. – Киев: Изд-во АСИА УССР, 1962.
11. Zaharescu E. Contributii la studial capacitatii portante a fundatiilor. Editura Academici RPR, 1961.
12. Meyerhof G.G. Some Recent Foundation Research and its Application to Design // Structural Engineer, Vol.31, N6, 1953.
13. Meyerhof G.G. The Ultimate Bearing Capacity of Foundations // Geotechnique, №2, 1951.
14. Terzaghi K. Theoretical Soil Mechanics. – Wiley, New-Jork, 1947.
15. Феллениус. Статика грунтов. – М. : Стройиздат, 1933.
16. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. – М.: Высш. шк., 1982.
17. Горбунов-Посадов М.И., Кречмер В.В. Графики для расчета устойчивости фундаментов. – М.: Госстройиздат, 1951.
18. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. – Пермь.: ПГТУ, 1996.
19. Торшин Д.П. Разработка инженерного метода расчета несущей способности основания заглубленного фундамента на основе анализа напряженно-деформированного состояния : дис. канд. техн. наук / ВолгГАСУ. – Волгоград, 2002.
20. Вихарева О.А. и др. Новый подход к определению напряжений в основании заглубленного фундамента // Изв. вузов. Строительство, №5, 2001.
21. Вихарева О.А. и др. Образование областей пластических деформаций в основании заглубленного фундамента при неравномерной нагрузке / О. А. Вихарева [и др.] // Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций : материалы Междунар. Науч.-техн. конф. – Волгоград, 1998 – Ч.2.
22. Вихарева О.А. Определение коэффициентов отображающей функции при решении задач геомеханики на основе использования методов ТФКП // Тр. Междунар. семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. – Пермь, 2000.
23. Богомолов А.Н. Определение напряженного состояния основания сваи-стойки // Вестн. ВолгГАСА. Сер. Строительство и архитектура, Вып. 1, 1999.
24. Wang F.D., Sun M.C., Ropchan D.M. Computer Program for Pit Slope Stability Analysis bei the Finite Element Stress Analysis and Limiting Equilibrium Method // RJ 7685. Burin of Mints, 1972.
25. Польшин Д.Е., Токарь Р.А. Приближенный графоаналитический способ расчета оснований на устойчивость // Сб. тр. НИИ оснований и фундаментов, №18, 1952.

**О.А. Богомолова, А.В. Ечевский, Б.С. Бабаханов,
А.В. Соловьев, С.А. Богомолов, Р.С. Нестеров**

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В работе [1] предложен метод отыскания коэффициента запаса устойчивости грунтовых откосов, основанный на результатах анализа процесса трансформации полей напряжений и перемещений, происходящего в грунтовом откосе, после изменения главного вектора внешней нагрузки в следствие нагружения массива грунта.

Поводом для данного предложения стала работа Н.Н. Потаповой [2], в которой показано, что величина коэффициента запаса устойчивости грунтового откоса может быть определена как отношение алгебраических сумм работ удерживающих и сдвигающих сил, действующих в точках наиболее вероятной линии скольжения

$$K = \frac{\sum A_{iуд}}{\sum A_{iсд}} = \frac{\sum (F_{iуд} \delta_i \cos \alpha_{iуд})}{\sum (F_{iсд} \delta_i \cos \alpha_{iсд})}, \quad (1)$$

где $F_{iуд}$, $F_{iсд}$ – соответственно удерживающая и сдвигающая сила в i -ой точке наиболее вероятной линии скольжения; δ_i – полное перемещение i -ой точки линии скольжения от действующей нагрузки; $\alpha_{iуд}$, $\alpha_{iсд}$ – углы между положительным направлением удерживающей и сдвигающей силы и направлением вектора полного перемещения соответственно в i -ой точке НВЛС.

В работе [1] указано на ошибку, содержащуюся в формуле (1), которая состоит в том, что в расчет принимаются полные перемещения, в которые, помимо перемещений от внешней нагрузки, входят перемещения и от собственного веса грунта. Перемещения от собственного веса грунта формируются на протяжении всего периода существования грунтового массива и потому истинные их значения не могут быть определены методами теории упругости.

Исключить эти неизвестные перемещения из расчетов при отыскании величины коэффициента запаса устойчивости основания фундамента можно следующим образом. Вычисляем перемещения n точек исследуемой области, лежащих на наиболее вероятной линии скольжения, с учетом внешних нагрузок и собственного веса грунта Δ_i . Затем вычисляем перемещения тех же n точек δ_i , возникающие только от собственного веса грунта без учета внешней нагрузки. Разность этих перемещений, с позиций

теории упругости, и будет равна собственно перемещениям только от действия внешней нагрузки. Причем, в результате операции вычитания будут уничтожены и погрешности результата, возникающие, например, из-за неадекватности граничных условий, степени дискретизации расчетной области, неправильного выбора ее размеров и т.д.

Формула (1) примет в этом случае вид

$$K = \frac{\sum A_{iy\delta}}{\sum A_{ic\delta}} = \frac{\sum (F_{iy\delta} (\Delta_i - \delta_i) \cos \alpha_{iy\delta})}{\sum (F_{ic\delta} (\Delta_i - \delta_i) \cos \alpha_{ic\delta})}. \quad (2)$$

Для оценки разницы численных значений величин коэффициентов запаса устойчивости K , получаемых при помощи метода, предложенного Н.Н. Потаповой [2], и на основе сделанных нами предложений, воспользуемся компьютерной программой [3], разработанной в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете и получившей государственную регистрацию. Необходимо отметить, что в данной компьютерной программе формализован метод построения наиболее вероятной линии выпора грунта, основанный на анализе полей напряжений грунтового массива и обеспечивающий выполнение условия минимальности коэффициента запаса устойчивости в каждой точке линии выпора грунта.

Рассмотрим пример. Пусть незаглубленный фундамент шириной $b=5$ м устраивается на однородном изотропном основании, имеющим следующие физико-механические свойства: объемный вес грунта $\gamma=1,8$ т/м³; сцепление $C=0,037$ МПа; угол внутреннего трения $\phi=23^\circ$; величина коэффициента бокового давления грунта $\xi_0=0,75$, что соответствует среднему его значению для глинистых грунтов [4], а величина модуля деформации $E_0=500$ МПа.

Величина интенсивности равномерно распределенной нагрузки, передаваемой на основание, $q=5\gamma b=9$ т/м².

На рис. 1 приведен фрагмент расчетной схемы МКЭ, которая состоит из 27000 конечных элементов, сопряженных в 13741 узле. При этом ширина матрицы жесткости системы равна 186.

В результате проведенных вычислений установлено, что в случае реализации формулы (1) величина коэффициента запаса устойчивости основания $K_{(1)}=1,48$, а в случае использования в качестве расчетной формулы (2) – $K_{(2)}=1,604$, т.е. на 8,4% больше.

Для того, чтобы оценить, чем оборачивается это различие численных значений коэффициентов запаса устойчивости, нами проделаны дополнительные вычисления, смысл которых заключался в следующем: постепенно уменьшая интенсивность внешнего воздействия q мы добились того, что величина коэффициента запаса устойчивости основания, вычисленная на основе формулы (1), стала равной $K_{(1)}=1,64$. Оказалось, что величина интенсивности внешнего воздействия при этом снизилась до значения

$q=8,01 \text{ т/м}^3$, т.е. на 11,1%. Таким образом, расчет устойчивости оснований фундаментов, основанный на энергетическом подходе, позволяет мобилизовать существующие резервы несущей способности.

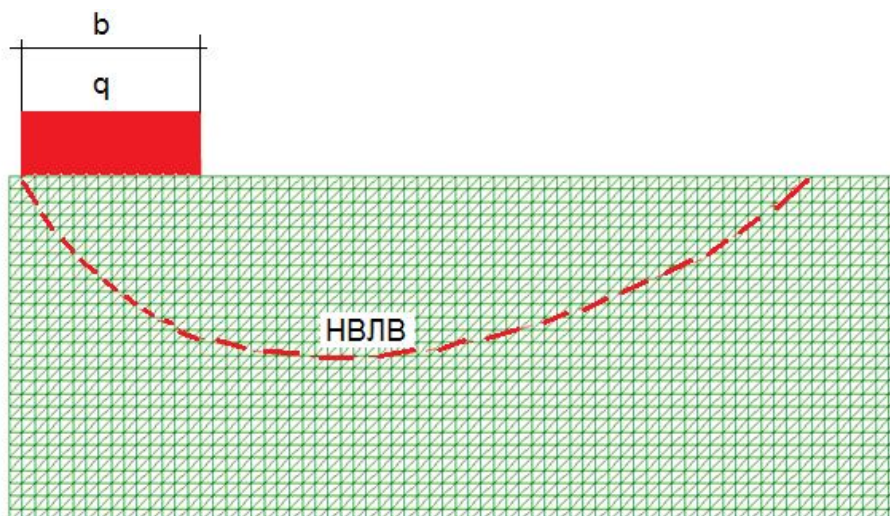


Рис. 1. Фрагмент расчетной схемы для вычисления величины коэффициента запаса устойчивости K основания незаглубленного фундамента

В заключении отметим, что ни один из используемых в настоящее время методов расчета устойчивости (несущей способности) оснований фундаментов не позволяет учесть величины дополнительных перемещений точек грунтового массива, возникающих в процессе его нагружения. Если грунтовое основание однородно и изотропно, что практически невозможно, то значение его коэффициента запаса устойчивости K не будет зависеть от величины модуля деформации E_0 . В противном случае численные значения напряжений и перемещений будут зависеть от соотношения величин модулей деформации E_0 и коэффициентов бокового давления грунта ξ_0 и эту зависимость можно будет учесть только на основе использования сделанных в настоящей работе предложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богомолов А.Н. и др. Расчет устойчивости нагруженных откосов на основе использования принципа возможных перемещений // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства : материалы Международной конференции. Пермь: ПНИПУ, 2011. — С. 350–355.
2. Потапова Н.Н. Оценка устойчивости грунтовых откосов и несущей способности оснований сооружений на основе анализа распределения напряжений и перемещений / Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Волгоград: ВолгГАСА, 2001. — 205 с.
3. Богомолов А.Н. и др. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
4. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: ВШ, 1978. – 447 с.

Б.А. Бондарев, А.Б. Бондарев, А.В. Длугашевский

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Липецкий государственный технический университет

На рис. 1 приведен алгоритм определения параметров безопасной работы элементов конструкций с применением полимерных композиционных материалов (ПКМ).

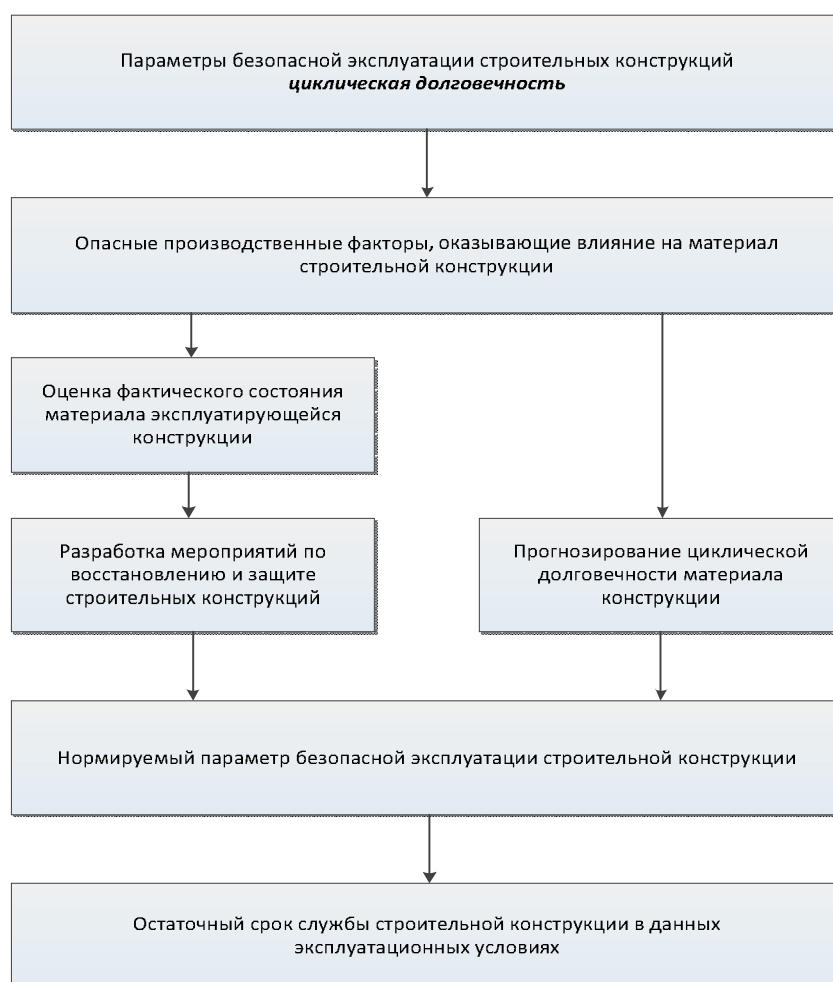


Рис. 1. Основные принципы обеспечения безопасности эксплуатируемых элементов конструкций

Комплексный подход к решению проблем надежности и работоспособности элементов конструкций транспортных сооружений включает в себя следующие понятия:

– анализ состояния материалов несущих конструкций и сооружений с учетом технологии изготовления и эксплуатационных дефектов;

– определение характера, параметров, расположения и размеров дефектов в материале конструкции.

Характер, параметры, расположение и размеры дефектов определялись в результате технических обследований мостов и путепроводов, выполненных нами в 2008–2010 гг.

Основные дефекты элементов конструкций мостового полотна приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные дефекты элементов конструкций мостового полотна

№ п/п	Элементы мостового полотна	Дефекты	Процентное соотношение дефектов, %
1.	Покрытие	Трещины	25,0
		Неровности	30,0
		Разрушения	10,0
		Одиночные выбоины	10,0
		Частые выбоины	15,0
		Разрушение покрытия и нижележащих слоев (защитного слоя и др.)	9,0
		Отсутствие покрытия	1,0
2.	Гидроизоляция	Одиночные точечные протечки в плитах снизу	10,0
		Локальные протечки	30,0
		Протечки по плитам	60,0
3.	Система водоотвода	Застой воды на ездовом полотне	10,0
		Застой вода на тротуаре	5,0
		Отсутствие уклонов	20,0
		Дефекты водоотводных трубок	25,0
		Дефекты организованного продольного стока воды	14,0
		Нарушение водосброса на подходах	10,0
		Дренаж	16,0
4.	Деформационные швы	Нарушение герметичности	70
		Нарушение плавности проезда	30

Оценка фактического состояния материалов элементов конструкций проводилась традиционными методами и достаточно подробно изложенными в нормативной литературе (лаборатория, неразрушающие методы и т.д.), а также транспортно-эксплуатационные системы мостового полотна по ОДН 218.017-03.

На третьем этапе осуществлялась разработка мероприятий по восстановлению и защите элементов конструкций с применением ПКМ, обладающих гидроизоляционным и антикоррозийным свойством.

При этом решаются следующие принципиальные задачи:

1. В качестве основного компонента смол ФАЭД и ФАЭС используется одна из самых дешевых и доступных смол (ФА или ФАМ) количество которой в модифицированной смоле составляет не менее 70%.

2. Новые смолы обладают низкой вязкостью и могут использоваться для окрасочных работ с применением обычных инструментов (кисти, валики) или оборудования (воздушные пистолеты), не требуя предварительного разогрева и использования растворителей.

3. Пластификация указанных смол каучуком, снятие внутреннего напряжения, позволяет осуществлять лакокрасочную изоляцию без ее армирования (волокном, тканью и т.п).

4. Смолам ФАЭД и ФАЭС за счет модификации «привиты» новые свойства, которые не присущи как мономеру ФАМ, так и эпоксидным смолам, то есть возможность отвердевать на влажном основании, обеспечивая при этом сцепление с бетоном.

Практической реализацией настоящих исследований явилось замена существующей конструкции проезжей части автодорожных мостов и путепроводов, состоящей из:

- выравнивающего слоя бетона, толщиной 30 мм;
- слоя гидроизоляции; толщиной 15 мм;
- защитного слоя гидроизоляции – 60 мм

на устройство антикоррозийного и износостойкого покрытия из полимерного композиционного материала на основе модифицированной смолы ФАЭС-30.

На четвертом этапе осуществлялось прогнозирование циклической долговечности ПКМ на основе разработанных автором методов [1].

Результаты таких исследований позволили сделать вывод о возможности применения ПКМ на основе фурановых, фурано-эпоксидных, полиэфирных смол в элементах конструкций транспортных сооружений. Нормирование параметров циклической долговечности ПКМ позволило получить значения коэффициентов условий работы, а также значения нормативных и расчетных сопротивлений усталости исследуемых ПКМ. В табл. 2 приведены значения этих показателей для полимербетоннов ФАЭС-30.

Нормативные и расчетные сопротивления
усталости полимербетонов ФАЭС-30

№ п/п	$R_B = \frac{\delta_{\min}}{\delta_{\max}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1.	R_B^p , (МПа)	31,3	33,1	34,8	36,5	38,3	40,0	41,8	43,5	45,2	47,9
2.	R_B^H , (МПа)	22,8	24,2	25,4	26,6	27,9	29,2	30,5	31,8	32,9	34,9

Значения нормативных и расчетных сопротивлений усталости полимербетонов ФАМ и ПН-609-21М приведены в [1].

На завершающем этапе производится оценка остаточного ресурса транспортного сооружения по методике [2], после выполнения работ по устройству гидроизоляции мостового полотна с применением ПКМ. При этом под остаточным ресурсом понимается суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние. Расчет величины остаточного ресурса напрямую связан с определением различных показателей надежности: относительной поврежденности или относительной надежности объекта, величина которых варьируется в зависимости от технического состояния объекта. Величина остаточного ресурса после выполнения работ по устройству гидроизоляционного слоя на путепроводе «Лебедянский» в г. Липецке выросла на 10%.

Технико-экономическое обоснование применения ПКМ в элементах конструкций транспортных сооружений позволило использовать в качестве основного варианта конструкций мостового полотна следующее асфальтобетонное покрытие – 80 мм; гидроизоляция с применением ПКМ – 40 мм. Экономический эффект от применения ПКМ в элементах конструкций мостового полотна составляет 42,6 руб. на 1 м² поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бондарев А.Б.* Прогнозирование циклической долговечности полимерных композитных материалов [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2011. — 22 с.
2. *Скибин Г.М. и др.* Методические указания по прогнозированию остаточного ресурса надземных объектов металлургической промышленности. Липецк, 2010. УОС.

Б.А. Бондарев, Л.А. Прозорова

СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Липецкий государственный технический университет

В статье рассматриваются основные методы повышения физико-механических свойств дорожных покрытий при возрастающей интенсивности и грузонапряженности движения транспортных средств.

Дороги – визитная карточка страны, одна из основ ее экономической жизни. Эффективная работа транспорта – необходимое условие успешного развития всех без исключения отраслей народно-хозяйственного комплекса. И наоборот, плохие дороги могут стать непреодолимым препятствием для экономического роста, сводя на нет положительный эффект даже самых крупных инвестиций. Но пренебрежение к качеству дорожного покрытия оборачивается не только увеличением эксплуатационных расходов и снижением срока службы транспортных средств, а и ростом числа аварий, ущерб от которых одними деньгами измерить невозможно.

Повышенная нагрузка на дорожные покрытия при, зачастую, неудовлетворительной конструкции дорог, недостаточной связи слоев и низком качестве асфальта приводит к образованию колеи, трещин и выбоин.

Установлено, что особенностью работы дорожного покрытия на участках с переменной жесткостью оснований является повышенные деформации растяжения при изгибе, возникающие в материале покрытия в процессе эксплуатации при вариации модуля упругости основания. Это предъявляет повышенные требования к деформативности и прочности покрытия в условиях растяжения при изгибе, которые могут достигаться следующими способами:

– применение полимербитумных вяжущих позволит повысить трещиностойкость и сдвигустойчивость асфальтобетонных покрытий; полимербитумные вяжущие обладают более широким диапазоном пластичности по сравнению с обычными нефтяными битумами, что обеспечивает более высокую усталостную долговечность асфальтобетонных покрытий, их большую устойчивость к образованию пластических деформаций (сдвигов, колеи и т.д.) при высоких эксплуатационных температурах; применение ПБВ продлевают сроки службы асфальтобетонных покрытий и сокращают затраты на проведение ремонтных работ;

– введение добавок дробленой резины, позволит получить асфальтобетоны с повышенной трещиностойкостью при низких температурах и с повышенной сдвигоустойчивостью при высоких температурах;

– использование армирующего волокнистого наполнителя в составе асфальтобетонных смесей позволит получить асфальтобетоны, обладающие повышенной трещиностойкостью при низких температурах и устойчивостью в отношении образования пластических деформаций при высоких температурах;

– для уменьшения влияния переменной жесткости основания в конструкции покрытия целесообразно предусмотреть устройство трещинопрерывающих прослоек мембранного типа и армирующих геосеток.

Повышение трещиностойкости самого асфальтобетона достигается введением в состав асфальтобетона армирующих волокнистых наполнителей, а также применением полимербитумных, резинобитумных и других видов композиционных битумных вяжущих с улучшенными характеристиками деформативности и широким диапазоном пластичности.

В состав материалов на основе битумных вяжущих можно вводить органические полимерные волокна, образующиеся при производстве лавсана. В качестве органических волокон в составе композиционных органических вяжущих находят применение также целлюлозные и другие растительные волокна [1].

Эффективность внедрения резиноасфальтобетонных смесей определяется увеличением сроков службы покрытий и снижением затрат на их ремонт.

Резиновая крошка, получаемая переработкой изношенных резинотехнических изделий (в первую очередь, изношенных автомобильных шин), способствует улучшению деформативных и прочностных характеристик асфальтобетонов, и одновременно решению проблемы утилизации промышленных отходов.

При производстве резиноасфальтобетонных смесей резиновая крошка включается в состав асфальтового вяжущего.

Сроки службы дорожных асфальтобетонных покрытий в значительной степени зависят от качества асфальтового вяжущего (т.е. битума и мелкодисперсного наполнителя), применяемого для приготовления асфальтобетона. С учетом климата нашей страны одним из важнейших требований, предъявляемых к дорожным битумам, является широкий интервал пластичности, обеспечивающий необходимую деформативность асфальтобетона в широком диапазоне температур: высокую сдвигоустойчивость в жаркое летнее время и высокую трещиностойкость при низкой температуре зимой.

Величина интервала пластичности определяется как разность между температурой размягчения битума и его температурой хрупкости.

В настоящее время дорожные битумы, производимые нефтеперерабатывающими предприятиями в соответствии с ГОСТ 22245-90*, имеют, как правило, интервал пластичности 60–62°C, тогда как для климатических усло-

вий центральной части страны величина интервала пластичности должна быть не менее 72°С, а для большинства районов Сибири – не менее 80°С.

Эффективным способом получения битумных вяжущих с широким интервалом пластичности является модификация их добавками резиновой крошки. Использование резиновой крошки в качестве модификатора битума является более эффективным по сравнению с добавками синтетических каучуков, стоимость которых значительно выше, чем резиновой крошки [2].

Асфальтобетонные смеси на полимербитумных вяжущих применяют для повышения трещиностойкости и сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий устраиваемых на дорогах с тяжелым интенсивным движением, на мостах, аэродромах, в местах остановок транспорта.

Смеси, приготавливаемые с введением добавок дробленой резины, позволяют получить асфальтобетоны с повышенной трещиностойкостью при пониженных эксплуатационных температурах и повышенной сдвигоустойчивостью при высоких эксплуатационных температурах. Введение дробленой резины (резиновой крошки) в состав асфальтобетонных смесей может быть осуществлено двумя способами:

- введением резиновой крошки вместе с минеральными компонентами асфальтобетонной смеси, например, вместе с минеральным порошком без подогрева («сухой» способ);

- введением резиновой крошки в битум с последующим введением резинбитумного вяжущего в асфальтосмесительную установку и перемешиванием с минеральными компонентами («мокрый» способ) [3].

Для конструкций дорожных одежд с основанием из различных цементобетонных и щебеночных смесей предусмотрено устройство верхних слоев покрытия из резиноасфальтобетона. Расчет толщины конструктивных слоев проводится с учетом особенностей условий работы конструкции дорожной одежды – расчетной нагрузки (интенсивности движения), назначения дороги, типа продольного профиля, условий местности по типу увлажнения земляного полотна и типу грунтового основания.

Исследования асфальтобетонов с добавками резинового порошка позволили сделать вывод, что использование резиновой порошка позволяет получить:

- асфальтобетоны типа ЩМА, соответствующие требованиям ГОСТ 31015-2002, без использования специальных стабилизирующих добавок (типа Виатоп);

- щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси с уменьшенным расходом битума;

- асфальтобетоны типа ЩМА с более высокими показателями трещиностойкости и меньшим водонасыщением;

- асфальтобетоны типа «А» с более высокими показателями трещиностойкости и более низким водонасыщением.

Верхние слои покрытия автомобильных дорог из резиноасфальтобетонных смесей увеличивают срок службы дорожных покрытий, повышают

устойчивость покрытия к колееобразованию и повышает трещиностойкость. Низкое водонасыщение способствует продлению срока службы дорожного полотна.

Для дополнительного повышения прочности асфальтобетонных смесей при изгибе целесообразно использование введения в состав смесей армирующих волокнистых наполнителей.

Асфальтобетонные смеси с волокнистыми наполнителями обладают повышенной трещиностойкостью при пониженных температурах и устойчивостью в отношении образования пластических деформаций при высокой температуре.

В качестве армирующих волокон могут быть использованы природные или синтетические минеральные волокна (в т.ч. асбестовое волокно, стекловолокно, базальтовые волокна и др.), полимерные, целлюлозные и др. Состав армированного асфальтобетона проектируется в соответствии с общими принципами подбора состава асфальтобетонных смесей.

Для уменьшения влияния переменной жесткости основания в конструкции покрытия целесообразно предусмотреть укладку трещинопрерывающих прослоек.

Трещинопрерывающие прослойки устраивают двух типов:

- а) прослойки в виде армирующих геосеток;
- б) прослойки мембранного типа.

Конструкции дорожных одежд с трещинопрерывающими прослойками выбираются с учетом требований к прочности дорожной конструкции в зависимости от интенсивности, грузонапряженности и состава движения автотранспорта на конкретном участке дороги.

Конструкции дорожной одежды с трещинопрерывающими прослойками в виде армирующих сеток необходимо устраивать следующим образом:

а) При устройстве асфальтобетонного покрытия на цементобетонном основании (сплошное армирование);

б) При укладке нового асфальтобетонного покрытия поверх старого растрескавшегося асфальтобетонного покрытия (сплошное армирование).

в) При устройстве асфальтобетонного покрытия на цементобетонном основании (локальное армирование – участки дороги имеют одиночные выраженные трещины, при расстоянии между трещинами более 15 м).

Для трещинопрерывающих прослоек мембранного типа толщиной 3–4 см используют модифицированные битумные вяжущие с повышенными деформативными характеристиками.

К дорожному покрытию на участках с большими продольными уклонами предъявляются повышенные требования к коэффициенту сцепления автомобильных колес с покрытием.

Для решения этой задачи могут быть рекомендованы следующие технические решения:

а) устройство на участках с большими продольными уклонами цементобетонного покрытия;

б) устройство на участках с большими продольными уклонами покрытий из асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием разнопрочных каменных материалов.

Обеспечение стабильной шероховатости поверхности асфальтобетонного покрытия в процессе эксплуатации достигается за счет применения в составе минеральной части крупных фракций каменных материалов с разной прочностью.

Асфальтобетонные смеси с крупными фракциями каменных материалов разной прочности (щебня, гравия, песка) применяются для обеспечения более устойчивой в процессе эксплуатации шероховатости поверхности покрытия за счет неравномерной истираемости компонентов асфальтобетона.

Это достигается применением в смеси продуктов дробления горных пород различной прочности. Например, щебеночный материал в составе смеси может состоять из 75% (по массе) частиц гранитного щебня и 25% частиц известнякового щебня. Наряду с речным кварцевым песком в составе могут быть использованы соответствующей крупности продукты дробления известняков и доломитов.

Совмещение минеральных компонентов разной прочности позволяет без снижения прочностных характеристик асфальтобетона повысить степень уплотняемости асфальтобетонных смесей и обеспечить стабильную шероховатость поверхности покрытия за счет неравномерного износа минеральных частиц разной прочности и, кроме того, позволяет экономить гранитный щебень за счет использования местных менее прочных каменных материалов.

Одним из перспективных направлений повышения долговечности и эксплуатационной надежности дорожных покрытий на участках с большими продольными уклонами в сочетании с неблагоприятными воздействиями окружающей среды является устройство слоев из высококачественного бетона. К таким бетонам предъявляются повышенные требования в отношении качества применяемых материалов, использования современных добавок, модификаторов, армирования и технологии получения бетонов, стойких в условиях воздействия знакопеременных нагрузок и агрессивной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руденский А.В. Сборник технической информации «Наука – московскому строительству», №4, 2007.

2. Коровяков В.Ф., Городецкий Л.В., Руденский А.В., Тараканов С.А., Курашкин И.Н., Морева И.Д., Якимчикова Т.А., Соляников М.Ю. Разработка технологии и создание опытно-промышленных образцов устройств приготовления резиноасфальтобетонов на основе эффекта влияния нелинейных воздействий для применения в дорожном строительстве. Гос. контракт № 028/07-2009. Этап 1.

3. Городецкий Л.В., Бега Р.И., Руденский А.В., Демин В.Ф., Балашов А.М., Тараканов С.А., Манылова Н.Н., Филатов В.Ю., Якимчикова Т.А., Морева И.Д., Курашкин И.Н., Галкин А.С., Соляников М.Ю., Зинченко Л.И., Груздева М.А., Корчонкин Ю.М., Прокопович И.М., Ростовский А.В. Разработка опытных конструкций дорожных одежд скоростных магистралей. Гос. контракт № 8/3-399н-07 № гос. регистрации 0120.0 800428.

Б.А. Бондарев, Ю.В. Штефан, Л.А. Прозорова

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШЛАКОВЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Липецкий государственный технический университет

В статье рассматриваются основные методы исследования физико-механических свойств шлаковых асфальтобетонов в условиях естественной эксплуатации.

Проблемы увеличения межремонтных сроков службы автомобильных дорог тесно связаны с применением прогрессивных технологий и поиском дорожно-строительных материалов, отвечающих современным требованиям, одним из которых являются асфальтобетоны на шлаковых заполнителях.

Разработка технологии изготовления и оптимальных составов асфальтобетонов на основе шлаковых заполнителей для Липецка и области является актуальной проблемой в связи с отсутствием природных плотных заполнителей для асфальтобетонов. Шлаковые асфальтобетоны имеют повышенную пористость и влагопроницаемость. Кроме того, за счет развитой поверхности доменные шлаки требуют повышенного расхода битума. В последние годы в асфальтобетоны на этих заполнителях не вводят порошки, так как некоторые ученые высказывают мнение, что шлаковые заполнители уже содержат пылевидные частицы, играющие роль наполнителя в асфальтобетоне. Минеральные порошки (наполнители) оказывают структурирующее действие на битумное вяжущее, повышая его теплостойкость и вяжущую способность, заполняют мелкие поры, которые все еще остаются в минеральном остове после добавки в основной каркас песка. Изготовление наполнителей из молотых горных пород или шлаковых материалов требует дополнительных энергозатрат на помол, поэтому использование готовых дисперсных отходов промышленности, таких как шлам ТЭЦ – отход от умягчения воды известью, также является актуальной проблемой охраны окружающей среды и утилизации этих отходов.

Теоретически обосновано использование в качестве наполнителей тонкодисперсных отходов местной промышленности, не требующих дополнительных затрат на помол, а также использование гидрофобно-пластифицирующих кремнийорганических жидкостей для активации этих отходов. Также теоретически обосновано применение шлама ТЭЦ и активатора ГКЖ-11 по сравнению с другими активированными наполнителями. Ионы кальция, содержащиеся в шламе ТЭЦ, имеющие малый радиус, об-

ладают повышенной способностью к адсорбции и могут достраивать кристаллическую решетку в шлаковых материалах, обеспечивая высокую прочность сцепления с ними. Поскольку гидрофобизатор ГКЖ-11 и битум содержат практически одинаковые метильные радикалы, они обеспечивают более прочное сцепление при адсорбции их поверхностными порами шлаковых заполнителей. Поскольку молекула ГКЖ-11 обладает способностью ориентироваться неполярной частью поверхности твердого материала, ее полярная часть гидрофобизует внутренние поверхности пор, уменьшая поглощение ими легких фракций битума, это способствует замедлению его старения. В тоже время, органический радикал ГКЖ-11 способствует высокому сцеплению его с битумом, обеспечивая высокую плотность, прочность, водонепроницаемость и повышение эксплуатационных характеристик покрытия. Проведено изучение влияния тонкодисперсных отходов местной промышленности на свойства битума. Были исследованы: цементная пыль, шлам ТЭЦ-2, аглофабрики и пыль силикомарганца. Количество наполнителей составляло от 7,5 до 30% от массы битума. При этом, несмотря на использование быстроходных смесителей, отсутствовало пенообразование, а их содержание оказывало наибольшее влияние на вязкость и растяжимость битума [1].

Зависимость вязкости битума при 25⁰С от содержания наполнителей представлена на рис. 1. Результаты испытаний установлено, что кривые вязкости шлама силикомарганца и ТЭЦ-2 находятся выше, чем с добавкой цементной пыли и известняка. Это объясняется большей пластичностью тонкодисперсных порошков. Битумы в смеси с остальными добавками имеют более высокую вязкость, о чем свидетельствует значительное уменьшение глубины проникания иглы как при 25⁰С, так и при 0⁰С. Составы, содержащие шлам аглофабрики, сохраняли требуемую вязкость при 25⁰С до 15%-ного содержания, а при 0⁰С – только до 7,5% добавки. Молотый известняк сохраняет требуемую вязкость битума только до 7,5% наполнителя от массы битума при 25⁰С и при 0⁰С, а цементная пыль при таком содержании – только при 25⁰С. Зависимость растяжимости битума от расхода наполнителей представлена на рис. 2. Этот показатель, характеризующий эластичность битума, при введении всех добавок значительно снижается, что свидетельствует о необходимости их активации и ограничении их количества.

Наибольшую растяжимость имели смеси битума со шламом аглофабрики и шламом ТЭЦ-2. Однако, при увеличении количества добавки, растяжимость снижается более резко со шламом аглофабрики, чем со шламом ТЭЦ-2. Кроме того, этот наполнитель является тяжелым за счет высокого содержания в его составе Fe₂O₃, который, в случае неполного обволакивания битумом, при увлажнении асфальтобетона приводит к коррозии шлаковых заполнителей и асфальтобетона на их основе.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить возможность применения отходов местной промышленности в качестве наполнителей для асфальтобетонов. Оптимальной с точки зрения благоприятного воздействия на свойства битума признана добавка шлама ТЭЦ-2, получаемая от умягчения воды известью.

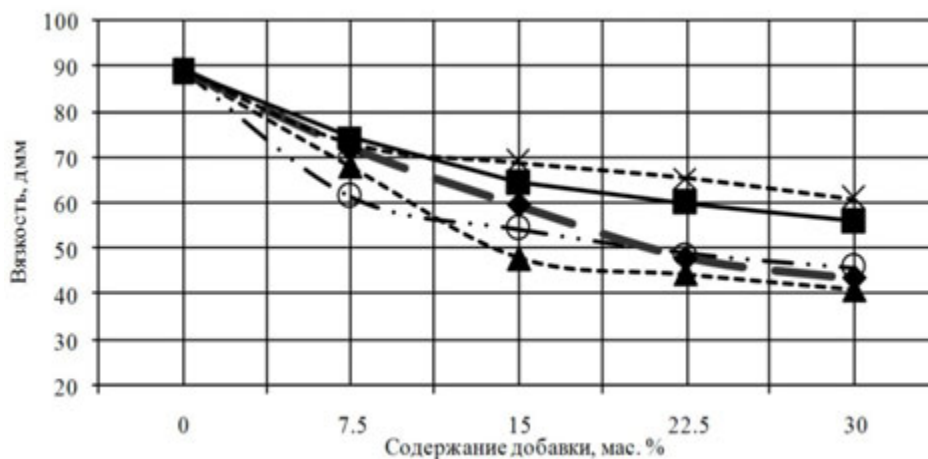


Рис. 1. Зависимость вязкости от содержания добавки:

- ▲-- Известняк молотый ○ · Цементная пыль
- ◆— Шлам аглофабрики —■— Шлам ТЭЦ-2
- X-- Пыль силикомарганца

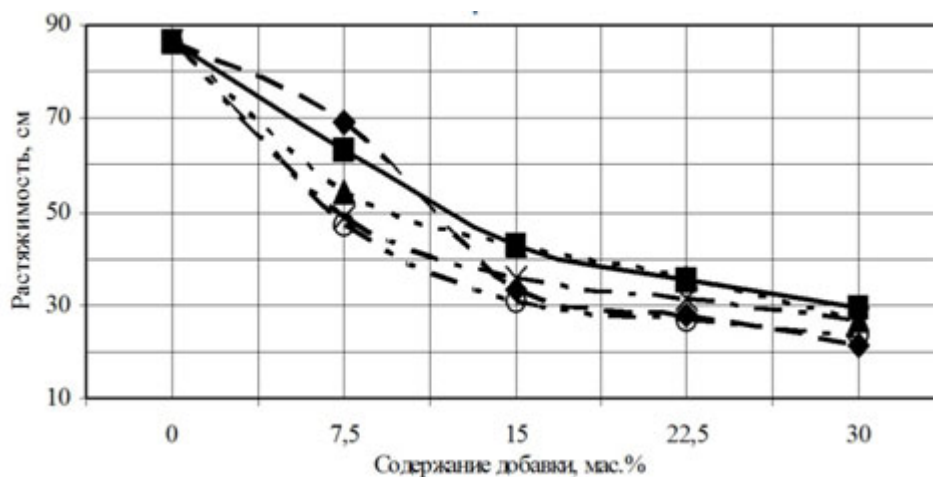


Рис. 2. Зависимость растяжимости битума от содержания наполнителей:

- ▲-- Известняк молотый ○ · Цементная пыль
- ◆— Шлам аглофабрики —■— Шлам ТЭЦ-2
- X-- Пыль силикомарганца

Сравнение свойств асфальтобетонов с добавкой этого наполнителя и без нее на кварцевом и шлаковом песке показало благоприятное влияние введения наполнителя из шлама ТЭЦ-2, активированного ГКЖ-11, на свойства асфальтобетонов обоих видов. Для приготовления асфальтобетонной

смеси применялась отдельная интенсивная технология, которая позволила ускорить процесс приготовления многокомпонентной асфальтобетонной смеси на шлаковых заполнителях. При этом шлак ТЭЦ-2 вводили 2-мя способами: 1 способ заключался в предварительном смешивании мокрого шлама с активатором, после чего его вводили в заполнители и высушивали при разогреве минеральной смеси, которая затем смешивалась с расплавленным битумом.

Это позволило уменьшить пыление за счет адсорбирования влаги из наполнителя поверхностными порами заполнителей. Второй способ также заключался в предварительном смешивании шлама, влажностью 90%, с активатором ГКЖ-11. При этом вода легко отделялась и легче удалялась при сушке. Затем эту смесь высушивали в распылительной сушилке и вводили в расплавленный битум при перемешивании до однородности. Это наполненное асфальтовое вяжущее вещество подавалось в смеситель для обработки разогретых минеральных материалов. Таким образом, была решена основная проблема использования этих отходов – ускорение сушки шлама ТЭЦ-2. Кроме того, использование отдельных интенсивных технологий позволило ускорить процесс приготовления многокомпонентной асфальтобетонной смеси и снизить энергозатраты за счет исключения необходимости помола при изготовлении минерального порошка.

Были проведены исследования долговечности асфальтобетонов, как на шлаковых заполнителях оптимального состава с активированным наполнителем из шлама ТЭЦ-2, так и на заполнителях из отходов фрезерования старых покрытий по аналогии с полимербетонами. По этому методу образцы асфальтобетонов испытывали в агрессивной среде в условиях максимально приближенных к условиям эксплуатации. Длительность испытаний составила 360 циклов, по результатам которых определяли коэффициент химической стойкости ($K_{ХС}$) по потерям массы или прочности. При этом полагали, что под действием агрессивной среды в течение 360 циклов снижение $K_{ХС}$ не должно превышать 50%. Длительность каждого цикла составляла 8 часов.

Для имитации работы образцов в естественных условиях работы покрытия осуществляли попеременное замораживание – оттаивание образцов в 30%-ном растворе поваренной соли NaCl. Из 360 циклов испытаний, имитирующих условия работы покрытия в течение года количество испытаний на морозостойкость составило 90 циклов. В воду помимо соли добавляли кварцевый песок в количестве 10% от массы воды. Гелевые оболочки из кремниевой кислоты, образующиеся на зернах кварцевого песка при его увлажнении, могут переходить в воду, усиливая агрессивность среды, особенно для шлаковых заполнителей. Для имитации работы асфальтобетона в весенний и осенний периоды осуществляли попеременное насыщение и высушивание по 4 часа. Число таких циклов составило 180. В

летнее время, как известно, помимо увлажнения дорожных покрытий, добавляется действие солнечной радиации. Поэтому имитация работы асфальтобетона в этот период заключалась в насыщении - высушивании с добавлением солнечной радиации. Число циклов таких испытаний составило 90. Зависимости потерь массы и прочности от продолжительности испытаний представлены на рис. 3, откуда видно, что вначале, при насыщении в воде до 15 суток, происходит снижение прочности, а при испытании до 90 циклов, ее рост. Это подтверждает известные положения исследователей о том, что со временем шлаковые асфальтобетоны упрочняются под действием влаги за счет образования кристаллогидратов.



Рис. 3. Изменение прочности и потери массы в зависимости от продолжительности испытаний

Эти результаты согласуются с постулатами Расстегаевой Г.А. о том, что рост прочности при действии воды на шлаковые заполнители обусловлен образованием кристаллогидратов, которые приводят к структурированию пленки битума и росту общей прочности асфальтобетона.

Следует отметить, что после 180 циклов испытаний, образцы практически не теряли своей массы за счет шелушения и отколов.

Результаты обследований автомобильных дорог и магистральных улиц г. Липецка показывают, что основными требованиями асфальтобетонных покрытий является следующее:

- сетки пересекающих трещин по полосам наката (а затем выбоины);
- колейность;
- появление продольных неровностей;

– образование поперечных трещин, пересекающих проезжую часть дороги; через примерно одинаковые промежутки.

Все эти дефекты связаны со многими причинами [2], однако главными являются многократные силовые и температурные воздействия.

Поэтому, прогнозирование изменения состояния дорожной одежды следует увязывать с закономерностями поведения асфальтобетонов при циклических воздействиях нагрузок. Для этого необходимо произвести экспериментальные работы, направленные на получение предела выносливости асфальтобетона при растяжении, изгибе или сжатии при постоянном коэффициенте асимметрии цикла ρ . Исследование циклической долговечности целесообразно производить по методике, изложенной в работе [3]. При этом циклическая долговечность асфальтобетона может быть определена из следующего выражения:

$$D_{ц} = K_{ц} (1/\delta)^{v_{ц}} \text{ или } D_{ц} = K_{ц} (1/\varepsilon)^{v_{ц}}, \quad (1)$$

где $K_{ц}$, $v_{ц}$ – эмпирические постоянные, зависящие от вида материала, для асфальтобетона, например, они составляют 3,6; 6,5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Бондарев Б.А., Корнеев А.Д., Штефан Ю.В., Штефан Г.Е. Асфальтобетоны на шлаковых заполнителях. – Липецк, 2005. – 200 с.
2. Бондарев Б.А., Чистяков Е.Г. и др. Технические аспекты увеличения межремонтных сроков службы автомобильных дорог. Сб. статей Материаловедение и технология конструкционных материалов. Волжский–Волгоград, 2007. – С. 148–151.
3. Рудовский Б.С. Сердюк А.В. Прогнозирование закономерности изменения состояния дорожной одежды. Автомобильные дороги №7, 1994. – С. 19–21.

Е.В. Волгина

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСОПРОТИВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВИНИЛЭФИРНОЙ СМОЛЫ

Мордовский государственный университет

В процессе эксплуатации строительные материалы и конструкции часто подвергаются воздействию макро- и микроорганизмов (микроскопических грибов, водорослей, бактерий, насекомых и др.). Такие повреждения называются биоповреждениями. Под воздействием биологически активных сред ухудшаются качественные характеристики материалов, снижается уровень их экологической безопасности, что приносит значительный экономический ущерб. Поэтому в последнее время актуальными являются вопросы, связанные с созданием биологически стойких полимерных мате-

риалов. При производстве изделий строительного назначения наравне с другими синтетическими связующими используются полиэфирные и винилэфирные смолы, устойчивость которых к биоповреждениям изучена недостаточно.

В Мордовском государственном университете имени Н.П. Огарева в настоящее время проводятся исследования биостойкости полимерных материалов на основе винилэфирной смолы РП-14С с различными соотношениями отверждающей системы.

Для отверждения винилэфирной смолы РП-14С нами использовались следующие компоненты: октоат кобальта (ОК-1), 10%-й раствор димитиланилина в стироле (ДМА), пероксид циклогексанона (ПЦОН-2) в мас. ч. на 100 мас. ч. смолы (см. табл. 1).

Таблица 1

Обрастимость композиций мицелиальными грибами

№ состава	Содержание компонентов отверждающей системы, мас.ч.			Обрастимость, баллы		Характеристика по ГОСТ
	ОК-1	ПЦОН-2	ДМА	Метод 1	Метод 3	
1	1	0,5	1	3	5	Не грибостойкий
2	1	0,5	2	3	4	Не грибостойкий
3	1	0,5	3	3	4	Не грибостойкий
4	5	0,5	1	2	4	Грибостойкий
5	5	0,5	2	1	4	Грибостойкий
6	5	0,5	3	2	4	Грибостойкий
7	5	2,5	1	2	4	Грибостойкий
8	5	2,5	2	2	4	Грибостойкий
9	5	2,5	3	1	4	Грибостойкий
10	1	2,5	1	2	4	Грибостойкий
11	1	2,5	2	1	4	Грибостойкий
12	1	2,5	3	2	5	Грибостойкий

Исследование биостойкости отвержденной смолы проводились следующими способами: выдерживали материалы, зараженные спорами плесневых грибов, в оптимальных для их развития условиях, с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности образцов. Первым методом устанавливали, является ли материал питательной средой для микромицетов. В данном случае отсутствовали источники минерального и углеродного питания. При методе 3 использовалась твердая питательная среда Чапека–Докса; данный способ позволял определить наличие у материалов фунгицидных свойств.

После воздействия микроорганизмов на отвержденную винилэфирную смолу РП-14С образцы подверглись обследованию, с целью выявления степени их обрастания. Материал считается грибостойким, если получает оценку по методу 1 от 0 до 2 баллов и обладает фунгицидными свойствами, если вокруг образца наблюдается зона отсутствия роста грибов или на поверхности образцов наблюдается рост грибов, оцениваемы 0 и 1 баллом. Полученные результаты отражены в табл. 1

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что составы 4–12 в которых являются грибостойкими. В этих составах содержание октоата кобальта или пероксида циклогексанона составляет 5 мас. ч. и 2,5 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы соответственно. Однако ни один из составов не обладает фунгицидными свойствами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что композиты на полимерных связующих (в качестве которых рассматривались винилэфирные смолы) являются грибостойкими материалами, но при наличии внешних загрязнений подвержены биокоррозии и, следовательно, нуждаются в защите от биодеградации.

А.А. Груздев, Т.К. Акчурин, О.Ю. Пушкарская

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРИ АРМИРОВАНИИ МИНЕРАЛЬНО-АБРАЗИВНЫМИ ШЛАМАМИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волжский институт строительства и технологий (филиал
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)

Использование высокопрочного мелкозернистого бетона как конструкционного материала для монолитного строительства в наибольшей степени соответствует требованиям строительной практики. Совершенствование и управление структурой материала путем его модификации, введением новых структурных элементов, дисперсным армированием, принципиально улучшает свойства материала. Сочетание свойств компонентов и их комбинация обеспечивают требуемые технологические и эксплуатационные свойства бетонной смеси. Создание высокопрочного мелкозернистого бетона, сочетающего в себе высокоплотную и высокопрочную матрицу с армирующими элементами возможно при использовании отходов промышленных предприятий региона.

Современные возможности технологии бетона, которые наиболее полно проявились в создании и производстве высококачественных, высокотехнологичных многокомпонентных бетонов, с высокими эксплуатаци-

онными свойствами, прочностью, долговечностью, адсорбционной способностью, низким коэффициентом диффузии и истираемостью, надежными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре, высокой химической стойкостью, бактерицидностью и стабильностью объема. Важнейшей задачей промышленности строительных материалов является разработка и внедрение эффективных, ресурсосберегающих технологий производства, экологически чистых материалов, изготавливаемых по малозатратным безотходным технологиям с максимальным использованием местного сырья и техногенных отходов промышленности. Одним из направлений решения этой задачи являются расширение производства и применение в строительстве эффективных материалов и изделий на основе вторичных минеральных ресурсов.

Огромную экологическую проблему для большинства предприятий различных отраслей промышленности составляет утилизация шламовых отходов, образующихся на станциях нейтрализации и хранящихся в огромных количествах в шламонакопителях или на промышленных свалках. Интерес, с точки зрения использования в производстве строительных материалов, представляют гипсовые, известково-гипсовые, гипсо-карбонатные, известково-гипсо-карбонатные, а также подобные им шламы более сложного состава, содержащие комплекс неорганических солей и органические примеси, обладающие стабильным химическим составом и физическими свойствами. Одним из перспективных направлений использования тонкодисперсных шламов является применение их в качестве активаторов твердения и наполнителей в производстве многокомпонентных композиционных строительных материалов. Анализ механизмов действия шламов на различных уровнях формирования структуры цементных композиций и оптимизация составов позволяют в определенном смысле управлять процессами структурообразования и твердения цементных систем с целью получения материалов с заданными физическими свойствами [1].

Исследования химического состава шламовых отходов абразивного производства, оборотные воды которого содержат в больших количествах механические примеси преимущественно абразивного характера, различной степени дисперсности – от грубодисперсных до коллоидных, и имеющих высокое солесодержание, позволило характеризовать их как многофункциональную модифицирующую добавку мелкозернистых бетонов.

В результате коагуляционной очистки промышленных сточных вод абразивного производства образуются нерастворимые формы минерально-абразивных шламов (МАШ). По размеру частиц минерально-абразивные шламы (МАШ) представляют собой гетерогенные коллоидные дисперсные системы, в которых центром твердой фазы является тонкодисперсный абразив, окружающей дисперсной средой – гидроксид алюминия, карбонат кальция, растворимые и малорастворимые неорганические соли (рис. 1).

Введенные в состав мелкозернистых бетонов частицы шлама выполняют роль не только армирующего наполнителя, но и активного компонента системы, оказывающего существенное влияние на формирование активных центров кристаллизации. Большая удельная поверхность МАШ в сочетании со свободной поверхностной энергией, как и у цементных частиц, использована для уменьшения недостатков мелкозернистого бетона, за счет усиления адгезионного взаимодействия цементного теста с поверхностью МАШ [2–3].

Возможность использования этого естественного резерва улучшения свойств мелкозернистых бетонов представляется весьма актуальной и экономически оправданной.

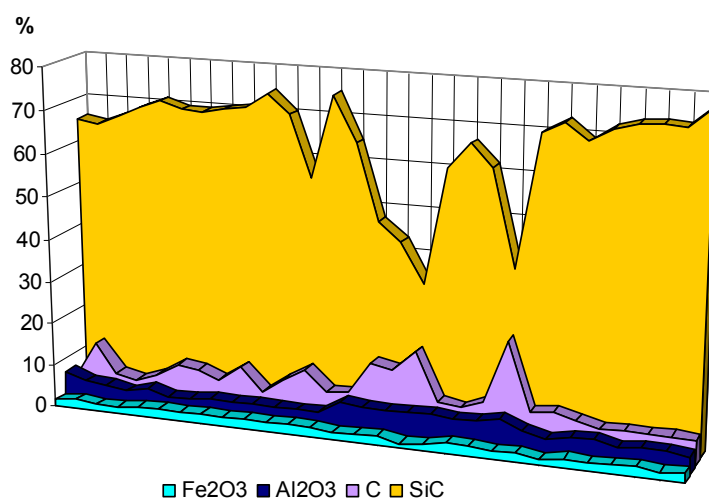


Рис. 1. Химический состав шламовых отходов станции водоочистки абразивного производства

Анализ образующихся структур модифицированного МАШ мелкозернистого бетона с позиций уровней дисперсности показывает, что условно-коагуляционная и кристаллизационная структуры формируются вначале на надмолекулярном (образование зародышей новой фазы), а затем на субмикроскопическом уровне, на стадии роста кристаллов и появления первичного каркаса (рис. 2).

Основная масса гидратных новообразований слагает структуру цементного камня, в том числе и в зоне его контакта с наполнителем (рис. 2). Этой же дисперсностью обладают отдельные оставшиеся в цементном камне не полностью прогидратированные зерна вяжущих.

Если же говорить о контактных поверхностях, – а именно они и определяют характер и прочность связей в цементном камне и бетоне, – то они занимают лишь часть площади новообразований, а условно-коагуляционные контакты в первом приближении можно рассматривать как точечные. В качестве основы для систематизации выбраны линейные размеры капилляров, пор и элементов каркаса [5].

Мелкий заполнитель и наполнители за счёт большой удельной поверхности оказывают на бетонную смесь комплексное воздействие. Помимо контактов «цементное тесто – заполнитель», появляются контакты «микронаполнитель – вяжущее», прочность которых значительно зависит от физико-химического взаимодействия минералов, входящих в состав заполнителей и частиц вяжущего. При этом наполнители представляют собой дисперсные частицы произвольной формы, размер которых не создаёт на окружающем матричном материале собственных полей деформаций и напряжений, что позволяет им участвовать в организации структуры вяжущего. Отсюда можно проследить более глубокое воздействие на структурообразование цементобетона именно наполнителей наряду с фракциями заполнителя [4–5].



Рис. 2. Изображение структуры модифицированного МАШ мелкозернистого бетона на субмикроскопическом уровне дисперсности

Исследование влияния компонентов композиции на технологические и физико-механические характеристики мелкозернистого бетона позволили разработать оптимальные составы с использованием метода математического планирования эксперимента.

Математической моделью процесса является функция, связывающая параметры оптимизации: плотность (ρ), предел прочности при сжатии ($R_{сж}$), пористость (P), водопоглощение (W) с переменными факторами – содержание вяжущего цемента ($x_1=400–600$ кг), содержание многофункциональной добавки МАШ ($x_2= 5–15\%$ от массы заполнителя) и водоцементное отношение В/Ц ($x_3= 0,4–0,6$).

Выбор факторов оптимизации состава мелкозернистого бетона производился исходя из технологической и экономической целесообразности и получения материала с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

После статистической обработки экспериментальных данных полученные уравнения регрессии количественно характеризуют зависимость прочности, плотности, пористости, водопоглощения модифицированного мелкозернистого бетона от исследуемых факторов. Графическая интерпретация функций отклика плотности, пористости, предела прочности при сжатии, водопоглощения представлены на рис. 3– 6.

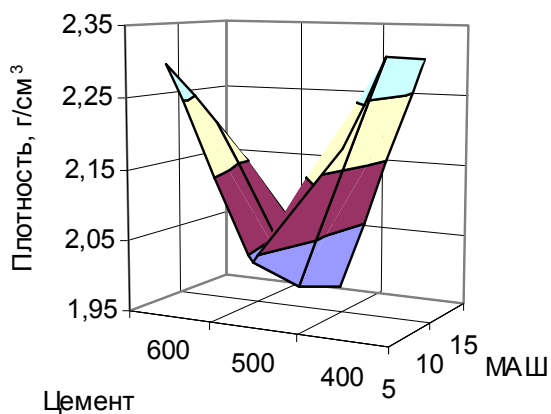


Рис. 3. Функция отклика плотности мелкозернистого бетона с добавкой МАШ

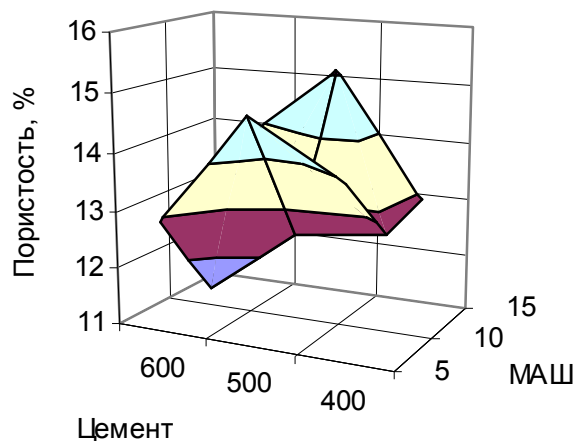


Рис. 4. Функция отклика пористости мелкозернистого бетона с добавкой МАШ

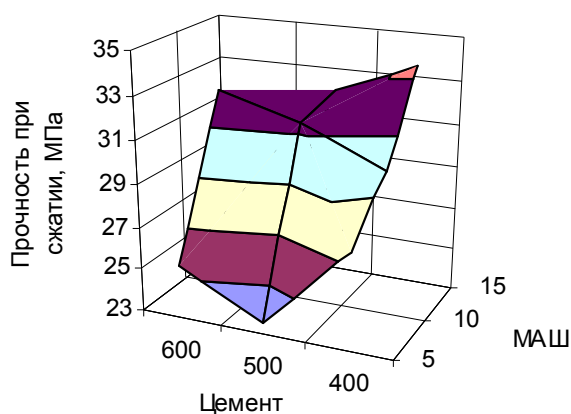


Рис. 5. Функция отклика предела прочности при сжатии мелкозернистого бетона с добавкой МАШ

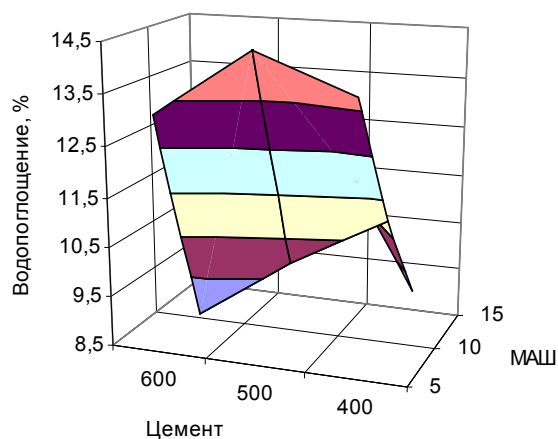


Рис. 6. Функция отклика водопоглощения мелкозернистого бетона с добавкой МАШ

Структура полученной композиции мелкозернистого бетона дисперсноупрочненная. Формирование структуры бетона связано с химизмом процессов гидратации цементного связующего в присутствии тонкодисперсных минерально-абразивных шламов, выступающих в качестве активной минеральной добавки цемента с одной стороны, и в качестве армирующего компонента бетона – с другой. Характер распределения компонентов, форма поровых пространств позволяют сделать вывод о наличии реакционных связей между компонентами смеси, что приводит к изменению физико-механических показателей бетона.

Введение в состав бетонной смеси МАШ положительно сказывается на изменении характеристик бетона. При снижении расхода цемента в смеси прослеживается тенденция увеличения показателя плотности на 15%, прочности при сжатии на 30%, снижение показателей пористости на 23% и водопоглощения на 40%. Анализ факторов позволяет оптимизировать технологический процесс и эффективно управлять им.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Боженев П.И.* Комплексное использование минерального сырья и экология. – М.: Изд-во АСВ, 1994. — 264 с.
2. *Волженский А.В.* Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1989. — 464 с.
3. *Демьянова В.С., Калашников В.И., Борисов А.А.* Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах // Жилищ, стр-во, №1, 1999. — С. 17–18.
4. *Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин Ю.В.* Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами // Изв. вузов. Строительство, №4, 1997. — С. 68–72.
5. *Каприелов С.С.* Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон, 1995. — С. 16–20.

Л.Н. Губанова, О.Ю. Пушкарская, Л.А. Алимова, Т.К. Акчурин

ОТХОДЫ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА – ДОБАВКИ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волжский институт строительства и технологий (филиал
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)

Важна замена дефицитного традиционного сырья схожими по составу и состоянию отходами. Преимущества высоконаполненных цементных бетонов (количество наполнителя до 90%) заключаются в более высокой стойкости к ударным нагрузкам и стойкости к истиранию. Шлаки произ-

водства ферросплавов представляют наибольший интерес, имеющие высокий модуль основности (1,6–1,8), а также кислые ферромolibденовые шлаки, в качестве минеральной добавки. Экономически оптимальное количество минеральной добавки находят из условия минимизации расхода цемента, стоимости бетона, структурно-оптимальное, обусловлено физическим состоянием системы или структуры, связанное с перераспределением частиц в цементном тесте.

Актуальность проблемы рационального материалоупотребления обостряется вследствие ограниченности или истощенности некоторых сырьевых ресурсов. Возникает необходимость их пополнения за счёт отходов производства. Анализ сведений о состоянии природной сырьевой базы свидетельствует о неизбежности ее кардинального изменения за счет использования новых ресурсов. Поэтому важна замена дефицитного традиционного сырья схожими по составу и состоянию отходами. Необходима также разработка способов воздействия на техногенные материалы, обеспечивающих максимальную реализацию их полезных свойств в технологии композиционных материалов.

Металлургия традиционно являлась одним из главных «поставщиков» техногенного сырья для промышленности строительных материалов. Особенность ее многотоннажных отходов заключается в том, что отходы уже прошли высокотемпературную обработку до стадии полного плавления, в ее продуктах сформирована структура, и они не содержат органических примесей. Из шлаков производства ферросплавов наибольший интерес представляют шлаки от выплавки феррохрома и феррованадия, имеющие высокий модуль основности (1,6–1,8), а также кислые ферромolibденовые шлаки. В основных ферросплавных шлаках преобладает ортосиликат кальция в γ -модификации, и они обычно при охлаждении рассыпаются в шлаковую муку. Шлаки ферросплавов содержат остаточные количества соответствующих элементов (Cr, V, Mo и т. п.) в виде металлов, оксидов или других соединений [1, 3].

Исследование структуры отходов (шлака) производства ферросплавов ЗАО «КЛФЗ» проводилось методом оптической микроскопии при использовании стереоскопического микроскопа МБС-9 (3,3–100,8^x), дающего прямое стереоскопическое изображение исследуемого образца. Цвет шлака производства ферросплавов (ШПФ) крупной фракции преимущественно серый, со светло-серым налетом, наблюдаются области высокой отражательной способности и обладающие металлическим блеском. Макроструктура шлака пористая, отмечается наличие закристаллизованной стекловидной составляющей. Частицы включений имеют окраску – от бесцветной до бурой. Бурые включения свидетельствуют о наличии оксидов железа.

Наличие большого количества кристаллической фазы говорит не только о химико-минералогическом составе шлака (рис. 1), но и скорости

охлаждения шлакового расплава. В быстроохлажденном шлаке большая часть оксидов CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO и др. находится в составе стекла, а в медленно охлажденных шлаках – в виде кристаллической фазы. Большой реакционной способностью обладает стекловидная фаза по сравнению с кристаллическим состоянием вещества того же химического состава.



Рис. 1. Измельченный кусок отходов (шлака) производства ферросплавов (МБС-9, 40^х)

Исследование химического состава шлака проведено рентгеноспектральным анализом на спектрометре S4 PIONTEER. Химический состав шлака представлен в табл. 1.

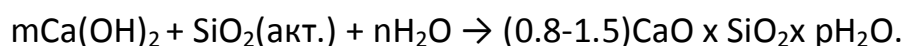
Таблица 1

Химический состав шлака ЗАО «КЛФЗ»

Содержание элементов в шлаке, %						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Fe _{общее}	Mo
65,6	10,9	1,4	9,0	0,50	9,5	Не обн.

Модуль основности характеризует гидравлическую активность шлаков, т.е. способность их порошков к самостоятельному твердению при смешивании с водой. Эта способность проявляется только у основных шлаков и тем больше, чем выше их модуль основности. Поэтому одна из областей использования исследуемого шлака – минеральная добавка к цементу.

Активная минеральная добавка измельченного шлака химически связывает в воде Ca(OH)₂, выделяющийся при твердении портландцемента, при этом повышается плотность цемента.



Ввиду кислого характера шлаков ($M_o < 1$), введение в бетон его мелочи можно рассматривать как наполнитель, частично участвующий в фор-

мировании микроструктуры матричной части (цемент) и контактных зон в конгломератах. Фракции шлака производства ферросплавов могут выполнять функцию заполнителя пор в микроструктуре без вступления во взаимодействие с компонентами.

Для подтверждения высказанных предположений о возможности использования шлака в качестве добавки к цементу, нами были изготовлены образцы – кубики 50×50×50 на основе цемента с 25% добавкой измельченного шлака ШПФ. Набор прочности осуществлялся по температурно-влажностному режиму (7 сут. +21 сут.).

Для определения полноты гидратации цемента с добавкой шлака в образцах, и структурных процессах формирования композиции использовали микроскопические методы анализа. Из образца-кубика были изготовлены срез-пластины 30×30×20 мм. Поверхность не шлифованная. Исследование внутренней структуры образцов с добавкой шлака также проводилось при помощи стереоскопического микроскопа МБС-9 (3,3-100,8X), дающего прямое стереоскопическое изображение исследуемого образца.

Цвет образцов: серый, с включениями темно-серого цвета (шлак), с явным металлическим блеском, а также бежевого, белого, коричневого цвета (рис. 2, а).

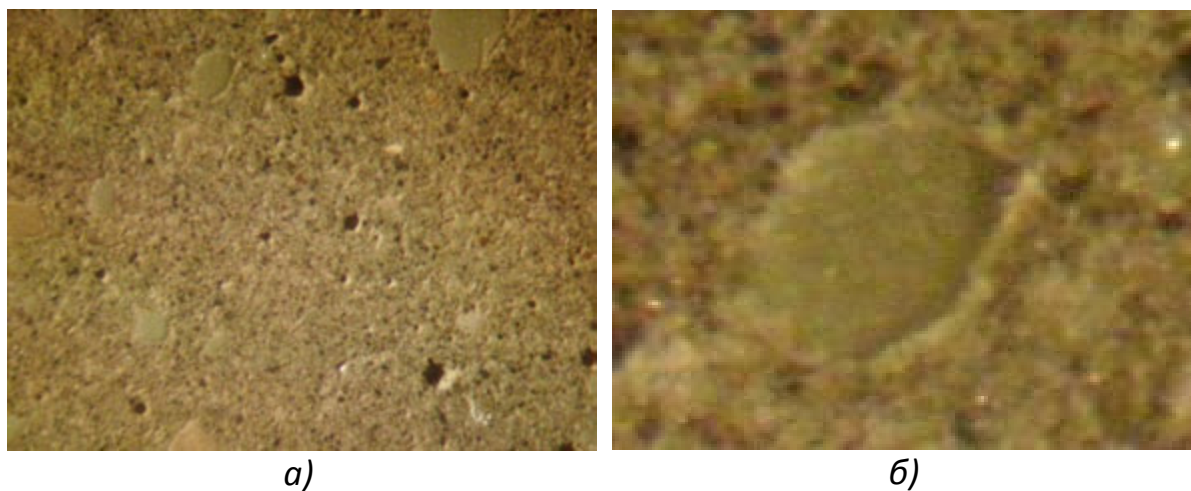


Рис. 2. Микроскопическое изображение структуры образца цемента с добавкой 25% шлака ШПФ

Внутренняя структура: гетерофазная, типичная для дисперсно-упрочненного композита, неоднородная, наблюдаются включения изометричной формы. Объемное содержание матрицы (цемент) – порядка 60%. Отмечено наличие закристаллизованной стекловидной составляющей. Структура пористая, размер пор – от 0,5 мм до 1 мм.

Неоднородная гетерофазная структура образца свидетельствует о наличии частиц шлака различного размера, исходный измельченный шлак не рассеивался по фракциям. Контактная зона состоит из контактного слоя це-

ментного камня, контактного слоя частиц шлака и поверхности раздела между ними (рис. 2, б). Поверхность раздела размыта, что говорит о процессах химического взаимодействия. А контактный слой цементного камня представляет собой диффузионный промежуточный слой, осуществляющий непрерывный переход от вяжущего к шлаковому наполнителю. Сцепление объясняется плотным прилеганием и соединением шлакового наполнителя и цементного камня, возникающим благодаря поверхности зерен шлака. Выше сказанное свидетельствует о возможности использования крупной фракции шлака в качестве заполнителя бетона (шлаковый щебень, шлаковый песок).

Исследованиями установлено, что характер изменения прочности цемента с минеральными добавками ШПФ связан со способностью добавки работать как микро наполнители. При малых дозировках добавки её частицы, равномерно распределяясь в тесте, играют роль включений, снижающих однородность и прочность цементного камня. При оптимальном содержании добавки в системе «цемент + минеральная добавка» прочность цемента повышается. В этом случае частицы минеральной добавки играют роль элементов структуры цементного камня. Дальнейшее увеличение дисперсного материала может привести к разбавлению цемента добавкой и нарушению непосредственных контактов между частицами цемента, что приведет к снижению прочности.

Следует различать экономически оптимальное количество минеральной добавки, найденное из условия минимизации расхода цемента или стоимости бетона, и структурно-оптимальное, обусловленное физическим состоянием системы или структуры, связанное с перераспределением частиц в цементном тесте. Предпочтение следует отдавать структурно-оптимальному количеству добавки, потому что бетонам с такой организацией структуры соответствует максимальное значение прочности — отклик системы «Ц+МД» на оптимизацию дисперсионной среды (цементного теста) в бетоне [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туркина И.А. Необходимость и опыт использования отходов производства // Сб. докладов V Международного конгресса по управлению отходами и природоохранным технологиям ВэйстТэк-2007. – М., 2007 г.

2. Бальзанников М.И., Петров В.П. Экологические аспекты производства строительных материалов из отходов промышленности // Восьмые академические чтения РААСН «Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения». Самара, 2004. — С. 47–50.

3. Каушанский В.Е., Баженова О.Ю. Энерго- и ресурсосбережения в технологии портландцемента за счет использования техногенных и нетрадиционных материалов // Седьмые академические чтения РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения». Белгород, 2001. — С. 201–204.

В.В. Дроздов

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МКЭ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Расчет зданий и сооружений на сейсмические нагрузки связан с высокой степенью неопределенности: амплитуда, спектральный состав, направление и продолжительность, а также время начала воздействия являются случайными параметрами. Прочностные и физико-механические характеристики материалов конструкции также обладают статистической изменчивостью. Обеспечить безопасность таких объектов можно лишь с определенной степенью вероятности, что требует перехода от расчетов по методу предельных состояний к расчетам по предельно допустимому риску. Только вероятностный подход позволяет получить численную оценку надежности как проектируемых, так и эксплуатируемых зданий и сооружений на основе единого критерия допустимого риска и, следовательно, более достоверно и с единых позиций оценить величину экономических, социальных и других последствий в случае сильных землетрясений.

Вероятностные методы нормирования надежности конструкций зданий и сооружений с использованием показателей риска практически еще не разработаны вследствие сложности проведения вероятностных расчетов и построения функции надежности зданий и сооружений как единых пространственных систем. Так, в настоящее время оценка надежности зданий при сейсмических воздействиях основывается на оценке риска превышения сейсмического ускорения грунтового основания заданный расчетный уровень. При этом остается неопределенной величина вероятности отказа конструкций зданий при условии реализации землетрясения проектной и более высокой интенсивности. Кроме того, существующая методика разработана в основном для одномассовых систем, что ограничивает область ее применения лишь частными случаями.

В расчете рассматривалась модель семнадцати этажного монолитно-каркасного здания, выполнено по рамно-связевой схеме с безбалочными перекрытиями. Высота здания составляет 54 м. В плане здание прямоугольное, размерами 27,5×19,4 м. Колонны сечением 400×400 мм, толщина диафрагм жесткости 200 мм. Класс бетона конструкций В25, армирование выполнено арматурными стержнями класса А240, А400. План этажа изображен на рис. 1.

1. Задание сейсмической нагрузки.

Спектральную плотность случайной функции сейсмического движения грунта аппроксимируем выражением:

$$S(\omega) = D \frac{2}{\pi} \alpha \frac{m^2 + \omega^2}{m^4 + 2a \omega^2 + \omega^4}, \quad (1)$$

где $m^2 = \alpha^2 + \theta^2$, $a = \alpha^2 - \theta^2$.

Дисперсию D принимаем, согласно [2], равной $D = \sigma^2 = 0,25 \text{ м/с}^2$ (для 7-бального землетрясения). Коэффициенты спектральной плотности $\alpha = 6 \text{ с}^{-1}$, $\theta = 14 \text{ с}^{-1}$.

График нормированной спектральной плотности $S^H(\omega)$ приведен на рис. 2.

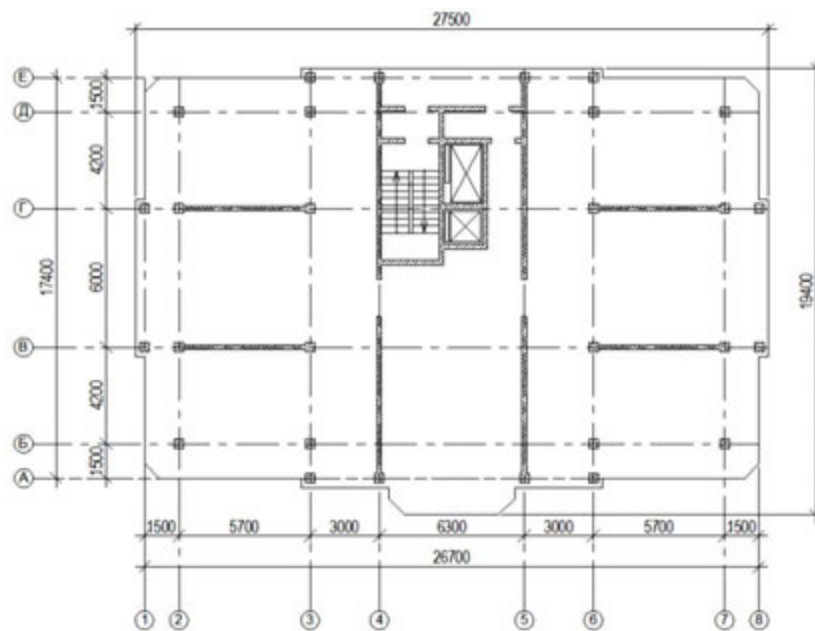


Рис. 1. План типового этажа здания

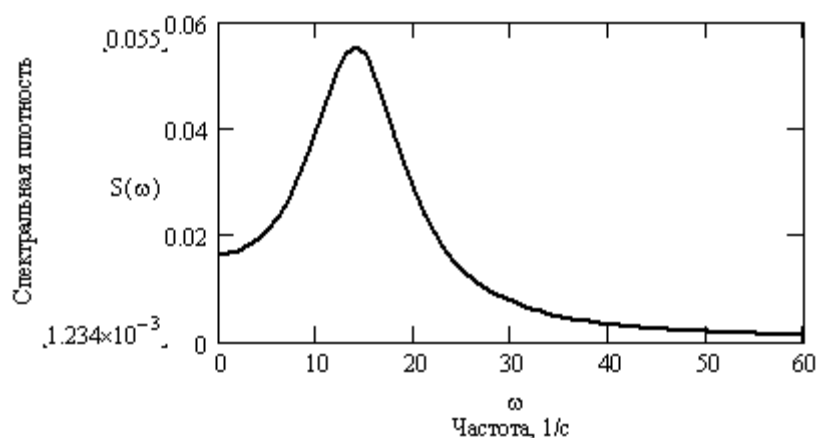


Рис. 2. Нормированная спектральная плотность сейсмической нагрузки

Для решения вероятностной задачи (1) используем метод канонических разложений. Вычислим дисперсии D_φ и спектральные плотности $S_\varphi(\omega)$

перемещений системы. Интервал частот ω входной случайной функции $\tilde{H}(t)$ примем равным $[0, 60] \text{ с}^{-1}$. На него приходится 93,2% дисперсии $\tilde{H}(t)$. Несущие частоты канонического разложения $\omega_i = 1, 2, \dots, n$. ($n = 60$).

Запишем дискретное каноническое разложение случайной функции $\tilde{X}(t)$:

$$\tilde{X}(t) = \sum_{i=1}^n [\tilde{A}_i \phi_i(t) + \tilde{B}_i \psi_i(t)] \quad (2)$$

2. Оценка вероятности разрушения.

Эффективный период T_e изменения параметра $\tilde{\varphi}(t)$ Эффективный период изменения функций перемещения [1]:

$$\begin{aligned} T_{e_p} &= 2\pi \frac{\sigma_p}{\sigma_{\dot{p}}} = 2\pi \left(\frac{\int_0^{\infty} S_p(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} \omega^2 S_p(\omega) d\omega} \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= 2\pi \left(\frac{\int_0^{\infty} \sum_{k=1}^4 \left(\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{\varphi_{\xi k}}(\omega) + \eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{\varphi_{\eta k}}(\omega) + \theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{\varphi_{\theta k}}(\omega) \right) d\omega}{\int_0^{\infty} \sum_{k=1}^4 \left(\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{\dot{\varphi}_{\xi k}}(\omega) + \eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{\dot{\varphi}_{\eta k}}(\omega) + \theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{\dot{\varphi}_{\theta k}}(\omega) \right) d\omega} \right)^{\frac{1}{2}} \approx \\ &\approx 2\pi \left(\frac{\sum_{k=1}^4 \left(\frac{\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{11}(\lambda_{\xi k})}{\lambda_{\xi k}^3} + \frac{\eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{22}(\lambda_{\eta k})}{\lambda_{\eta k}^3} + \frac{\theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{33}(\lambda_{\theta k})}{\lambda_{\theta k}^3} \right)}{\sum_{k=1}^4 \left(\frac{\xi_k^2(z) z_{\xi k}^2 S_{11}(\lambda_{\xi k})}{\lambda_{\xi k}} + \frac{\eta_k^2(z) z_{\eta k}^2 S_{22}(\lambda_{\eta k})}{\lambda_{\eta k}} + \frac{\theta_k^2(z) z_{\theta k}^2 S_{33}(\lambda_{\theta k})}{\lambda_{\theta k}} \right)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3) \end{aligned}$$

где $\sigma_{\dot{p}}$ – стандарт первой производной (скорости изменения) функции обобщенных координат.

Среднее число выбросов $U(a, t)$ функции прогиба за уровень a

$$U(a, t) = \frac{1}{T_{e_p}(t)} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_p^2(t)}}. \quad (4)$$

Условная вероятность превышения прогибом $\tilde{\varphi}(t)$ уровень a ($0 \leq \tau \leq t$):

$$P(\varphi > a | t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t U(a | \tau) d\tau\right). \quad (5)$$

$$D = \sigma^2 = 0,00025 \text{ м/с}^2, \quad \alpha = 6 \text{ с}^{-1}, \quad \theta = 14 \text{ с}^{-1}.$$

Таблица 1

Интенсивность выбросов функции прогиба (перемещений) ($t = 2$ с)

п/п	1	2	3	4	5	6
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5
$U(\sigma_{\varphi_i}, 2)$	0,40	0,75	1,21	1,66	2,09	2,49
$U(1,64\sigma_{\varphi_i}, 2)$	0,09	0,16	0,27	0,37	0,47	0,56
п/п	7	8	9	10	11	12
ω_i	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$U(\sigma_{\varphi_i}, 2)$	2,84	3,17	3,47	3,76	3,97	4,08
$U(1,64\sigma_{\varphi_i}, 2)$	0,63	0,71	0,77	0,83	0,88	0,91

Таблица 2

Вероятность превышения прогибом
уровень a за время землетрясения $0 \leq \tau \leq 2c$

п/п	1	2	3	4	5	6
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi_i})$	0,546	0,776	0,910	0,964	0,985	0,993
$P(\varphi_i > 1,64\sigma_{\varphi_i})$	0,161	0,284	0,416	0,524	0,607	0,670
п/п	7	8	9	10	11	12
ω_i	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi_i})$	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999
$P(\varphi_i > 1,64\sigma_{\varphi_i})$	0,161	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999

Таблица 3

Вероятность превышения прогибом
уровень a за время землетрясения $0 \leq \tau \leq 10c$

п/п	1	2	3	4	5	6
ω_i	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi_i})$	0,912	0,999	0,999	~1	~1	~1
$P(\varphi_i > 1,64\sigma_{\varphi_i})$	0,418	0,801	0,932	0,976	0,991	0,996
п/п	7	8	9	10	11	12
ω_i	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5
$P(\varphi_i > \sigma_{\varphi_i})$	~1	~1	~1	~1	~1	~1
$P(\varphi_i > 1,64\sigma_{\varphi_i})$	0,998	0,999	~1	~1	~1	~1

Выводы.

Проведен расчет оценки условного и полного сейсмического риска превышения напряжений в конструкциях 17-этажного каркасно-связевого здания на основе МКЭ уровень, равный расчетному напряжению. Показано, что несмотря на то, что нагрузочный эффект в сечениях здания не превышает несущую способность, безопасность такого здания является достаточно низкой. Вероятность превышения напряжениями расчетного сопротивления от сейсмической нагрузки составляет в различных сечениях от 6 до 70%. Величина полного сейсмического риска составляет уровень, примерно соответствующий уровню риска по 2-й группе предельных состояний: 0,006–0,067.

Разработанная методика и алгоритм расчета сейсмической надежности зданий позволяет оценить величину полного и условного сейсмического риска не только по критерию расчетной нагрузки, т.е. для проектируемых зданий, но и для уровня предельных значений нагрузочного эффекта в сечениях зданий, т.е. оценить уровень фактической безопасности рассматриваемого проектного решения здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшеничкина В.А. Вероятностный расчет зданий повышенной этажности на динамические воздействия. – Волгоград: ВолгГАСА, 1996. — 118 с.
2. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. – М.: Стройиздат, 2002. — 75 с.

К.В. Дружинин

ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПХГ В РОССИИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Рассматриваются вопросы, связанные с технологиями строительства различных типов подземных хранилищ нефти и газа, проблемы связанные со строительством подземных хранилищ природного газа в отложениях каменной соли и задачи, ставящиеся перед научной и производственной средой.

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются неотъемлемой частью Единой системы газоснабжения России (ЕСГ) и расположены в основных районах потребления газа. Использование ПХГ позволяет регулировать сезонную неравномерность потребления газа, снижать пиковые нагрузки в ЕСГ, обеспечивать гибкость и надежность поставок газа. Сеть ПХГ обеспечивает в отопительный период до 20% поставок газа российским потребителям, а в дни резких похолоданий эта величина достигает 30% [1]. За весь период эксплуатации ПХГ в России (по состоянию на июнь 2010

года) оборот газа в них составил 1900 млрд. куб. м. В состав подземных хранилищ входят:

- подземные сооружения, включающие подземные резервуары, вскрывающие и вспомогательные горные выработки, буровые скважины и подземные рассолохранилища;

- наземные сооружения, включающие здания и сооружения, внутриплощадочные сети, наземные рассолохранилища [3].

Подземные хранилища газа сооружаются двух типов: в пористых породах и в полостях горных пород. К первому типу относятся хранилища в истощённых нефтяных и газовых месторождениях, а также в водоносных пластах. В них природный газ обычно хранится в газообразном состоянии. Ко второму типу относятся хранилища, созданные в заброшенных шахтах, старых туннелях, в пещерах, а также в специальных горных выработках, которые сооружаются в плотных горных породах (известняках, гранитах, глинах, каменной соли и др.). В полостях горных пород газы хранятся преимущественно в сжиженном состоянии при температуре окружающей среды и при давлении порядка $0,8-1,0 \text{ Мн/м}^2$ ($8-10 \text{ кгс/см}^2$) и более. Обычно это пропан, бутан и их смеси. С начала 60-х гг. применяется в промышленных масштабах подземное и наземное хранение природного газа в жидком состоянии при атмосферном давлении и низкой температуре (т.н. изотермические хранилища).

Наиболее дешёвы и удобны газовые хранилища, созданные в истощённых нефтяных и газовых залежах. Приспособление этих ёмкостей под хранилища сводится к установке дополнительного оборудования, ремонту скважин, прокладке необходимых коммуникаций. В тех районах, где нужны резервы газа, а истощённые нефтяные и газовые залежи отсутствуют, газовые хранилища устраивают в водоносных пластах. Газовое хранилище в водоносном пласте представляет собой искусственно созданную газовую залежь, которая эксплуатируется циклически. Для устройства такой залежи необходимо, чтобы водоносный пласт был достаточно порист, проницаем, имел бы ловушку для газа и допускал оттеснение воды из ловушки на периферию пласта. Обычно ловушка — это куполовидное поднятие пласта, перекрытое непроницаемыми породами, чаще всего глинами. Газ, закачанный в ловушку, оттесняет из неё воду и размещается над водой. Плотные отложения, образуя кровлю над пластом-коллектором, не позволяют газу просочиться вверх. Пластовая вода удерживает газ от ухода его в стороны и вниз. При создании газовых хранилищ в водоносном пласте основная трудность состоит в том, чтобы выяснить, действительно ли разведываемая часть пласта представляет собой ловушку для газа. Кроме того, необходимо из-за неоднородности пласта наиболее полно вытеснить из него воду, не допуская при этом ухода газа за пределы ловушки. Газовое хранилище в водоносных пластах устраивают обычно на глубине от 200–300 до 1000–1200 м.

В России на основе теоретических работ И.А. Чарного разработано и впервые в мире осуществлено в промышленных масштабах вблизи Санкт-Петербурга (Гатчинское подземное газовое хранилище) хранение газа в горизонтальных и пологопадающих водоносных пластах (1963). Этот метод основан на том, что газовый объём, находящийся в водонасыщенной пористой среде (при достаточно больших его размерах), расплывается в горизонтальном пласте очень медленно и утечки не имеют существенного значения. Хранение газа без ловушек представляет большой практический интерес, поскольку во многих газопотребляющих районах отсутствуют благоприятные условия для создания водоносных газохранилищ обычного типа.

Особое место занимают изотермические подземные газовые хранилища (например, для сжиженного метана), которые представляют собой котлован с замороженными стенками. Верхняя часть резервуара укреплена бетонным кольцом, на которое опирается стальная крыша с теплоизоляционным материалом. Для сооружения изотермического хранилища по его периметру бурится кольцевая батарея скважин, с помощью которых грунт вокруг будущего хранилища на период строительства замораживается. После сооружения ёмкости и заполнения её сжиженным метаном надобность в морозильных скважинах отпадает. Сжиженный метан хранится при атмосферном давлении и температуре -161 – -162 °С. Толщина замороженных грунтовых стенок резервуара медленно растёт и достигает 10–15 м. Потери тепла со временем уменьшаются. Низкая температура в хранилище поддерживается за счёт испарения части метана (2–4% в месяц). Пары собираются, сжижаются и возвращаются в хранилище. Отбор метана производится погружными центробежными насосами и последующей регазификацией жидкости на специальных установках. Изотермические газовые хранилища создают в различных условиях, в том числе и в слабоустойчивых грунтах. Геометрическая ёмкость их достигает 80 тыс. м³. Изотермическое хранение метана обычно значительно дороже, чем хранение его в газообразном состоянии в водоносных пластах. Для хранения углеводородов в жидком состоянии применяются и наземные ёмкости — стальные резервуары с двойными стенками, между которыми помещен теплоизоляционный материал. Наземные изотермические газовые хранилища относительно дороги и металлоёмки, поэтому они распространены мало [4].

Самые на сегодняшний день перспективные и имеют наибольшее значение хранилища, сооруженные в отложениях каменной соли. Создание такой ёмкости в 10–20 раз дешевле, чем в др. горных породах. Ёмкость в каменной соли создаётся обычно путём выщелачивания её водой через скважины, которые используются затем при эксплуатации хранилища. Объём одной каверны достигает 100–150 тыс. м³. Размыв такой каверны продолжается 3–4 года. Хранилища в соли сооружают на глубине от 80–100 до 1000 м и более. Для хранения природного газа целесообразны

глубокие хранилища, т.к. в них можно поддерживать более высокие давления и, следовательно, содержать в заданном объеме больше газа [2].

По моему убеждению, самой главной проблемой при строительстве подземных хранилищ газа в отложениях каменной соли являются:

– использование жидкого нерастворителя (дизельного топлива, керосина и т.д.), что приводит к большому объему затрат и о вреде экологии.

– переработка выходящего рассола из выработки скважины плохо развита. Зачастую рассол просто очищают от механических примесей и захороняют под землю в поглощающие скважины.

– не достаточно развито применение технологий по увеличению растворения соли в выработках скважин.

Соответственно, главная задача состоит в том, чтобы минимизировать затраты, увеличить производительность каждой скважины, с как можно меньшим нанесением вреда экологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казарян В.А., Цыбульский П.Г., Богданов Ю.М., Салохин В.И. Эксплуатация подземных хранилищ газонефтепродуктов в отложениях каменной соли, 2010.

2. ТЭО Волгоградского ПХГ. ООО «Подземгазпром». М., 1998.

3. СНиП 34-02-99. Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОССТРОЙ России) Дата введения 1999-07-01.

4. Смирнов В.И. Строительство подземных хранилищ газа : учебн. пособие для вузов. – М.: Газойл пресс, 2000.

Ю.В. Елышко

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ ЗИМОВСКОГО КАРЬЕРА, УКРЕПЛЕННОЙ КАТИОННОЙ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИЕЙ СОВМЕСТНО С ЦЕМЕНТОМ

Управление автомобильных дорог Администрации Волгоградской области

В настоящее время в сфере дорожной отрасли возрос интерес к применению местных каменных материалов для устройства слоев оснований при строительстве и реконструкции автомобильных дорог.

Для исследования выбраны: в качестве минеральной части отсева дробления Зимовского каменного карьера, в качестве вяжущего катионная битумная эмульсия ЭБК-2 эмульсионного завода ДСУ-1 ОГУП «Волгоградавтодор», цемент М500 «Себряковского» цементного завода г. Михайловка Волгоградской области. Исследуемый материал испытывался на соответствие требованиям ГОСТ 30491-97 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного

и аэродромного строительства». По внешнему виду щебеночно-песчаная смесь Зимовского карьера – несвязанный сыпучий материал светло-серого, светло-желтого цвета с включениями до 15 мм.

Определение зернового состава щебеночно-песчаной смеси выполнено в соответствии со стандартной методикой. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

	Максимальная крупность зерен щебня (гравия), мм	Содержание, % по массе		
		щебня, не более	зерен мельче 0,63 мм, не менее	зерен мельче 0,071 мм, не менее
Требования ГОСТ 30491-97 для слоя основания	15	35	30	4
Щебеночно-песчаная смесь Зимовского карьера	10	28,66	39,06	20,63

Сравнивая полученный результат с требованиями ГОСТ 30491-97 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства» видно, что зерновой состав щебеночно-песчаной смеси Зимовского карьера соответствует и может использоваться в качестве минеральной части слоя основания.

Для подбора оптимального содержания вяжущих в органоминеральной смеси применялся метод математического планирования эксперимента.

Оптимальное планирование эксперимента предполагает одновременное последовательное изменение всех входных параметров (факторов), влияющих на качество исследуемого материала (процесса) и позволяет установить по специально сформулированным правилам зависимость – модель качества материала от этих параметров. Входные изменяемые параметры - содержание в органоминеральной смеси катионной битумной эмульсии и цемента М500. Планирование в целях изучения механизмов сложных процессов и свойств систем, достигается путем получения математической модели изучаемого процесса, позволяющей установить степень влияния каждого из факторов на выходной параметр. Выходными параметрами, по которым оценивается качество материала, являются показатели физико-механических свойств. В качестве выходных параметров две физико-механические характеристики органоминеральной смеси наиболее показательные в условиях резко-континентального климата – предел прочности при сжатии при температуре $t=50^{\circ}\text{C}$ и водостойкость. Эти физико-механические характеристики будут являться параметром оптимизации модели. Моделью расчета параметров оптимизации принят ротатабельный план на шестиугольнике, который применяется для исследования объектов с двумя изменяющимися входными параметрами.

Условия эксперимента представлены в табл. 2, интервал варьирования катионной битумной эмульсии – 3,46%, цемента М500 – 3%.

Таблица 2

Уровень	Натуральные значения факторов,%	
	Эмульсия	Цемент
Нижний (-1)	5,54	4
Нулевой (0)	9	7
Верхний (+1)	12,46	10
-0,867	6,00	–
0,867	12,00	–
-0,5	–	5,5
0,5	–	8,5

Матрица планирования эксперимента и результаты опыта представлены в табл. 3.

Таблице 3

№ опыта	Натуральные		Кодированные значения факторов					Параметр оптимизации P_{cp} R 50 ⁰ C (МПа)
	эмульсия	цемент	X_1	X_2	$X_1 * X_2$	X_1^2	X_2^2	
1	9	4	0	-1	0	0	1	1,3
2	9	7	0	0	0	0	0	3,5
3	9	10	0	1	0	0	1	3,8
4	6,00	5,5	-0,867	-0,5	0,434	0,752	0,25	3,3
5	6,00	8,5	-0,867	0,5	-0,434	0,752	0,25	5,1
6	12,00	5,5	0,867	-0,5	-0,434	0,752	0,25	1,7
7	12,00	8,5	0,867	0,5	0,434	0,752	0,25	0,8

Дисперсионный анализ представлен в табл. 4.

Таблица 4

№ опыта	Получено в опыте		Проверка			Дисперсия среднего, S^2
	P_1	P_2	P_{cp}	$(P_1 - P_{cp})^2$	$(P_2 - P_{cp})^2$	
1	1,16	1,5	1,33	0,0289	0,0289	0,05780
2	3,45	3,6	3,53	0,0056	0,0056	0,01125
3	4,05	3,53	3,79	0,0676	0,0676	0,13520
4	3,14	3,47	3,31	0,0272	0,0272	0,05445
5	5,51	4,69	5,10	0,1681	0,1681	0,33620
6	1,61	1,7	1,66	0,0020	0,0020	0,00405
7	0,72	0,92	0,82	0,0100	0,0100	0,02000

Проверка однородности ряда дисперсии по критерию Кохрена показала, что дисперсии однородны.

Гипотеза об адекватности уравнения по критерию Фишера не опровергается.

Подставив в уравнение с кодированными переменными, натуральные значения факторов и преобразовав его, получим зависимость предела прочности при сжатии органоминеральной смеси при 50⁰С от содержания катионной битумной эмульсии и цемента М500 табл. 5, рис. 1.

Таблица 5

Расчетные зависимости предела прочности при сжатии при 50⁰С (МПа) от содержания катионной битумной эмульсии и цемента М500

Цемент,% →	4	5	6	7	8	9	10
Эмульсия,% ↓							
6	1,20	2,49	3,58	4,44	5,11	5,56	5,80
7	1,45	2,59	3,53	4,25	4,77	5,07	5,16
8	1,57	2,57	3,36	3,94	4,31	4,46	4,41
9	1,58	2,43	3,07	3,51	3,73	3,74	3,54
10	1,46	2,17	2,66	2,95	3,03	2,89	2,54
11	1,22	1,78	2,13	2,27	2,20	1,92	1,43
12	0,86	1,28	1,48	1,48	1,26	0,83	0,18

Требование ГОСТ 30491-97 к пределу прочности на сжатие при температуре 50⁰С составляет: не менее 0,5 МПа.

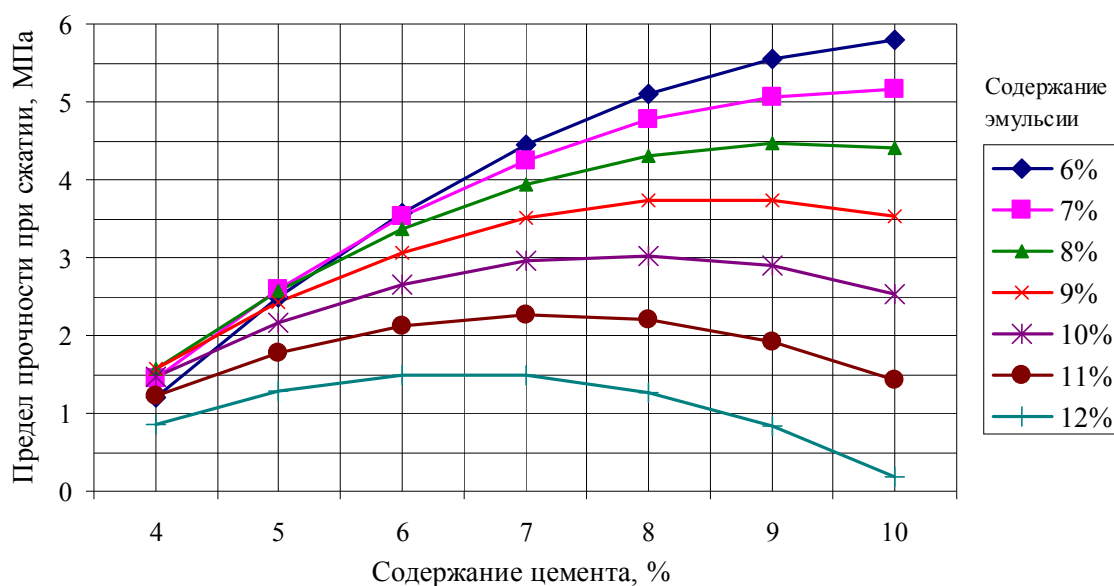


Рис. 1. Расчетные зависимости предела прочности при сжатии при 50⁰С (МПа) от содержания катионной битумной эмульсии и цемента М500

Для определения расчетной зависимости водостойкости от содержания катионной битумной эмульсии и цемента М500 применяем метод планирования эксперимента. Результат расчета зависимости водостойкости представлен в табл. 6, рис. 2.

Таблица 6

Расчетные зависимости водостойкости от содержания катионной битумной эмульсии и цемента М500

Цемент,% →	4	5	6	7	8	9	10
Эмульсия,% ↓							
6	0,03	0,27	0,44	0,56	0,64	0,69	0,69
7	0,15	0,39	0,55	0,66	0,72	0,75	0,73
8	0,24	0,48	0,64	0,73	0,78	0,78	0,73
9	0,32	0,56	0,70	0,77	0,79	0,77	0,68
10	0,34	0,59	0,72	0,77	0,76	0,69	0,55
11	0,29	0,56	0,68	0,70	0,65	0,53	0,32
12	0,07	0,41	0,53	0,52	0,42	0,23	0,00

Требование ГОСТ 30491-97 к водостойкости составляет: не менее 0,60.

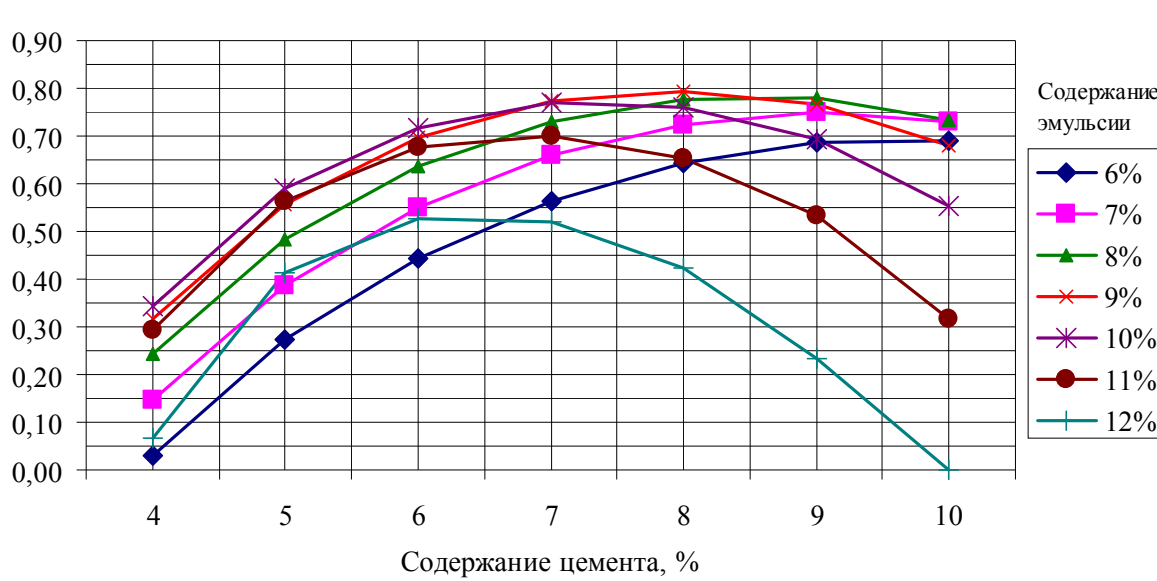


Рис. 2. Расчетные зависимости водостойкости от содержания катионной битумной эмульсии и цемента М500

Анализируя данные физико-механических характеристики – предел прочности при сжатии при 50⁰С и водостойкость, на соответствие требованиям ГОСТ 30491-97 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства» можно сделать вывод, что при минимальном содержании катионной би-

тумной эмульсией 8% и цемента М500 6%, полученная органоминеральная смесь может быть рекомендована в качестве верхнего и нижнего слоя основания в IV-V дорожно-климатической зоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30491-97. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства.
2. *Кнатъко В.М., Руднева И.Е., Баринов Е.Н., Чижевский Ю.С.* Математические методы и планирование эксперимента в грунтоведении и инженерной геологии. Л., 1983.
3. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
4. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (в ред. Изменения N 2, утв. Постановлением Госстроя РФ от 04.12.2000 N 115).
5. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
6. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
7. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний (в ред. Изменения N 1, введенного в действие Постановлением Госстроя РФ от 04.12.2000 N 115).

В.Т. Ерофеев, С.В. Казначеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, В.А. Спирин

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСТОЙКИХ КАРКАСОВ НА КЕРАМЗИТОВОМ ГРАВИИ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРЕПАРАТАМИ НА ОСНОВЕ ГУАНИДИНА

Мордовский государственный университет

Известно, что одним из наиболее перспективных направлений совершенствования строительных композитов является получение материалов каркасной структуры [1]. Технология их изготовления включает предварительное создание оптимальных смесей заполнителей и склеивание зерен друг с другом с помощью клеевых составов на основе различных связующих. При увеличении поверхностной пористости заполнителей расход связующего в каркасах увеличивается. Пористые заполнители, в том числе керамзитовый гравий, за счет капиллярных сил впитывают связующее, поэтому или его становится недостаточно для склеивания заполнителей, или на зернах образуется слишком тонкая оболочка. В этой связи важной является операция по предотвращению впитывания клеевой композиции пористыми заполнителями. С целью повышения их прочности можно предусмотреть пропитку пористых заполнителей связующими. Проведенные нами исследования были посвящены разработке каркасов на цементном

клею, модифицированном биоцидными препаратами на основе гуанидина и керамзитовом гравии.

Нами были проведены исследования направленные на исследование биостойких каркасов на модифицированном цементном клее и известняковом щебне. Клеевой состав изготовлялся на основе бездобавочного портландцемента М500 ОАО «Мордовцемент», удовлетворяющего требованиям ГОСТ 10178–88 с модифицирующими добавками, в качестве которых использовались препараты на основе гуанидина «Тефлекс Антиплесень», «Тефлекс Антисоль смывка», «Тефлекс Реставратор» «Тефлекс Защита для металла», «Тефлекс дезинфицирующий» и «Тефлекс индустриальный». Данные добавки способствуют повышению биостойкости композитов (модифицированные цементные составы обладают грибостойкими и фунгицидными свойствами) и позитивно влияют на их физико-механические свойства [2, 3]. Модифицированные цементные составы пригодны для применения в качестве клеевых композиций. В качестве крупных заполнителей применялся керамзитовый гравий фракции 5–10 мм (производства ОАО «Саранский завод КПД», г. Саранск).

Испытания проводились на образцах в виде призм размером 40×40×160 мм. Готовились равноподвижные смеси при этом было зафиксировано, что введение добавок, содержащих гуанидин, оказывает пластифицирующее действие и оптимизирует соотношение жидкой фазы и сухих компонентов необходимое для создания равноподвижной смеси. Следует отметить, наибольший эффект достигается при применении препаратов «Тефлекс Антиплесень» и «Тефлекс Антисоль смывка».

Нами были установлены основные физико-механические свойства каркасов на керамзитовом гравии и модифицированном цементном клее, а так же кинетики их изменения в процессе твердения. Результаты испытаний модифицированных композитов сравнивались с результатами испытаний образцов, не содержащих добавок, что также отображено на графиках. Полученные графические зависимости изменения прочности на сжатие и при изгибе, а также средней плотности каркасов, отвержденных в нормальных условиях в течение 3, 7 и 28 суток, от вида модифицирующих добавок приведены на рис. 1–3.

Максимальная средняя плотность выявлена при модификации клеевых составов каркасов на керамзитовом гравии препаратом «Тефлекс дезинфицирующий» (рис. 1).

Установлено, что по прочностным свойствам при испытании как на сжатие, так и на изгиб все каркасы на керамзитовом гравии, склеенные составами, модифицированными биоцидными препаратами на основе гуанидина, превосходят бездобавочные (рис. 2, 3).

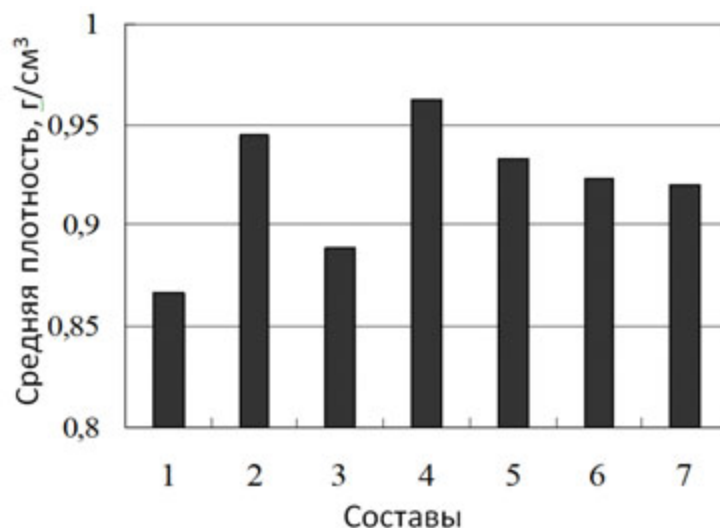


Рис. 1. Зависимость изменения средней плотности каркасов на керамзитовом гравии и цементном клее от вида биоцидных добавок:

- 1 – бездобавочный состав; 2 – «Тефлекс Антиплесень»;
 3 – «Тефлекс Антисоль смывка»; 4 – «Тефлекс Реставратор»;
 5 – «Тефлекс Защита для металла»; 6 – «Тефлекс дезинфицирующий»;
 7 – «Тефлекс индустриальный»

Наилучшие прочностные характеристики при испытании на сжатие получены при введении в состав препаратов «Тефлекс Реставратор» и «Тефлекс Защита для металла». Их прочностные характеристики до 45% выше, чем у контрольных бездобавочных (см. рис. 2).

При испытании на изгиб максимальная прочность выявлена при введении препаратов «Тефлекс Реставратор», «Тефлекс дезинфицирующий» и «Тефлекс Защита для металла». Прочностные характеристики материалов с указанными добавками до 35% выше, чем у контрольных бездобавочных составов (см. рис. 3).

На примере каркасов, изготовленных на керамзитовом гравии и цементном вяжущем подтверждена эффективность применения биоцидных клеевых составов, модифицированных препаратами на основе гуанидина. Показано, что на все модифицированные каркасы на керамзитовом гравии, показали более высокую прочность по сравнению с бездобавочными. Наилучшие прочностные характеристики при испытании на сжатие получены при введении в состав препаратов «Тефлекс Реставратор» и «Тефлекс Защита для металла». Их прочностные характеристики выше, чем у контрольных бездобавочных до 45% при испытании на сжатие и 35% при изгибе. Таким образом, использование разработанных составов позволяет не только повысить биостойкость композитов, но и существенно улучшить их физико-механические свойства.

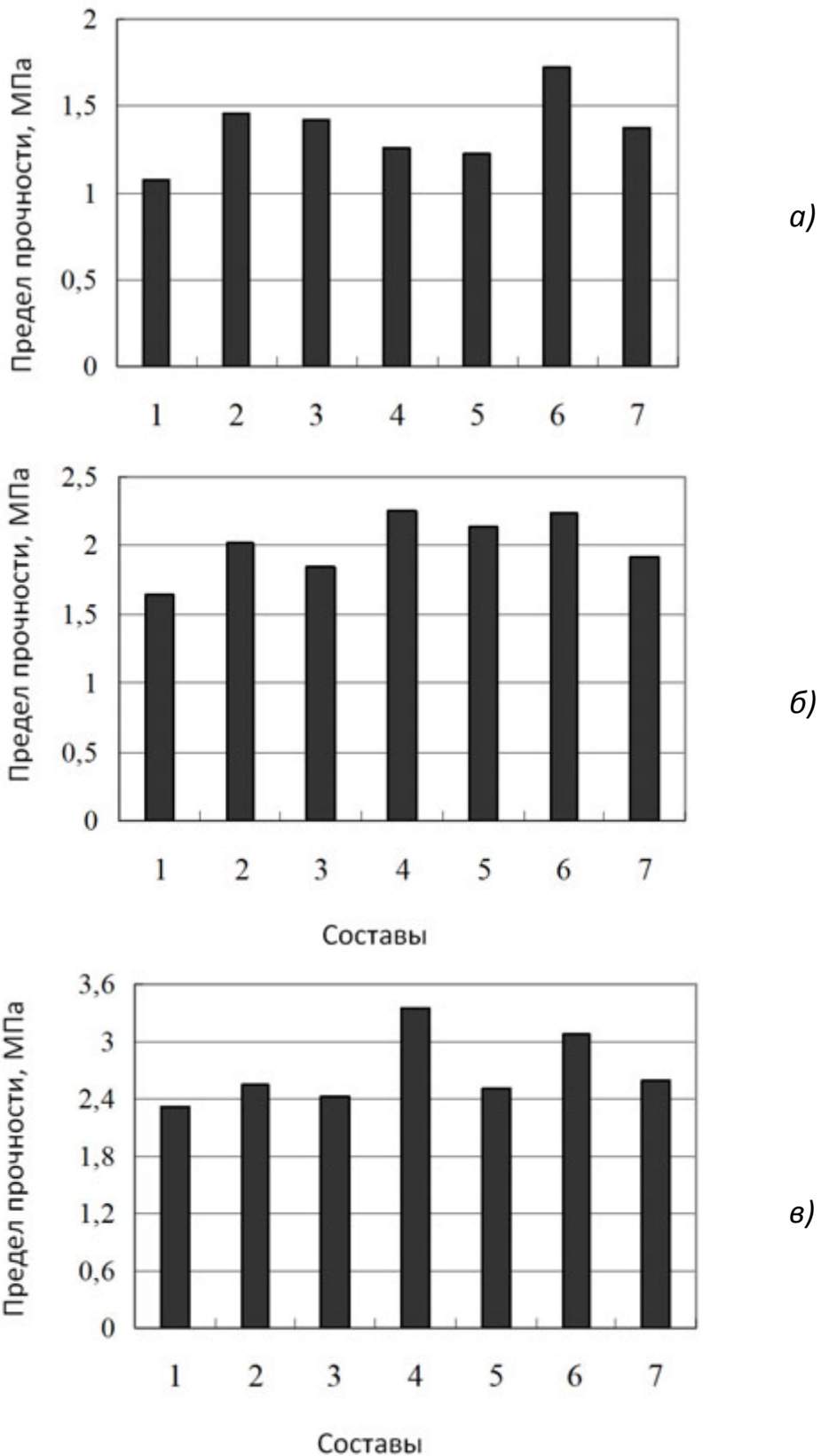
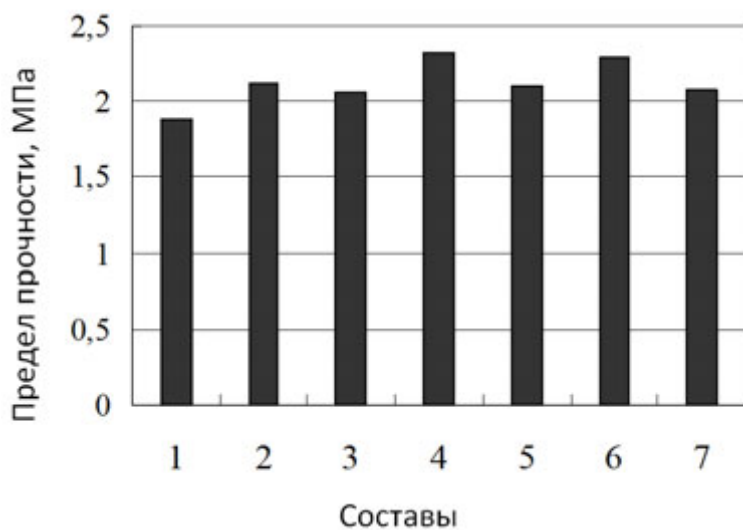
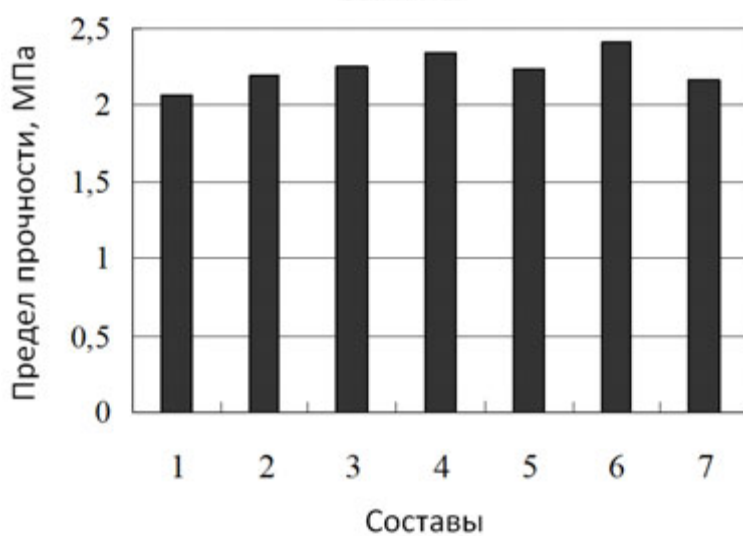


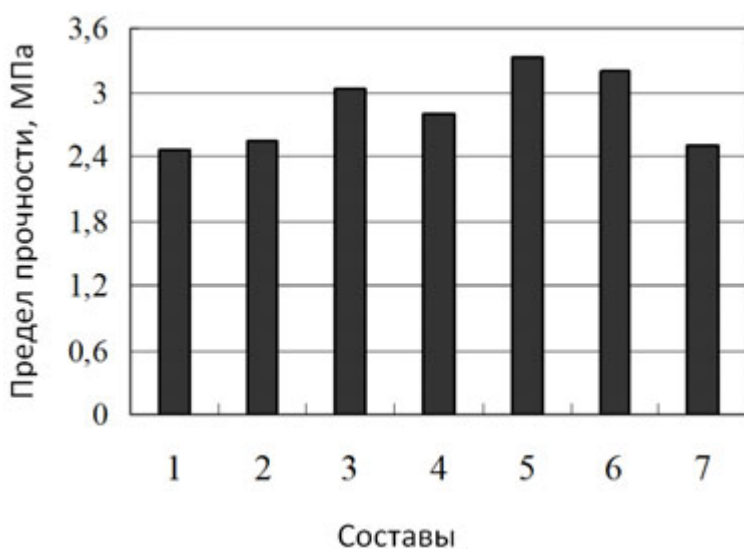
Рис. 2. Зависимость изменения прочности на сжатие каркасов на керамзитовом гравии и цементном клее, отвержденных в течение 3 (а), 7-и (б) и 28-и (в) суток, от вида биоцидных добавок (обозначения те же)



a)



б)



в)

Рис. 3. Зависимость изменения прочности при изгибе каркасов на керамзитовом гравии и цементном клее, отвержденных в течение 3 (а), 7-и (б) и 28-и (в) суток, от вида биоцидных добавок (обозначения те же)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев В.Т., Мищенко Н.И., Селяев В.П., Соломатов В.И. Каркасные строительные композиты : в 2 ч. / ; под ред. акад. РААСН В.И. Соломатова. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1995. – 372 с.

2. Ерофеев В.Т., Казначеев С.В., Богатов А.Д. и др. Биоцидные цементные композиты с добавками, содержащими гуанидин // Приволжский научный журнал, №4(16). – Н. Новгород, 2010. — С. 87–93.

3. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / под ред. Комохова П.Г., Ерофеева В.Т., Афиногенова Г.Е. – СПб.: Наука, 2009. — 192 с.

Ю.Г. Иващенко, С.А. Евстигнеев, А.В. Страхов

РОЛЬ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И МОДИФИКАТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Саратовский государственный технический университет

В статье рассматривается роль различных наполнителей на формирование структуры композиционного материала на основе гипсового вяжущего.

Наполнителями принято считать дискретные структурные элементы произвольного вида, формы и поверхностной активности, размер которых не позволяет создавать им поля собственных напряжений в структуре композита, но которые способны качественно влиять на организацию структуры через межплоскостные контакты взаимодействия [1].

При использовании гипсового вяжущего прочность структуры композита зависит от многих факторов, но по характеру разлома затвердевшего камня можно определить наиболее слабое место образовавшегося материала. Разрушение может носить адгезионный характер или когезионный.

Для оценки химической активности наполнителя по отношению к связующему используется водородный показатель его водной вытяжки (pH). Показатель pH влияет на смачиваемость поверхности наполнителя, кинетику реакции твердения и, как следствие – на свойства полученного композита. Большинство минеральных наполнителей имеет высокую поверхностную энергию, что и определяет их сравнительно высокое адгезионное взаимодействие с гипсовым вяжущим.

Одной из научно-обоснованной классификаций наполнителей является разделение минеральных порошков, предложенной школой Рыбьева И.А. при исследованиях битумно-минеральных материалов, которое является целесообразным и для исследований и разработки искусственных

строительных композиционных материалов на основе синтетических полимеров и минеральных вяжущих. По этой классификации в зависимости от энергетического потенциала центров на поверхности наполнители разделены на 5 групп:

- *группа А* – наполнители из ультракислых и кислых горных пород с высоким потенциалом отрицательного знака в связи с наличием на поверхности частиц значительного количества адсорбционных центров в виде ионов O^{-2} (кварц, гранит и др.);

- *группа Б* – наполнители из средних магматических пород и минералов с высоким потенциалом отрицательного знака в связи с наличием на поверхности частиц адсорбционных центров – O^{-2} и одновалентных катионов K^{+} , Na^{+} (ортоклаз, альбит и др.);

- *группа В* – наполнители из средних, основных и ультраосновных магматических горных пород с пониженным потенциалом отрицательного знака в связи с наличием на поверхности частиц значительного количества адсорбционных центров в виде O^{2-} и катионов различной активности K^{+} , Na^{+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} (анортит, базальт и др.);

- *группа Д* – наполнители основных осадочных горных пород с высоким положительным потенциалом в связи с наличием на поверхности частиц большого количества адсорбционных центров в виде катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} (известняк; доломит и др.);

- *группа Е* – наполнители с преимущественно нейтральной поверхностью (графит, тальк и др.).

Введение наполнителей в исходном состоянии и активированных поверхностно-активными веществами в зависимости от суммарного содержания поверхностных активных центров представляет собой одно из направлений управления структурой и свойствами композиционных материалов на основе гипсового вяжущего. Эффективность этого направления может быть повышена при комплексном учете кислотно-основных, адсорбционных свойств и концентрации парамагнитных центров поверхности наполнителей [2].

Взаимодействие между наполнителем и матрицей – важнейшее условие для получения композиционного материала с заданными свойствами. Наличие его обуславливает работу композита как единого целого, т.е. каждый из компонентов выступает не как отдельный материал, а как система. Прочностные свойства композиции резко возрастают при введении в нее наполнителей, образующих пространственную структуру. Чем анизотропнее форма частиц, тем при меньшей их концентрации образуется пространственная структура.

Влияние дисперсного наполнителя на прочностные показатели композитов исследовано во многих работах, в которых теоретически обосновано, что с увеличением удельной поверхности наполнителя прочность

КСМ должна возрастать, что связывается с увеличением площади взаимодействия, а следовательно, и увеличением доли межфазного слоя. Межфазный слой образуется при физической адсорбции на поверхности наполнителей ориентированных слоёв связующего, не вступивших в химическое взаимодействие с ней. Прочность межфазного слоя выше прочности объемной матрицы в несколько раз.

С увеличением дисперсности наполнителя возрастает и его общая поверхностная энергия, что обусловлено нескомпенсированностью поверхностных молекулярных сил (ненасыщенностью поверхностных связей) свежедиспергированного материала. При этом с увеличением дисперсности наполнителя имеет место рост химического потенциала, а значит и реакционной способности каждой отдельно взятой его частицы [3]. Необходимо отметить, что изменение реакционной способности наполнителя при измельчении, вызывается не только уменьшением размеров частиц, но и изменением кристаллической структуры поверхностных слоев частиц вследствие их предельного пластического деформирования. К примеру, поверхность кварца при его измельчении аморфизуется. Причем толщина аморфного слоя на его частицах увеличивается с повышением дисперсности [4, 5].

Важнейшим условием усиливающего воздействия наполнителей является высокая адгезия связующего к поверхности наполнителя и, следовательно, природы связей на границе раздела «связующее–наполнитель».

В качестве наполнителей композиционных материалов на основе гипсового вяжущего широко используются различные мелкодисперсные природные и техногенные минеральные материалы: молотые кремнеземсодержащие породы, тонкомолотый песок, портландцемент, зола-унос и др.

Приведенные выше примеры наполнителей и закономерности их влияния на структурообразование композита, изучались на строительном гипсе, изготовленном по традиционной технологии из природного сырья.

Примерами наполнителей композиций на основе гипсового вяжущего из фосфогипса являются: тонкомолотая негашеная известь, прокаленный диатомит, шлакозольные отходы, доменный шлак, отсевики гипсового или известнякового щебня [6, 7].

Согласно наиболее известной в строительном материаловедении, является классификация по активности минеральных добавок на 2 вида: инертные и активные [8].

В своей работе авторы [9] предлагают классифицировать все наполнители на «химически активные» – образующие соединения с вяжущими свойствами и «физически активные» – не образующие соединений с вяжущими свойствами, но влияющие на формирование структуры и свойств композиционного материала.

Таким образом, исследование и разработка новых минеральных наполнителей полифункционального действия является весьма актуальной задачей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. Ташкент: ФАН, 1991. — 345 с.
2. Иващенко Ю.Г. Структурообразование, свойства и технология модифицированных фурановых композиций // Дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. Саратов, 1998. — 608 с.
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Учебник для вузов. М.: Химия, 1982. — 400 с.
4. Гаркави М.С., Артамонова А.В. и др. Цементы центробежно-ударного измельчения / Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции/Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Т1. – Казань, 2010. — С. 24–27.
5. Ходаков Г.К. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Стройиздат, 1972. — 239 с.
6. Сырьевая смесь для изготовления гипсового кирпича: пат. 2417181 Рос. Федерация. 2009147551/03 от 21.12.2009. опубл. 27.04.2011, Бюл. №12. — 8 с.
7. Сырьевая смесь для получения гипсового вяжущего и изделий на его основе: пат. 24136 Рос. Федерация. 2009103066/03 от 30.01.2009. опубл. 10.03.2011, Бюл. №11. — 10 с.
8. ГОСТ 24640-91 (СТ СЭВ 6824-89). Добавки для цементов. Классификация
9. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. К классификации наполнителей искусственных строительных композиционных материалов // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции / КазГАСУ. Т1. Казань, 2010. — С. 48–52.

Ю.Г. Иващенко, А.В. Страхов, М.М. Иняхин

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Саратовский государственный технический университет

В статье рассматривается возможность получения композиционных материалов на основе силикатнатриевого связующего минеральных добавок с применением местного природного и техногенного сырья.

Одним из направлений, способных улучшить экологическую обстановку и снизить вредное воздействие токсических веществ на человека, является разработка новых видов экологически чистых строительных материалов и технологий их производства. Такими материалами могут стать

строительные композиты на основе жидкого стекла, синтезированного по низкотемпературному методу. Данный способ позволяет использовать кремнеземсодержащее сырье, содержащее аморфный и кристаллический диоксида кремния. Причем использование горных пород, содержащих аморфный кремнезем позволяет сократить технологическую цепочку производства синтеза жидкого стекла в несколько раз. Максимальное использование природного потенциала сырьевых компонентов, с минимальным техногенным воздействием, позволит снизить расход материальных и энергетических ресурсов и исключить вредные выбросы в атмосферу, образующиеся при сжигании топлива.

Целью данной работы является получение стенового материала на основе силикатнатриевого связующего из кремнеземсодержащих пород.

Интерес к строительным материалам на основе жидкого стекла определяется, прежде всего, экологической чистотой и простотой производства и применения, негорючестью и нетоксичностью получаемых материалов, их биологической устойчивостью, а также доступностью исходного сырья. Наряду с указанными преимуществами, строительные материалы на основе жидкого стекла имеют недостаток в виде низкого коэффициента размягчения.

Основным недостатком строительных материалов на основе жидкого стекла является низкая водостойкость. Однако этот недостаток легко устраняется путем применения в составе сырьевой смеси различных добавок или наполнителей [1].

В монографиях [2, 3] авторы предлагают классифицировать наполнители по следующему принципу:

Компоненты пассивные: слюда, титановые белила, кобальтовые и кадмиевые окисные пигменты, полевой и тяжелый шпат, кирпич. Они не являются поставщиками ионов в раствор силиката натрия, затвердевшая пленка жидкого стекла оказывается водорастворимой и с низкой прочностью.

Компоненты пониженной активности: мел, мраморная мука, тальк, волластонит, окись хрома, двуокись марганца, сурик железный, черный железо-окисный пигмент, отоженные окись магнезия, различные алюмосиликатные породы, кварцевый песок.

Компоненты активные: окись цинка, карбонаты магнезия, доломит, охра глинистая, брусит, гидраргиллит, мука из битого стекла, бронзовые и алюминиевые пудры, цинковые пыли. Это вещества в короткий срок при хорошем измельчении обеспечивают переход жидкого стекла в твердое водонерастворимое состояние.

Компоненты высокоактивные: известь, портландцемент, окись магнезия (неотожженная), свинцовый сурик, свинцовые белила, фторосиликаты.

Предложенная градация очень приближенная. Активность большинства окислов и карбонатов зависит от их происхождения. Как почти во всех гетерогенных реакциях, где твердое вещество реагирует с жидкой фазой, химический состав твердой фазы еще не указывает на кинетику процесса.

В данной работе в качестве вяжущего применялось силикатнатриевое связующее (СНС), полученное методом гидротермального синтеза кремнеземсодержащих пород (опоки) месторождений Саратовской области, характеристики пород приведены в табл. 1 и 2 [4].

Таблица 1

Химический состав силицитовых пород

Кремнеземсодержащая порода	Химический состав, масс.%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	п.п.п.
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	81,6–86,9	5,4–6,2	не более 1,5	0,8–1,4	не более 1,15	5,33
Опока «карбонатная» карьера г.Маркса	51,7–60,4	6,1–7,0	не более 3,13	12,4–21,7	не более 0,98	12,3

Таблица 2

Минералогический состав силицитовых пород

Кремнеземсодержащая порода	Активный SiO ₂ , %	Кварц, %	Глина (каолинит), %	Цеолит, %	Кальцит, %
Опока «кремнистая» карьера села Поливановка	65,3–78,5	2,5–3,7	4,0–6,5	не более 1,0	не более 1,0
Опока «карбонатная» карьера г. Маркса	42,0–53,1	1,9–2,4	1,2–2,6	не более 0,5	14,9–25,7

В качестве наполнителей СНС в данной работе использовались: известьсодержащий отход, мелкодисперсный бой бетонных конструкций (МББ), мелкодисперсный бой керамического кирпича (МБКК), молотый песок, молотая опока, а также их сочетания в различных соотношениях. В качестве заполнителя применялся песок.

Известьсодержащий отход представляет собой рыхлую массу с органическими включениями различного рода. По цвету он может быть от светло-серого с беловатым отливом до грязно-коричневого или бурого тона. По степени дисперсности известьсодержащий отход представляет собой разнородную массу от рыхло-дисперсной и почти несвязной до агрегатов с образовавшимися комками и достаточно прочной структурой. По водородному показателю имеет ярко выраженную щелочную характеристику – рН = 11,7–13,43.

Таблица 3

Химический состав известьсодержащего отхода

Химический состав, масс.%								
CaCO ₃	Ca(OH) ₂	CaO	MgCO ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Органические вещества	Нерастворимые сахараы кальция и магния
58,3–63,1	19,6–24,8	0,45–1,9	8,6–3,4	0,2–3,8	0,9–1,3	0,2–1,0	12,0–15,0	до 8,0

Такой выбор материала обусловлен большими объемами отхода и свойствами дефеката как кальцийсодержащего компонента, поставляющего ионы Ca²⁺ в состав силикатнатриевой композиции.

Бой керамического кирпича представляет собой гидроалюмосиликат, полученный путем высокотемпературного (970–1050°С) обжига заранее подготовленной и отформованной глиняной массы с различного рода добавками. Бой керамического кирпича является отходом производства в соответствие с требованиями ГОСТ 25916-83 «Ресурсы материалы вторичные. Термины и определения» и ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения».

Таблица 4

Химический состав мелкодисперсного боя керамического кирпича

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	п.п.п.
58,75–69,64	5,99–7,13	2,97–3,74	3,12–4,98	0,85–1,27	6,87–9,15	0,13–0,21	1,12–1,18	0,6–0,81	0,08–0,09	0,65

Таблица 5

Минералогический состав МБКК

Содержание % масс				
Кварц	Полевые шпаты	Гематит	Кристаллит	Аморфное вещество
64±5	14±2	4±1	5±2	25±5

МБКК применялся после помола на планетарной мельнице до удельной поверхности $S_{уд}=290–330 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Все результаты по полученным образцам на основе СНС отражает сводная табл. 6.

Образцы на основе связке №2 и наполнителя №1 по истечению месячного срока были подвергнуты термической обработке при температуре 400 °С, в последствие были проведены эксперименты на водостойкость образцов, где они показали хорошие результаты, в частности образец с соотношением наполнитель-матрица – 1:1 показал коэффициент водостойкости $K_{в}=0,85$.

Таблица 6

Результаты экспериментов

Матрица	Наполнитель	Заполнитель	Соотношение (наполнитель :заполнитель :матрица)	Результаты
1	2	3	4	5
Связка №1	(Известьсодержащий отход + песок) подвергнутые механоактивации в соотношении 1:2 Наполнитель № 1	-	1:2	Большие усадочные трещины.
			2:3	
			1:1	
Связка №1	Молотый песок	-	1:1	Произошла седиментация
Связка №1	Песок		1:1	
Связка №2	Наполнитель №1		1:2	Отсутствие усадочных трещин, глянцевая ровная поверхность
			2:3	Появляются небольшие усадочные трещины, больше похожие на шелушение, пыление поверхности в результате переизбытка наполнителя.
			1:1	С образцами протекают аналогичные процессы, что и с составом выше (соотношение 2:3), увеличена лишь их интенсификация.
Связка №3	Наполнитель №1+опока кремнистая, в соотношении 1:1	Молотый песок	5:5:1	При введении наполнителя происходит коагуляция, в результате чего ухудшается формовка.
	Наполнитель №1+опока карбонатная, в соотношении 1:1		5:1 Без заполнителя	При введении наполнителя происходит коагуляция, в результате чего ухудшается формовка.
	Наполнитель №1+сажа, в соотношении 5:1		5:5:1	-

1	2	3	4	5
Связка №4	Мелкодисперсный бой бетона	-	1:4	Большие усадочные радиальные трещины.
			1:2	Образцы показывают хорошую жизнеспособность, отсутствие усадочных трещин, глянцевая ровная поверхность.
			3:4	Поверхностная сетка из микротрещин.
Связка №3	Мелкодисперсный бой бетона	-	1:4	Отсутствие усадочных трещин, глянцевая ровная поверхность. Увеличены сроки твердения.
			1:2	Матовая поверхность.
			3:4	- / -
Связка №5	Наполнитель №1+опока кремнистая, в соотношении 1:1	-	1:10	Глянцевая поверхность, белые высолы. На 2 сутки значительные трещины. Образец, в связи с сильной карбонизацией и возникновением внутренних напряжений, дал сильные трещины.
			1:2	Глянцевая поверхность, наличие незначительных белых высолов.
Связка №5	Мелкодисперсный бой бетона		1:2	Глянцевая поверхность, незначительные белые высолы.
Связка №5	МБКК		1:2	Образцы не затвердели
Связка №5	Молотый песок		1:2	Седиментация

Таким образом, в результате данной работы было установлено преимущество предварительного мокрого совместного помола кремнеземсодержащего составляющего в растворе едкого натра перед гидротермальной обработкой. Также был выявлен наиболее оптимальный состав для производства силикатнатриевого связующего, а также композиционного материала на его основе с применением наполнителей, полученных из сырья природного и техногенного происхождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глуховский В.Д. Грунтосиликаты. Киев: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре УССР, 1959. — 128 с.
2. Корнеев В.И., Данилов В.В. Растворимое и жидкое стекло. СПб.: Стройиздат, 1996. — 216 с.
3. Корнеев В.И. Производство и применение растворимого стекла. Жидкое стекло. Л.: Стройиздат, 1991. — 176 с.
4. Павлова И.Л., Страхов А.В., Иващенко Н.А. Перспективы использования местного силицевого сырья в производстве строительных материалов // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материа-

лов: сборник статей Международной научно-технической конференции. Пенза: ПДЗ, 2008. — С. 68–69.

5. Страхов А.В. Теплоизоляционный материал на основе силикатнатриевого связующего, модифицированного активными минеральными добавками. Автореф. диссер. на соиск. степ. канд. техн. наук. — 21 с.

В.А. Кабанов, О.Н. Замыцкий

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕРЕВОКЛЕЁНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Юго-Западный государственный университет

Большинство эксплуатационных показателей надёжности являются показателями времени. Количественно долговечность оценивается техническим ресурсом, то есть суммарной наработкой t изделия до предельного состояния. Опыт эксплуатации зданий показывает, что в нормальных условиях большинство конструкций за нормативный срок службы полностью не исчерпывают физико-механических качеств материалов и поэтому не полностью реализуется ресурс долговечности. Для более точного определения долговечности необходим поверочный расчёт на эксплуатационной стадии жизненного цикла в сложившихся условиях эксплуатации и при определённом уровне нагружения.

Одним из важных факторов надёжности и конструктивной безопасности является остаточный ресурс времени работы элемента до разрушения t_{res} . При оценке технического состояния деревяноклеёных строительных конструкций возникает необходимость сравнить полное время работы элемента до разрушения ($t_{ser} + t_{res}$) с проектной долговечностью здания t_d , тогда

$$t_{res} = t_d - t_{ser}. \quad (1)$$

Для решения данной задачи можно использовать зависимости кинетической теории прочности Журкова [1]

$$\lg t_{ser} = \lg A - \alpha \sigma_{ser}, \quad (2)$$

$$\lg t_d = \lg A - \alpha \sigma_d, \quad (3)$$

где A и α – параметры связи с атомно-молекулярным строением материала при постоянной температуре [1]; σ_{ser} – параметр фактического напряжения в элементе, вычисленный по итогам обследования; σ_d – параметр проектного напряжения в элементе.

Для определения фактического значения долговечности крупноразмерного элемента формулы (2), (3) не дают объективного результата, так

как не учитывают случайный характер величин прочности и нагрузок. Параметр долговечности элемента строительных конструкций в условных единицах времени может быть выявлен с использованием зависимости для фактической вероятности отказа V_ϕ [2]:

$$V_\phi \approx \int_0^t \frac{d_{sk}}{\sqrt{d_{rk}^2 + d_{sk}^2}} \exp\left[-\frac{(\langle r_k \rangle - \langle s_k \rangle)^2}{2(d_{rk}^2 + d_{sk}^2)}\right] \frac{\omega_{sk} d\tau}{2\pi}, \quad (4)$$

где d_{sk} – дисперсия случайной величины $\langle s_k \rangle$, d_{rk} – дисперсия случайной величины $\langle r_k \rangle$, $\langle r_k \rangle$ – математическое ожидание предела прочности, $\langle s_k \rangle$ – математическое ожидание нагрузки, $\langle \omega_{sk} \rangle = \frac{d_s}{\langle s \rangle}$ – коэффициент изменчивости нагрузки.

Дополнительный анализ выражения (4) для выявления особенностей изменения долговечности элемента строительных конструкций и исследование при нагрузках соответствующих $(0,2-0,9)R_{fr}$, с использованием программной среды MathCad позволил получить аппроксимированную зависимость без аддитивного компонента

$$t = \frac{3,3}{\left(\frac{\sigma}{R_{fr}}\right)^{4 \cdot \left(1 + \frac{\sigma}{R_{fr}}\right)}}. \quad (5)$$

Можно ввести дополнительную переменную $Z = \sigma/R_{fr}$, тогда зависимость (5) для определения относительной долговечности примет вид

$$t = \frac{3,3}{(Z)^{4 \cdot (1+Z)}}. \quad (6)$$

С целью определения долговечности в натуральных единицах времени и учёта физики и механики процессов постепенного снижения прочности при длительном действии нагрузок произведено преобразование выражения долговечности в условных единицах времени (6) с использованием феноменологических зависимостей σ/R уровня длительной прочности сортовой клеёной древесины от времени нагружения. При этом использован опыт 1980-х гг., накопленный в КурскГТУ [3], по исследованию клеёных деревянных конструкций и определению долговечности на основе результатам длительных статических (более 1 года) и усталостных (на базе 2 млн. циклов) испытаний для напряженных состояний поперечного изгиба (7) [4] и скалывания при изгибе клееных деревянных элементов [3]. Для напряженного состояния поперечного изгиба сортовой клееной древесины

связь уровня нагружения и временного сопротивления R_{fr} , МПа с временем до возникновения отказа t_{fr} , с имеет вид

$$\frac{\sigma}{R_{fr}} = 1,22 - 0,075 \cdot \lg t_p, \quad (7)$$

где $R_{fr2} = 47,4$ МПа для второго сорта древесины; $R_{fr3} = 36,76$ МПа для третьего сорта древесины.

Результирующая зависимость для расчетного определения времени до возникновения отказа t_p получена в виде

$$\lg t_p = \frac{1,22 - \left(\frac{3,3}{t}\right)^{\frac{1}{4(1+Z)}}}{0,075}. \quad (8)$$

При этом получаемые значения фактического времени будут изменяться в следующем диапазоне $t_p = 10^{13,42} \dots 10^{4,2}$ с, что составляет $83,5 \cdot 10^4 \dots 0,0005$ (лет) при уровнях нагружения составляющих $(0,2-0,9) R_{fr}$.

Стоит отметить, что в предшествующих исследованиях А.М. Иванова, В.П. Коцегубова, Ф.П. Белянкина и др. были установлены нижние границы фактов разрушения чистой древесины при изгибе и длительном действии постоянных нагрузок с уровнем нагружения $(0,51-0,53)Z$, для которого значение фактического времени до возникновения отказа составит по полученной нами уточненной зависимости $t_p = 10^{9,8}$ с.

При длительных испытаниях крупноразмерных изгибаемых элементов было зафиксировано, что экспериментальные факты разрушения в форме сдвига в приопорной зоне балок присутствуют при уровне нагружения постоянными нагрузками $0,78Z$ и сроке их действия 1 год ($\lg t_p = 7,5$), а коэффициент длительной прочности на скалывание при изгибе составляет $0,72-0,74$ для 50 и 25 лет нагружения соответственно (исследования В.А. Кабанова) [3]. Коэффициент длительной прочности при поперечном изгибе составляет $0,6$ (исследования С.В. Поветкина) [4].

Таким образом, по параметру уровня нагружения адекватным является использование данной зависимости при эксплуатационных уровнях нагружения в диапазоне $(0,5-1,0)R_{fr}$.

Исследованиями А.С. Фрейдина, К.Т. Вуба, В.М. Хрулева установлена приемлемость экстраполяции по шкале времени эмпирических данных длительных испытаний на базе 1 года нагружения ($\lg t = 7,5$) не далее, чем на $(1-1,5)$ порядка, т.е. до $t_p = (10^{8,5} - 10^{9,8})$, что отвечает сроку $10-31,7$ лет эксплуатации под постоянной (неизменной во времени) нагрузкой.

Применение зависимости (8) при уровнях нагружения менее $0,5R_{fr}$ и ресурсах долговечности более 30 лет может приводить к достаточно большим погрешностям в прогнозировании конструктивной безопасности

по долговечности и требует весьма длительных, до десятков лет, испытаний для проверки и подтверждения достоверности расчетных данных и зависимостей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ионов В.Н., Селиванов В.В.* Динамика разрушения деформируемого тела. – М.: Машиностроение, 1987. — 272 с.
2. *Болотин В.В.* Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. М.: Стройиздат, 1982. — 351 с.
3. *Кабанов В.А.* Надёжность элементов деревянных конструкций. Учебное пособие. Курск: Изд-во ИПЦ КурскГТУ, 2003. — 147 с.
4. *Поветкин С.В.* Выносливость деревянных клееных элементов при изгибе: Автореф. Дисс. на соиск уч.ст. канд. техн. наук. Воронеж, 1988. — с. 11.

С.В. Казначеев, А.Д. Богатов, В.Т. Ерофеев, С.Н. Богатова, О.С. Гречишникова

ВОДОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ БИОЦИДНЫЕ ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ГУАНИДИНА

Мордовский государственный университет

Водостойкость является одним из самых универсальных показателей, характеризующих долговечность строительных композиционных материалов. Вода, обладая высокой проникающей способностью, оказывает деструктивное воздействие практически на все виды композитов. Водостойкость связующего определяется в основном его способностью противостоять физическому воздействию проникающей воды, приводящему к пластификации композиции, уменьшению адгезионного взаимодействия частиц в результате обводнения поверхности контакта. Кроме того, прочность связующего при водонасыщении снижается вследствие того, что микротрещинообразование облегчается при адсорбции твердым телом полярной жидкости [1].

Нами проведены исследования посвященные изучению водостойкости композитов на основе цементного и гипсового связующих, модифицированных препаратами на основе гуанидина. Для этого нами были изготовлены составы, оптимальные по прочностным показателям и биостойкости: составы, содержащие препараты «Тефлекс Антиплесень», «Тефлекс Реставратор» и «Тефлекс Антисоль смывка» – обладающие грибостойкими свойствами и фунгицидные составы с добавкой препарата «Тефлекс индустриальный» [2, 3]. Испытания проводились на образцах-кубах с размером ребра 20 мм. Цементные составы отверждались в условиях термовлажностной обработки при температуре 90 °С, а гипсовые при нормальных условиях. Деструкция структуры под воздействием воды оценивалась по изменению

массосодержания и коэффициенту стойкости композитов, определяемому как относительное изменение предела прочности при сжатии после выдерживания в воде. Испытания образцов на прочность при сжатии и определение изменения массосодержания проводились через 30, 60 и 90 суток по стандартной методике. Результаты испытаний модифицированных композитов сравнивались с результатами испытаний образцов, не содержащих добавок, что также отражено на графиках. Это позволило установить зависимость изменения водостойкости композитов от содержания добавки и длительности испытания. Результаты экспериментов приведены на рис. 1 и 2.

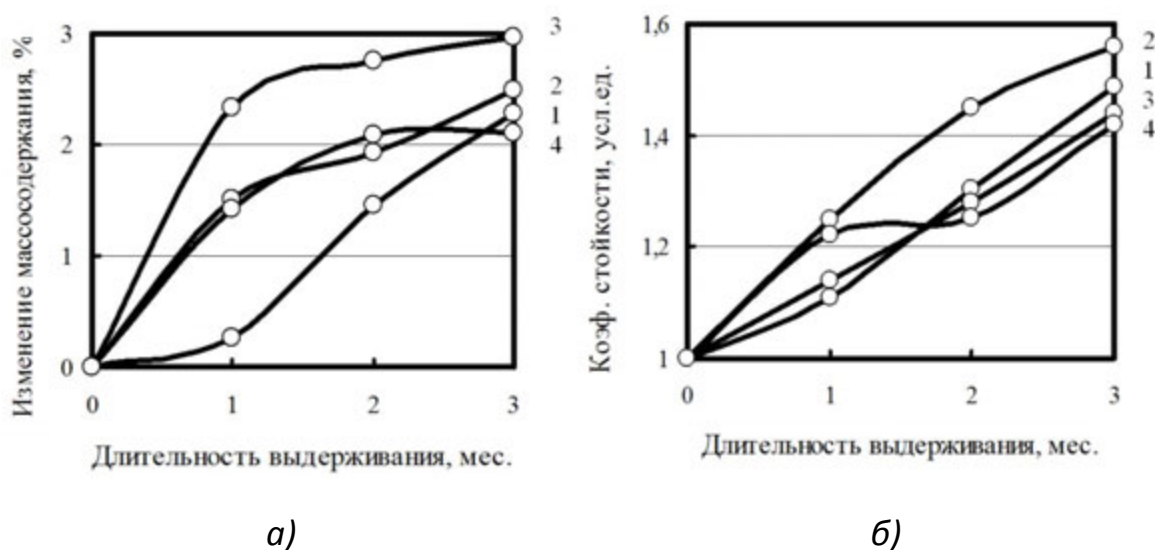


Рис. 1. Зависимость изменения массосодержания (а) и коэффициента водостойкости (б) цементных материалов от вида добавки и длительности испытания:
 1 – контрольные составы без добавки;
 2 – составы, содержащие «Тефлекс Антиплесень»;
 3 – то же, «Тефлекс Реставратор»;
 4 – то же, «Тефлекс индустриальный»

Как видно из графиков, более высоким коэффициентом водостойкости характеризуются грибостойкие композиты, модифицированные препаратом «Тефлекс Антиплесень». В случае использования цементного вяжущего коэффициент водостойкости превышает аналогичный показатель контрольных составов без добавки на 5–10% (см. рис. 1), а при применении гипса – до 35% (см. рис. 2).

Следует отметить, что водостойкость гипсовых материалов, модифицированных препаратом «Тефлекс Антисоль смывка» в возрасте 3 месяцев выше, чем у бездобавочных, на 14%. При введении препарата «Тефлекс индустриальный» также наблюдается тенденция по ее повышению, но показатель несколько ниже (рис. 2). Наименьшим изменением массосодер-

жания характеризуются грибостойкие гипсовые композиты, модифицированные препаратом «Тефлекс Антиплесень» (рис. 2).

Таким образом, результаты исследований подтверждают, что использование биоцидных добавок на основе гуанидина приводит к улучшению физико-технических свойств и долговечности (в частности водостойкости) композитов на основе неорганических вяжущих. Наибольшим коэффициентом водостойкости характеризуются грибостойкие композиты, модифицированные препаратом «Тефлекс Антиплесень».

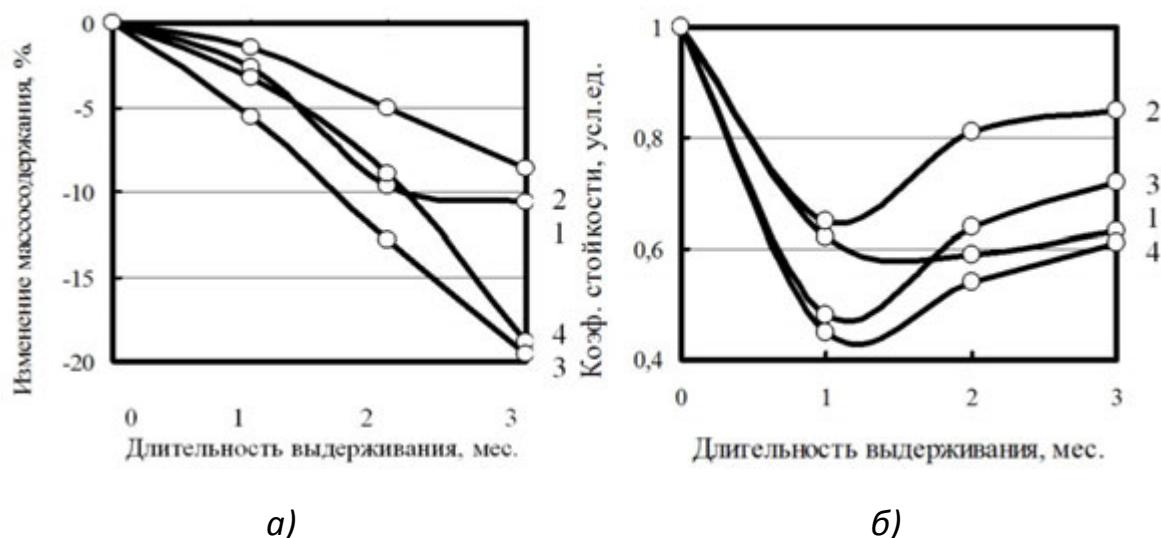


Рис. 2. Зависимость изменения массосодержания (а) и коэффициента водостойкости (б) гипсовых материалов от вида добавки и длительности испытания:

- 1 – контрольные составы без добавки;
- 2 – составы, содержащие «Тефлекс Антиплесень»;
- 3 – то же, «Тефлекс Антисоль смывка»;
- 4 – то же, «Тефлекс индустриальный»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вербецкий Г.П.* Прочность и долговечность бетона в водной среде. – М.: Стройиздат, 1976. — 128 с.
2. *Ерофеев В.Т., Казначеев С.В., Богатов А.Д. и др.* Биоцидные цементные композиты с добавками, содержащими гуанидин // Приволжский научный журнал, №4(16) – Н.Новгород, 2010. — С. 87–93.
3. *Ерофеев В.Т., Казначеев С.В., Смирнов В.Ф. и др.* Биостойкость гипсовых композитов, содержащих модифицирующие добавки на основе гуанидина // Актуальные вопросы строительства : материалы Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2010. Ч.2. — С. 35–41.

Т.П. Кашарина, Д.В. Кашарин

НОВЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт),
Новочеркасская государственная мелиоративная академия

Создание новых композитных материалов, обладающих памятью (наноматериалов), в современном строительстве обеспечивает надежность и безопасность конструкций.

Использование новых композитных (полимерных) материалов (наноматериалов) и нанотехнологий позволяет применять передовые технические решения в строительной отрасли, т.ч. водохозяйственной, отличающихся большим сроком эксплуатации, надежностью и безопасностью функционирования в течение всего жизненного цикла.

Натурные исследования, проведенные авторами, показали, что в процессе эксплуатации конструкции и их элементы, включающие замкнутые и незамкнутые оболочки из композитных (полимерных) материалов, изменяют свои прочностные характеристики в зависимости от степени поврежденности, на которую влияют внешние и внутренние силовые воздействия, в результате снижается их работоспособность.

В связи с этим, применение новых композитных материалов в сочетании с наноматериалами может обеспечить сохранение проектной формы за счет изменения характеристик материала в зависимости от внешних и внутренних воздействий на него в предварительно заданном диапазоне. Однако эти вопросы будущей перспективы развития материалов и технических решений данных конструкций. Применяемые в настоящее время композитные материалы приведены в табл. 1.

На прочность соединения композитных материалов большое влияние оказывает стягивающая сила, направленная по толщине соединяемых деталей. Расчет по определению напряжения вблизи соединения вследствие поперечного сжатия, является трехмерным, что осложняет применение аналитических решений, в т.ч. и метода конечных элементов, поэтому требуется проведение экспериментальных и натурных исследований.

Таблица 1

Композитные материалы, применяемые для строительства
грунтонаполняемых и грунтоармированных конструкций

Наименование материала	Прочность на разрыв полосы шириной 0,05м, кН		Масса, 1 м ² , г	Удлинения, %		Толщина, мм
	основа	уток		основа	уток	
Кевлар-120	44,6	44,6	61	-	-	1,15
Кевлар-181	125	125	170	2		2,29
Кевлар-281	116	116	170	-	-	2,54
Кевлар-181, покрытый тефлором	112,5	-	54,4			2,29
Товлар – 60	34,6	34,8		1,4	1,3	
Армированная полиэтиленовая плёнка	86,5	86,5				2
ТП-50р (ТА-50р)	250	300	230	23	23	0,52
ТК-80р (ТА-80р)	400	450	335			0,65
ТК – 120 р (ТА – 120)	600	650	470			0,93
ТК – 160 р (ТА – 160)	800	850	600			1,15
ТК – 180 р (ТА – 180)	900	950	768			1,5
ТК – 250 р (ТА – 250)	1300	1270	922			1,5
МК-360р	2864	2012	1385			3,16
РТМ-200 РЛ	20000	20000	3000			2,5

Служба эксплуатации грунтоармированных и грунтонаполняемых сооружений должна оценивать; прогнозировать и принимать меры по повышению основных показателей комплекса надёжности:

- работоспособности сооружений и их отдельных элементов, вероятности их безотказной работы (сохранение своих параметров в заданных пределах при определённых условиях эксплуатации в течении определённого времени);
- долговечность сооружений и их отдельных конструкций, способности их длительно, с возможными перерывами на ремонт, сохранять работоспособность в заданных режимах и условиях эксплуатации до разрушения, полного износа или момента, когда ремонт становится экономически неоправданным;
- ремонтпригодности сооружений и их составных элементов, приспособленности их к восстановлению работоспособности путём своевременного ремонта или замены отказавших элементов;
- для достоверной оценки надёжности грунтоармированных и грунтонаполняемых сооружений необходимо ведение систематических на-

блюдений за качеством их эксплуатаций со сбором и обобщением данных о работе отдельных элементов и регистрацией в отдельном журнале;

- всех случаев отказов в работе, их частоты, интенсивности и среднего значения времени между соседними отказами (наработки на отказ);
- проведённых мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности;
- даты, времени и причины возникновения отказа и его устранения;
- конкретного места, характеристики отказа и размера причиненных повреждений;
- времени на отыскание повреждения, ожидание ремонта и его проведение;
- затрат материалов деталей, рабочей силы и денежных средств на устранение повреждения.

Результаты обследования привели к необходимости проведения более подробного анализа композитных материалов, изучения их основных функций и преимуществ по сравнению с традиционными методами, выбора оптимальных композитных материалов для строительства. Проведенный анализ показал, что для обеспечения надежности и безопасности целесообразно использовать композитные материалы с заданными проектными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарина Т.П., Кашарин Д.В., Чеботарев М.А.* Альбом технических решений. - Ростов-на-Дону: ФГУ «Южводпроект», 2002.
2. Пособие к СНиПЗ.07.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» (Обоснования эксплуатационной надежности облегченных гидротехнических сооружений) //ИНПЦ «Союзводпроект», ЮжНИИГиМ. - М., 2001.
3. *Кашарина Т.П.* Надежность и безопасность технических систем // Известия вузов Северо-Кавказский регион. Приложение 12 «Проблемы строительства и архитектуры». - Ч.1, 2006. — С. 196–199.
4. *Мэттьюс Ф., Ролингс Р.* Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. — 408 с.
5. *Кашарина Т.П., Кашарин Д.В. и др.* Технологическая карта по устройству грунтоармированного сооружения. – Ростов-на-Дону, 2003. — 56 с.
6. *Кашарина Т.П., Григорьев-Рудаков К.В.* Экспериментальные исследования системы «грунтовые основания – инженерные сооружения». - Волгоград: Вестник ВолГА-СУ, №11, 2008. — С. 31–38.
7. *Кашарина Т.П., Кидакоев А.М., Григорьев-Рудаков К.В.* Возведение искусственных оснований с использованием композитных материалов. - Новочеркасск: Известия Северо-Кавк. регион техн. науки, 2008. — С. 81–86.

О.А. Киселева, Д.С. Икизли

ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ

Тамбовский государственный технический университет

Изучено влияние масштабного фактора на прочность и долговечность древесностружечных, древесноволокнистых плит. Выявлено как влияют размеры образцов на кривые распределения прочности.

Строительные материалы на основе древесных композитов широко применяются в современном строительстве в различных изделиях и конструкциях. Примерами таких материалов могут служить ДВП, ДСП, фанера. При проведении лабораторных испытаний используются образцы небольшого сечения. В реальности же строительные изделия и конструкции имеют совершенно другие пропорции и большие габариты. Поэтому для перехода от лабораторных испытаний к реальным характеристикам материала возникла в изучении масштабного фактора [1].

В данной работе было исследовано влияние масштабного фактора на прочность и долговечность древесноволокнистых и древесностружечных плит при поперечном изгибе. При изучении влияния масштабного фактора на прочность ширина и длина образца увеличивалась пропорционально. В ходе испытаний фиксировали нагрузку, при которой образцы мгновенно разрушались. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние масштабного фактора на прочность древесных композитов

Материал	Разрушающие напряжения, МПа, при заданных размерах $b \times l$		
Древесноволокнистые плиты	2×10 см	3×15 см	4×20 см
	22,6	24,2	26,1
Древесностружечные плиты	1×10 см	2×20 см	3×30 см
	17,5	18,9	20,3

В ходе испытаний выяснилось, что увеличение ширины и величины пролета образцов ДВП и ДСП приводит к увеличению их прочности. Причем наиболее чувствительны к масштабному фактору древесноволокнистые плиты. При увеличении габаритов в 2 (ДВП) – 3 (ДСП) раза их прочность изменяется в 1,15 раз.

При изучении влияния масштабного фактора на долговечность использовались образцы разной длины (10...30 см) и ширины (1...4 см). Испытания проводились при поперечном изгибе в режиме заданных напряжений и температуре 20 °С, в ходе которых фиксировалось время до разрушения. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Из рис. 1 видно, что масштабный фактор сказывается не только на прочности, но и на долговечности древесных плит. С увеличением ширины образцов долговечность также увеличивается. Однако при изменении второго параметра (длины) композиты ведут себя по-разному. Так с увеличением параметра до 15 см долговечность ДВП остается постоянной, а затем снижается. Для ДСП увеличение длины образцов до 15 см. приводит и к росту долговечности, при дальнейшем увеличении длины образцов она резко падает [2].

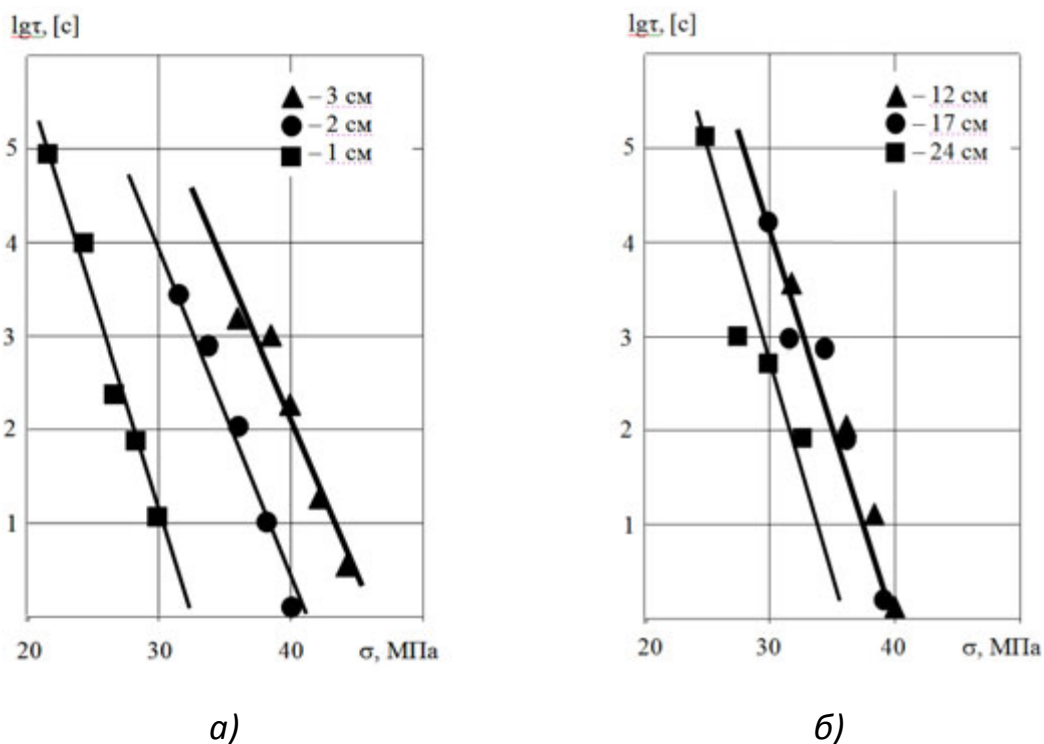


Рис. 1. Влияние масштабного фактора на долговечности ДВП:
а – ширина образца, б – длина образца

Полученные данные можно объяснить, получив кривые распределения прочности (рис. 2).

С увеличением ширины образцов существенного изменения площади кривой разброса не наблюдается, следовательно, в материале разрушение происходит по строго определенным дефектам, вероятность возникновения которых постоянна (от 30 до 38%). Увеличение же прочности связано с более равномерным перераспределением напряжений между древесными волокнами, что в свою очередь приводит и к увеличению долговечности.

С увеличением длины образцов материал ведет себя иначе. Первоначально, с увеличением длины в 1,5 раза площадь под кривой разброса увеличивается, что говорит о включении большего сечения образца. При дальнейшем увеличении длины наоборот площадь под кривой уменьшается, а вот высота пика увеличивается почти в 2 раза, т.е. в материале увеличивается вероятность возникновения опасных дефектов. В данном случае прочность образцов также падает.

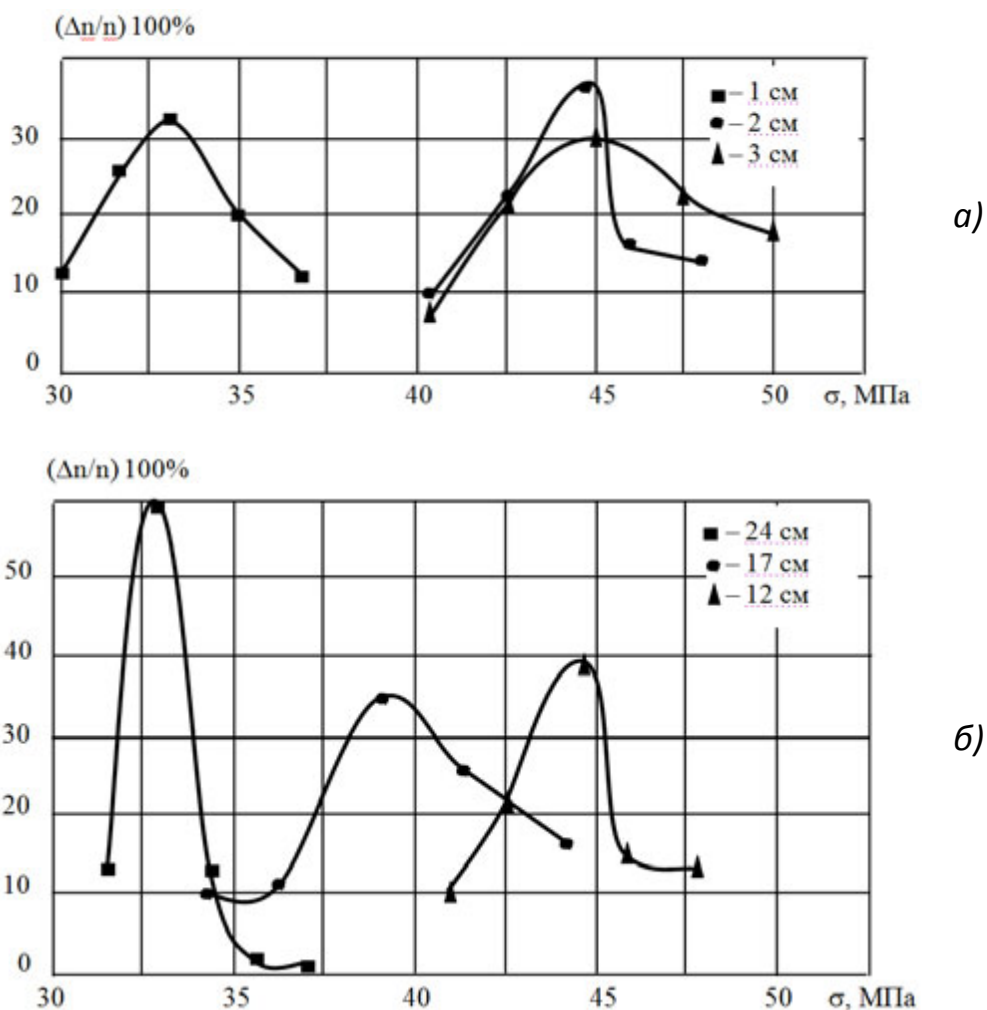


Рис. 2. Влияние масштабного фактора на кривую распределения прочности для ДВП: а – ширины, б – длины образцов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хрулев В.М. Деревянные конструкции и детали. - М., 1995. — 236 с.
2. Икизли Д.С., Киселева О.А. Влияние масштабного фактора на долговечность древесных композитов // Сборник материалов XII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии». - Тула, 2011. — С. 23–24.

Т.Н. Клавдиева, Т.К. Акчурин

**ВНЕДРЕНИЕ В СОСТАВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ
ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ
СЕБЕСТОИМОСТИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ И УЛУЧШЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ РЕГИОНА**

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волжский институт строительства и технологий (филиал Волгоградского
государственного архитектурно-строительного университета)

Актуальность проблемы рационального материалопотребления обостряется вследствие ограниченности или истощенности некоторых сырьевых ресурсов. Возникает необходимость их пополнения за счёт отходов производства. Природное сырьё дорогостоящее, так как требуются большие затраты на его разработку, транспортировку и доработку для приведения в соответствие с требованиями ГОСТа. Поэтому в настоящее время всё актуальнее использование в производстве промышленных отходов, которые в ряде случаев представляют собой готовое сырьё.

Введение вторичного сырья в состав масс для получения бетонных изделий делает производство ресурсосберегающим, менее дорогостоящим и в определённой степени способствует решению экологических проблем окружающей среды. Характерной особенностью большей части вторичного сырья во всех регионах России являются значительные колебания химического и минералогического составов.

С учетом специфики изготовления жестких бетонных смесей возникла необходимость в модифицировании смесей материалами строительной химии с целью повышения качественных характеристик при снижении материальных и трудовых затрат.

Существующие технологии изготовления плит бетонных тротуарных (ГОСТ 17608-91) и бортового камня (ГОСТ 6665-91) претерпевают значительные изменения в связи с использованием в составах бетонов техногенных отходов, что экономически оправдано. Введение в состав тяжелого бетона щебня металлургического шлака и шлакового песка вместо традиционного сырья преследует решение не только экологической задачи, но и значительного повышения эксплуатационных характеристик изделий. Такое решение требует определенных теоретических обоснований, что и является целью исследовательской работы.

Среди основных факторов, влияющих на прочность сцепления цементного камня с заполнителем, выделяются форма и крупность зерен за-

полнителей; шероховатость их поверхности и степень её чистоты; химико-минералогический состав зерен заполнителей; прочность цементного камня; водоцементное отношение и дисперсность исходного вяжущего; степень обжатия заполнителей при усадочных деформациях бетона; толщина прослоек цементного камня между заполнителями; пористость и плотность зерен заполнителя; соотношение коэффициентов поперечной деформации и модулей сдвига цементного камня и заполнителя; дефектность зерен заполнителей (колебания значений микротвердости по поверхности). Все перечисленные факторы можно отнести к композиции бетона на заполнителе металлургического шлака ОАО ВТЗ.

На рис. 1 изображена внутренняя структура разработанного состава бетона на шлаковом заполнителе. Исследование проводилось при помощи стереоскопического микроскопа МБС-9 (3,3-100,8X), дающего прямое стереоскопическое изображение исследуемого образца. Поверхность образца не шлифованная.



Рис. 1. Структура образцов бетона с заполнителем – металлургическим шлаком

Контактная зона состоит из контактного слоя цементного камня, контактного слоя заполнителя и поверхности раздела между ними; при отсутствии химического взаимодействия поверхность раздела размыта, а контактный слой цементного камня представляет собой диффузный промежуточный слой, осуществляющий непрерывный переход от вяжущего к заполнителю.

Сцепление объясняется плотным прилеганием и соединением шлакового заполнителя и цементного камня, возникающим благодаря шероховатости поверхности зерен шлакового заполнителя. Повышенная шерохо-

ватость поверхности зерен шлаковых заполнителей, обеспечивает лучшее сцепление, также повышенным сцеплением обычно характеризуются более мягкие, пористые и неоднородные в минералогическом отношении зерна заполнителей.

К числу наиболее распространенных физико-химических явлений, происходящих на границе раздела фаз «наполнитель-матрица» относится смачивание. Хорошее смачивание поверхности наполнителя связующим (матрица) – одно из необходимых условий получения композиционного материала бездефектной структуры, обладающего высокими физико-механическими свойствами. Ведение пластифицирующих добавок в состав бетона способствует изменению смачивания.

В работе задействована комплексная пластифицирующая добавка для бетонов «Полипласт-Вибро» – суперпластификатор для жестких и малоподвижных бетонных смесей. В качестве эффективного ускорителя набора прочности рассмотрен суперпластификатор «Реламикс». Смачивание заполнителя связующим определяли по геометрическим параметрам капли растворной части цемента на горизонтальной поверхности кускового шлака.

Зависимость краевого угла смачивания полированной поверхности шлака от вида и концентрации пластификаторов приведена на рис. 2. Краевой угол смачивания шлака немодифицированным цементным раствором составляет $104,34^{\circ}$. Все используемые добавки, введенные в цемент, улучшают смачивание поверхности заполнителя (краевой угол уменьшается на 3...8%). Наибольший эффект смачивания был получен при введении в связующее Полипласт Вибро, наименьший – при введении суперпластификатора С-3.

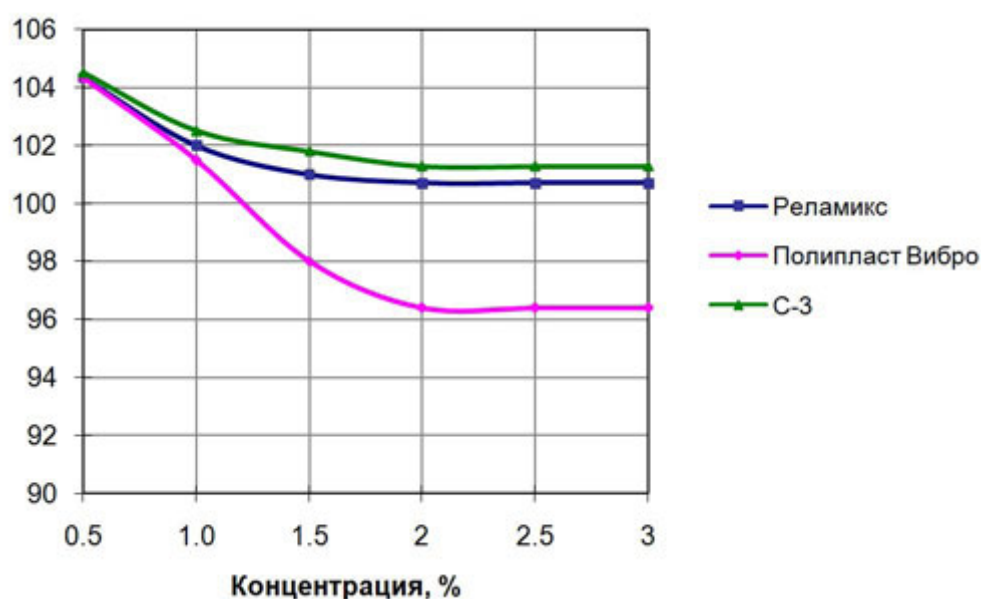


Рис. 2. Зависимость краевого угла смачивания от добавок

Явления, происходящие в зоне контакта между шлаковым заполнителем и цементным тестом (впоследствии между заполнителем и цементным камнем в бетоне), в зависимости от состава соприкасающихся фаз, а также способа формования и условий структурообразования при твердении бетонной композиции, могут либо привести к образованию дефектов структуры, либо способствовать её упрочнению.

Опытно-промышленное внедрение подтверждает актуальность и целесообразность разработанных составов. На открытой площадке хранения готовой продукции на ОАО «Волтайр-Пром», были выполнены работы объемом 1000 м² и 140 погонных метров бордюрного камня, изготовленного по разработанному оптимальному составу композиции бетона с заполнителем металлургическим шлаком ОАО ВТЗ в 2008 г., а также было осуществлено благоустройство территорий г. Волжского, объем работ составил 400 м² плитки и 100 п.м. бордюрного камня того же состава. Рентабельность производства изделий с использованием металлургического шлака в составах цементных бетонов составила 35,50%. Экономическая эффективность разработанных составов цементных бетонов для производства дорожных бордюров обусловлена их физико-механическими характеристиками. Себестоимость дорожного бордюра (в пересчете на одно изделие) составляет 165 рублей 46 копеек. При использовании металлургического шлака себестоимость составила 124 рубля 60 копеек. Предлагаемая технология с использованием исследованных в работе техногенных отходов производства рентабельна, экологически и экономически эффективна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Боженев П.И.* Комплексное использование минерального сырья и экономия. Учебное пособие. - М.: Издательство «Ассоциация строительных вузов», 1994. — 268 с.
2. *Комлева Г.П., Комлев В.Г., Костров А.В.* Использование отходов производства при изготовлении тротуарной плитки // Строительные материалы, №9, 2001. — С. 28–29.
3. *Рыбьев И.А.* Строительные материалы. Учебное пособие для строительных и специальных ВУЗов. - М.: Высшая школа, 2002. — 702 с.
4. *Клавдиева Т.Н.* Разработка составов и повышение эксплуатационных характеристик цементных бетонов при использовании техногенного сырья металлургии. Диссертация кандидата технических наук : 05.23.05. - Волгоград, 2010. — 132 с.

М.Ю. Клименко

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

В статье рассмотрены вопросы надежности и риска строительных конструкций, зданий и сооружений, которые вышли на первый план современного этапа в строительстве.

В современном строительстве большое внимание уделяется экологической безопасности, что обязывает использовать новейшие достижения в производстве строительных конструкций и инновационные методы в проектировании и эксплуатации. Важными факторами в этой среде являются точная оценка надежности конструкций по их повреждениям и методы оценки риска от воздействия инфраструктуры города [1, 2].

Повреждения в конструкции разделяются, в зависимости от причин их возникновения, на две группы: от силовых воздействий и от воздействия внешней среды. Последняя группа повреждений снижает не только прочность конструкции, но и уменьшает ее долговечность [3].

В зависимости от имеющейся поврежденности и надежности, техническое состояние конструкций разделяется на следующие категории: нормальное, удовлетворительное, неудовлетворительное, аварийное.

Влияние повреждений на надежность конструкций оценивается посредством уменьшения общего нормируемого коэффициента надежности (запаса) $g_0 = g_m \cdot g_c \cdot g_f \cdot g_n$ конструкций в процессе эксплуатации, где g_m – коэффициент надежности по материалу, g_c – коэффициент условий работы, g_f – коэффициент надежности по нагрузке, g_n – коэффициент надежности по назначению.

Относительная надежность конструкции при эксплуатации $y = g/g_0$ и поврежденность конструкции $e = 1 - y$, где g – фактический коэффициент надежности конструкции с учетом имеющихся повреждений.

Значения y и e , а также приближенная стоимость C ремонта по восстановлению первоначального качества в процентах по отношению к первоначальной стоимости для различных категорий технического состояния конструкций приведены в табл. 1. [4].

Таблица 1

Категории технического состояния

Категория технического состояния	Описание технического состояния	у	е	С, %
1	Нормальное исправное состояние. Отсутствуют видимые повреждения. Выполняются все требования действующих норм и проектной документации. Необходимости в ремонтных работах нет.	1	0	0
2	Удовлетворительное работоспособное состояние. Несущая способность конструкций обеспечена, требования норм по предельным состояниям II группы и долговечности могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется устройство антикоррозийного покрытия, устранение мелких повреждений.	0,95	0,05	0–11
3	Неудовлетворительное, (неработоспособное) состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкций. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение действующих нагрузок. Эксплуатация возможна только после ремонта и усиления.	0,75	0,25	37–90
4	Аварийное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о возможности обрушения конструкций. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, стоек, подпорок, ограждений опасной зоны. Ремонт в основном проводится с заменой аварийных конструкций.	0,65	0,35	91–130

Общая оценка поврежденности здания и сооружения производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \alpha_3 \varepsilon_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальная величина повреждений отдельных видов конструкций; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости отдельных видов конструкций.

При оценке величин повреждений учитывают их максимальную величину, так как авария здания или сооружения обычно происходит из-за наличия критического дефекта в отдельно взятой конструкции, а так же в целом.

Одной из ведущих наук наступившего столетия является наука о риске, так как связанные с ним проблемы выходят на первый план. В индустриально развитых странах постоянно растет финансирование научных исследований в области анализа и оценки риска. Так, например, в химической промышленности России на такие исследования ассигнуется 25–30% всех средств, выделяемых на научные разработки. За рубежом сформировалась новая специальность – специалист в области оценки риска.

Тенденция в определении риска связана с использованием понятия вероятности, т.е. «риск – поддающаяся измерению вероятность понести убытки или упустить выгоду». В «Энциклопедии окружающей среды» дано следующее определение риска: «риск представляет собой шанс того, что может случиться нечто нежелательное». В ряде случаев опасность проявляется в определенных обстоятельствах, при осуществлении совокупности событий S_1, S_2, \dots, S_n . Тогда вероятность данной опасности вычисляется по формуле полной вероятности, учитывающей условные вероятности опасности G при условии реализации одного из событий S_i , а также сами вероятности $P(S)$: $P = \sum EP(G/S_i) \times P(S)$. Однако все большее распространение получает такой подход к определению риска неблагоприятного события, который учитывает не только вероятность наступления события, но и все его возможные последствия. Вероятность события при таком подходе выступает одним из компонентов риска, а мера последствий (например, возможный ущерб) – другим, то есть риск – это количественная мера опасности с учетом ее последствий. Проявления опасности является экономическим, социальным, экологическим или другим видом ущерба, а иногда и сочетание всех их вместе [5].

Оценка рисков идет по двум различным направлениям – индивидуального и социального. Социальный риск характеризует возможные аварии на строительных объектах и связанные с ними тяжелые последствия, прежде всего гибель людей. Общая формула, которая используется в этом случае для оценки риска, имеет вид:

$$R = \sum_{i=1}^L w_i \cdot x \cdot c_i ,$$

где L – возможное число аварий на данном объекте; w_i – частота i -той аварии; c_i – ущерб от этой аварии.

Индивидуальный риск определяется как вероятность смерти индивидуума от некоторой причины, рассчитанной для всей жизни или для одного года. Например, по данным, приводимым учеными из Новосибирского государственного технического университета, у водителей и у тех, кто живет в полосе шириной 300–500 м от шоссе, где проходит 5–6 тыс. автомобилей ежедневно, рак возникает в 9 раз чаще [5], тоже происходит и на строительных площадках, т.к. не всегда выполняются условия безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарина Т.П.* Экологическая инфраструктура: учебное пособие для студентов вузов по спец. 270102. – Новочеркасск ЮРГТУ (НПИ), 2010. – 198 с.
2. *Тетиор А.Н., Аковецкий А.Н.* Экологическая инфраструктура. – М.: Недра, 1989. – 96 с.
3. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Москва, Стандартинформ, 2010.
4. *Соболев В.И.* Методические указания по проведению обследования и определению остаточного ресурса зданий и сооружений опасных производственных объектов. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2007. – 88 с.
5. *Хованов Н.В.* Математические модели риска и неопределенности. – СПб.: ЛГУ, 1998.

А.А. Клышников, А.Д. Корнеев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ НАПОЛНИТЕЛЯ В ЗАЩИТНОМ ПОЛИМЕРНОМ ПОКРЫТИИ

Липецкий государственный технический университет

Целью данного исследования являлось установление оптимального содержания наполнителя в эпоксидном покрытии. Для проведения экспериментальных исследований с различными составами изготавливались образцы размерами 20×20×20 мм. Опыты проводились в два этапа с разными наполнителями.

В качестве связующего использовалась эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), представляющая собой прозрачную вязкую жидкость желтоватого цвета без видимых механических включений.

На первом этапе, в роли наполнителя применялся микрокремнезем, который образуется в процессе выплавки сплавов кремния (ферросили-

ция). После окисления и конденсации некоторая часть монооксида кремния образует чрезвычайно мелкий продукт в виде ультрадисперсного порошка, частицы которого представляют собой частички аморфного кремнезема со средней площадью удельной поверхностью более $20\,000\text{ см}^2/\text{г}$. Частицы микрокремнезема имеют гладкую поверхность и сферическую форму. Средний размер частиц составляет $0,1\text{--}0,2$ микрон. Порошок фактически состоит из рыхлых агломератов кремнезема с очень низкой насыпной плотностью.

На втором этапе, в качестве наполнителя применялся конвертерный шлак, который представляет собой отход сталеплавильного производства, имеющий от темно-серого до черного цвет и пористую структуру. Химический состав конвертерного шлака колеблется в довольно широких пределах: FeO – $8,0\text{--}21,1$; SiO₂ – $12,7\text{--}17,0$; CaO – $40,0\text{--}54,2$; MgO – $1,9\text{--}12,6$; Al₂O₃ – $1,7\text{--}8,3$; MnO – $0,5\text{--}2,6$; SO₂ – $0,03\text{--}0,19$; P₂O₅ – $0,06\text{--}0,94$. Модуль основности составляет $2,5\text{--}3,9$, модуль активности – $0,06\text{--}0,54$. В опытах применяли отсеивы от переработки отвальных конвертерных шлаков фракции $0\text{--}5$ мм.

Результаты испытаний обрабатывались с помощью методов математической статистики. По полученным данным построены графики зависимости предела прочности при сжатии защитного эпоксидного покрытия от соотношения полимер-наполнитель.

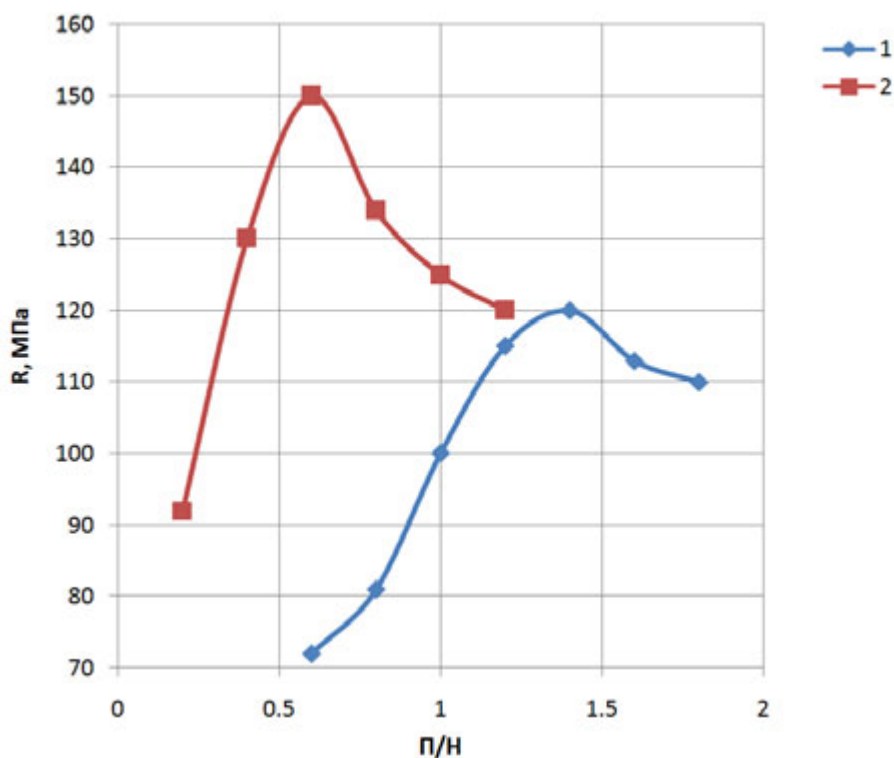


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии защитного покрытия от содержания наполнителя:
1 – микрокремнезем, 2 – конвертерный шлак

Анализ графиков на приведенном рисунке показал, что зависимость предела прочности при сжатии эпоксидного покрытия от соотношения полимер-наполнитель состоит из восходящей и спадающей частей.

На восходящей части кривой – смолы недостаточно для полного смачивания зерен наполнителя. Увеличение содержания в составах защитных покрытий смолы приводит к росту доли межфазного слоя, а, следовательно, и к возрастанию прочности.

Для спадающей части кривой характерно снижение прочностных показателей за счет того, что в защитных покрытиях возрастает доля структурированной и объемной смолы.

При соотношении полимер-наполнитель равном 1,4 защитное покрытие на микрокремнеземе достигает своего максимального значения прочности 120 МПа (оптимум). Защитное покрытие на конвертерном шлаке достигает своего оптимума при соотношении равном 0,7. При этом максимальная прочность составляет 157 МПа.

А.А. Клышников, А.Д. Корнеев

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Липецкий государственный технический университет

Структура защитного полимерного покрытия формируется из полимерного связующего (термореактивной смолы), отвердителя и минерального наполнителя. Введение тонкодисперсного наполнителя приводит к возникновению активных центров структурообразования полимерной матрицы. Активность наполнителей определяется двумя параметрами: малыми размерами частиц и их способностью к физико-химическому взаимодействию. При этом экспериментально установлено, что в процессе полимеризации термореактивных смол образуются надмолекулярные структурные элементы глобулярного строения. А поскольку частицы наполнителя являются активными центрами, то образование и рост глобул происходит у их поверхности.

Особенностью отвержденных полимерных связующих является относительно высокая пористость полимерной матрицы, а также подверженность усадочным трещинам, наличие пор и трещин. Устранение или уменьшение этих причин приводит к значительному упрочнению системы смола-наполнитель. Другим важным условием получения высокопрочного связующего является подбор оптимального соотношения смолы и наполнителя (П/Н).

Эффективность наполнения полимерного связующего определяется не только экономическими соображениями и приданием композиту некоторых потребительских качеств, но и влиянием наполнителя на механизм разрушения матрицы, усилением сопротивления матрицы росту трещин.

Кроме того, количество вводимого наполнителя ограничивается технологическими особенностями при приготовлении высоковязких композиций. Как показали эксперименты введение наполнителя в смолу снижает механические напряжения и температурный коэффициент линейного расширения, увеличивает ее теплопроводность и теплостойкость, а также снижает экзотермический эффект и усадку при отверждении [1].

В общем виде модель структуры полимерного связующего состоит из трех элементов (смола, наполнитель и полимерная прослойка). При этом образующаяся вокруг частиц наполнителя полимерная прослойка состоит из трех слоев: межфазного, диффузионного и слоя смолы, не отличающегося по свойствам от свойств смолы в объеме. Электромолекулярные силы, под воздействием которых образуются межфазный и диффузионный слои создают большое давление на молекулы смолы. И поэтому при взаимодействии смолы с поверхностью наполнителя существенно уменьшается молекулярная подвижность их макромолекул в межфазном слое.

Первые несколько слоев молекул смолы, находящиеся непосредственно у самой поверхности частицы наполнителя, испытывают сильное притяжение. Под его действием они жестко ориентированы в определенном направлении, вследствие чего свойства слоя из этих молекул приближаются к свойствам твердых тел. Эти молекулы входят составной частью в межфазный слой и образуют адгезионную пленку [2].

Приведенная структура полимерных связующих позволила получить защитные покрытия, которые могут быть использованы для самостоятельного применения.

Для установления зависимости предела прочности при сжатии эпоксидных покрытий от соотношения смола-наполнитель (объемная концентрация смолы) были поставлены эксперименты. Исследования проводились на образцах размерами 20×20×20 мм. В качестве связующего использовалась эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), представляющая собой прозрачную вязкую жидкость желтоватого цвета без видимых механических включений. В роли наполнителя применялся конвертерный шлак, который представляет собой отход сталеплавильного производства, имеющий от темно-серого до черного цвет и пористую структуру.

Результаты испытаний статически обрабатывались. При этом среднеквадратичное отклонение менялось в пределах от 0,85 до 1,85 МПа. По полученным данным построен график зависимости предела прочности эпоксидного покрытия от соотношения полимер-наполнитель.

Анализ графика на приведенном рисунке показал, что зависимость предела прочности при сжатии эпоксидного покрытия от соотношения полимер-наполнитель состоит из восходящей, спадающей и горизонтальной частей.

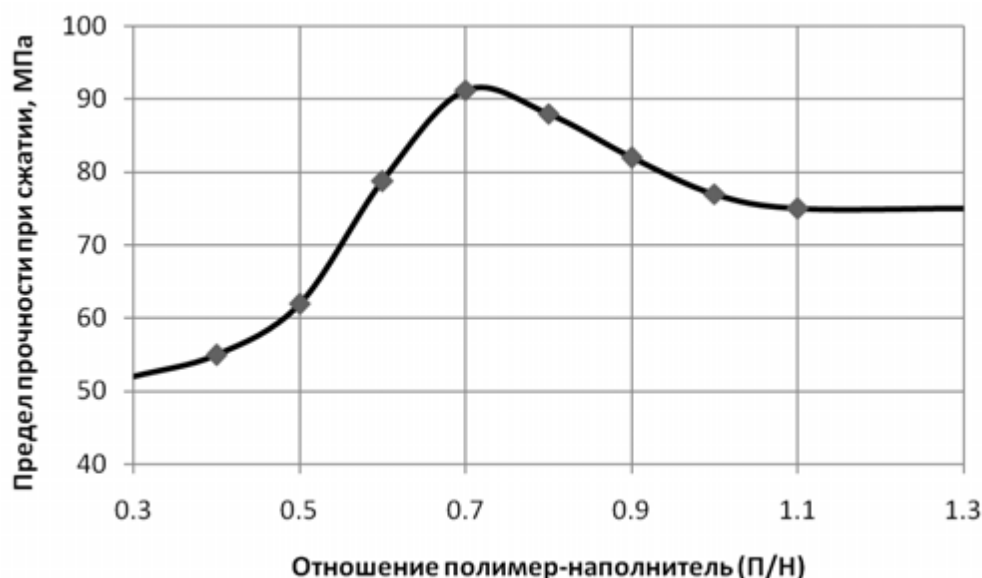


Рис. 1. Зависимость прочности защитного покрытия от содержания наполнителя

У первого типа структуры (восходящей части кривой) смолы недостаточно для полного смачивания зерен наполнителя. Поэтому постепенное увеличение ее количества приводит к росту доли межфазного слоя, а следовательно и к возрастанию прочности.

Второй тип структуры – участок экстремума. Для него характерно такое состояние, при котором наибольшее количество смолы переведено в межфазный слой. Покрытия этого типа структуры удобоукладываемы и при формовании образуют плотные структуры.

Для третьего типа структуры (спадающая ветвь) характерно снижение прочностных показателей. Это происходит за счет того, что в защитных покрытиях возрастает доля структурированной и объемной смолы. Покрытия этого типа структур удобоукладываемы. После отверждения образуются достаточно прочные композиты, но с высокой деформативностью.

В четвертом типе структур (горизонтальная ветвь) наполнителя столь мало, что он не оказывает особого влияния на свойства покрытия. Значение прочности на горизонтальном участке графика практически соответствует прочности ненаполненной смолы.

Величина отношения полимер-наполнитель (П/Н), начиная с которой предел прочности эпоксидного покрытия принимает постоянное значение предложено называть пределом эффективного наполнения [3]. Эпоксидные связующие с П/Н большим этой величины наиболее эффективны в качестве матрицы для защитных покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Корнеев А.Д.* Некоторые особенности формирования структуры полимерных композиционных материалов / Труды пятой нац. конф. По механике и технологии композиционных материалов. – София: Изд-во Болгарской Академии наук, 1988. — С. 181–184.
2. *Корнеев А.Д.* Структурообразование полимерных связующих / Повышение долговечности бетонов транспортных сооружений : межвуз. сб. научн. трудов. – М.: МИИТ, 1982. — С. 103–106.
3. *Корнеев А.Д.* Подбор составов клеев и мастик на основе синтетических смол / Исследование стр-ных конструкций с применением полимерных материалов : межвуз. сб. трудов. – Воронеж: ВорПИ, 1983. — С. 89–93.

К.А. Корнеев, А.Н. Ивашкин

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕСКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Липецкий государственный технический университет

Минерально-сырьевая база Липецкого региона представлена месторождениями кварцевого песка и строительного известняка, что делает возможным производство сухих строительных смесей (ССС) на местных сырьевых материалах.

Растворы и составы приготавливаемые из СССР должны обладать рядом реологических и физико-механических свойств. Качество и свойства смеси в равных долях зависит как от химических добавок, так и правильного подбора и комбинации минеральных компонентов.

От оптимизации зернового состава заполнителя зависит расход химических добавок, свойства смеси и ее стоимость. Оптимальной является такая ситовая характеристика заполнителя, при которой обеспечивается наиболее плотная упаковка, когда доли различных фракций примерно равны (непрерывный зерновой состав). Неправильный подбор фракционного состава приводит к возникновению трещин, усадочных деформаций, повышенной пустотности и снижению механических показателей.

Размер самых крупных зерен заполнителя должен составлять $1/5$ – $1/10$ от предполагаемой толщины слоя раствора. Размер частиц до 5–10 мм характерен для ремонтных составов и наливных полов, частицы до 0,1 мм – для гладких растворов, таких как шпаклевки, расшивочные массы и гидроизоляция.

Обязательным при производстве различных видов сухих строительных смесей является возможность изменения пропорций между различными фракциями заполнителя. Наличие силосов с крупной 1,5–5 мм,

средней 0,5–1,5 мм и мелкой 0,1–0,5 мм (обычно не менее трех) фракциями позволяет дозировать материалы для конкретного вида ССС.

В связи с этим производится классификация заполнителя – песка, месторождения которого, должны содержать нужную фракцию в необходимом количестве для минимизации затрат на ее рассев. Результаты испытаний приведены на рис. 1.

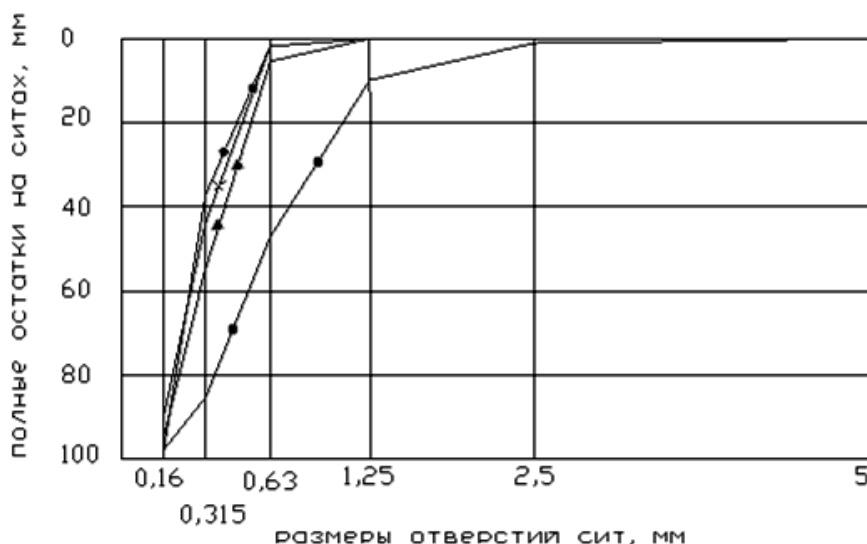


Рис. 1. Зерновой состав песка:

- – Сенцово
- ◆ – Алешкинский
- ▲ – Апухтино
- × – Грязновка

Произведен анализ песка следующих карьеров: Сенцово, Грязновка, Апухтино и Алешкинский. Зерновой состав песка определялся по ГОСТ 8735-88 набором сит по ГОСТ 6613.

Заполнитель должен содержать как можно меньше примесей, в частности глины, наличие которых существенно снижает механические показатели.

Содержание зерен <0,16 мм в песках различно: Сенцово ~1,6%, Алешкинский ~2%, Апухтино ~4,3%, Грязновка ~10,2%.

Содержание в песчаной смеси карьера «Грязновка» 10,2% пылевой фракции, возможно, негативно повлияет на свойства ССС.

Пески карьеров Апухтино и Алешкинский на 95% состоят из фракции 0,16–0,63, что позволяет использовать их для производства смесей тонкослойного нанесения (клеи для плитки, газо-пено-бетона, финишных наливных полов).

Песок карьера Сенцово содержит мелкую и среднюю фракции и при необходимости может быть классифицирован и использован для производства штукатурных, ремонтных составов и смесей для первичного выравнивания пола.

В целом пески Липецкой области пригодны для производства сухих строительных смесей.

Для получения более крупных фракций наполнителя 1,5–5 мм и известняковой муки могут быть рассмотрены отходы дробления строительных известняков.

Таблица 1

Процентное содержание песков различных фракций в ССС

Минеральные компоненты	Цементная стяжка для первичного выравнивания полов	Самовыравнивающиеся наливные полы на основе ПЦ	Плиточный клей на основе ПЦ	Штукатурка на цементной основе	Клей для теплоизоляции	Ремонтная шпатлевка	Клеевой раствор для плит и блоков из пенобетона	Самовыравнивающиеся наливные полы на основе гипса
Кварцевый песок 0,1–0,4 мм	20,0	40,7	-	-	-	-	-	42,0
Кварцевый или известняковый песок 0,4–2,0 мм	39,0	-	-	-	-	-	-	-
Кварцевый песок 0,1–0,6 мм	-	-	65,0	-	-	-	-	-
Кварцевый или известняковый песок 0,1–1,3 мм	-	-	-	70,0	-	-	-	-
Кварцевый песок 0,1–0,3 мм	-	-	-	-	60,0	55,0	-	-
Кварцевый песок 0,1–0,5 мм	-	-	-	-	-	-	58,2	-

Д.Н. Коротких, Д.А. Паникин

**ФАКТОР СТРУКТУРНОЙ СУБСТАНЦИИ
«КАМЕННАЯ МУКА» В ПРОЯВЛЕНИИ УСАДКИ
ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ¹**

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

В статье рассматривается вопрос влияния структурной субстанции «каменная мука» на усадку высокопрочных бетонов и анализируется зависимость усадки высокопрочных реакционно-порошковых от вида применяемой добавки-суперпластификатора.

Особенности составов и строения высокопрочных бетонов, а в первую очередь тонкодисперсных реакционно-порошковых бетонов (РПБ, *Reactiv Powder Concrete, RPC*), дают основания предполагать, что характер развития их усадочных деформаций при эксплуатации может иметь определенные отличия от традиционных бетонов. Это связано с тем, что при отсутствии крупного заполнителя влажностная усадка РПБ не будет сдерживаться «крупнозерновым каркасом» и полностью будет предопределяться только характеристиками структуры модифицированного цементного камня.

Ход развития деформаций усадки цементного камня, предопределяется изменением баланса сил капиллярного и поверхностного натяжения, силой когезионного и адгезионного взаимодействия в дисперсных частицах цементирующего вещества, силой связи в кристаллогидратах, сил упругого противодействия твердой фазы деформационным процессам [1–3]. Баланс этих сил зависит от состава и характеристик структуры цементного камня. Введение в состав композиционного вяжущего ультрадисперсных частиц микрокремнезема, каменной муки и супер- или гиперпластификатора приводит к изменению структуры цементного камня в сторону формирования преимущественно низкоосновных гидросиликатов кальция большей дисперсности, чем первичные гидросиликаты, а также к формированию пор меньшего размера. В результате модификации структуры цементного камня, происходит повышение запаса свободной, что может отразиться на изменении баланса сил, и вместе с тем на характере развития влажностной усадки реакционно-порошкового бетона.

¹ Публикация подготовлена при научных консультациях академика РААСН, д-ра техн. наук, проф. Е.М. Чернышова

Можно предположить, что большое влияние на характер изменения баланса сил будет оказывать природа каменной муки, то есть особенность влияния субстанции горной породы на баланс сил связи твердой и жидкой фазы в материале.

Также, может существовать структурная взаимосвязь между водоредуцирующими свойствами каменной муки и пластификатора, как фактора изменения характеристик порового пространства модифицированного цементного камня с влажностной усадкой РПБ, получаемого с применением двух различных видов химических добавок пластифицирующего и водоредуцирующего действия.

При исследовании усадочных деформаций РПБ использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2003 производства «Осколцемент», суперпластификатор СП-1 (на основе сульфонафталинформальдегида) и гиперпластификатор Glenium Ace 30 (FM) (на основе поликарбоксилатных соединений), микрокремнезем марки М-85 производства ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», песок фр. 0,16–0,63 мм., а также каменная мука $S_{уд}=410 \text{ м}^2/\text{кг}$ (по ПСХ-2) из различных горных пород.

Выбор исходных материалов для получения каменной муки обусловлен различием их происхождения (генезиса), что определяет различные природу и свойства материалов (известняк, доломит, кварцевый песок – осадочные горные породы, диабаз, порфирит – эффузивные горные породы, габбро-диабаз, гранит – интрузивные горные породы) (табл. 1).

Таблица 1

Вид каменной муки	Происхождение	Тип породы	Истинная плотность, кг/м ³	Прочность горной породы, МПа
Из известняка	осадочная	Основная (содержание SiO ₂ 40–52%)	2600	до 120
Из габбро-диабазы	эффузивная		3300	200–320
Из диабазы	интрузивная		2700	200–300
Из порфирита	интрузивная		2600	130–180
Из доломита	осадочная		2900	до 100
Из гранита	эффузивная	Кислая (содержание SiO ₂ более 72%)	2700	120–150
Из кварцевого песка	метаморфическая		2650	-

Усадочные деформации определялись на образцы размером 40×40×160 мм. После 3 суток нормального твердения при помощи быстрополимеризующегося клея наклеивались реперы из нержавеющей стали, определялась масса, и производилось начальное измерение. После чего,

образцы бетона помещались в эксикатор над пересыщенным раствором хлорида кальция с влажностью среды 32%.

Последующие снятия показаний (по ГОСТ 24544-81) производились через 1, 3, 7, 14 суток твердения и далее 1 раз в 2 недели в стечении 133 суток.

С учетом того, что в РПБ отсутствует крупный заполнитель, и размер мелкого заполнителя не превышает 0,63 мм, согласно [4–5], выбор данного размера образцов можно считать приемлемым для определения усадочных деформаций.

Для пересчета экспериментальной усадки РПБ призм размером 40×40×160 мм., на усадку бетона в образцах стандартных базовых размеров использовался, приведенный коэффициент K [5]:

$$K = \sqrt[3]{\frac{m_i}{M}},$$

где m_i – модуль поверхности призм малого размера; M – модуль поверхности призм базового размера.

Для образцов размером 40×40×160 мм $K = 1,84$.

Результаты исследований приведены в табл. 2 и на рис. 1–4.

Таблица 2

Свойства высокопрочных реакционно-порошковых бетонов

Вид пластификатора	Вид каменной муки	Прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут.				В _д (В/Ц) (В/Т)	Влажностная усадка, мм/м	
		1	3	7	28		экспериментальная	расчетная, $\varepsilon_p = \varepsilon_s/K$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
СП-1	Из известняка	27,0	44,7	55,0	74,6	$\frac{0,390}{0,124}$	1,73	0,94
	Из габбро-диабазы	26,5	47,4	64,0	74,4	$\frac{0,370}{0,121}$	1,51	0,82
	Из диабазы	25,3	45,3	56,2	82,2	$\frac{0,376}{0,121}$	1,40	0,76
	Из порфирита	29,1	49,3	60,0	81,3	$\frac{0,376}{0,120}$	1,42	0,77
	Из доломита	27,0	46,2	67,7	83,4	$\frac{0,376}{0,122}$	1,34	0,73
	Из гранита	32,0	44,2	59,7	68,7	$\frac{0,396}{0,126}$	1,80	0,98
	Из кварцевого песка	31	43,0	61,7	71,5	$\frac{0,396}{0,126}$	1,67	0,901

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Glenium Ace 30	Из известняка	30,9	57,8	70,7	97,7	$\frac{0,333}{0,109}$	0,98	0,53
	Из габбро-диабазы	33,7	59,4	80,9	98,3	$\frac{0,319}{0,107}$	0,63	0,34
	Из диабазы	35,0	62,4	78,3	107,0	$\frac{0,327}{0,107}$	0,64	0,35
	Из порфирита	30,5	54,3	67,3	101,1	$\frac{0,327}{0,107}$	0,86	0,47
	Из доломита	34,7	66,8	79,2	104,6	$\frac{0,327}{0,108}$	0,56	0,30
	Из гранита	32,0	61,9	77,5	107,5	$\frac{0,341}{0,111}$	0,70	0,38
	Из кварцевого песка	31,0	54,6	79,2	108,5	$\frac{0,340}{0,111}$	0,63	0,34

Усадочные деформации реакционно-порошкового бетона составили: с каменной мукой из известняка – 1,73 мм/м, из габбро-диабазы – 1,51, из диабазы – 1,4 мм/м, из порфирита – 1,42 мм/м, из доломита – 1,34 мм/м, из гранита – 1,8 мм/м и из кварцевого песка – 1,67 мм/м соответственно.

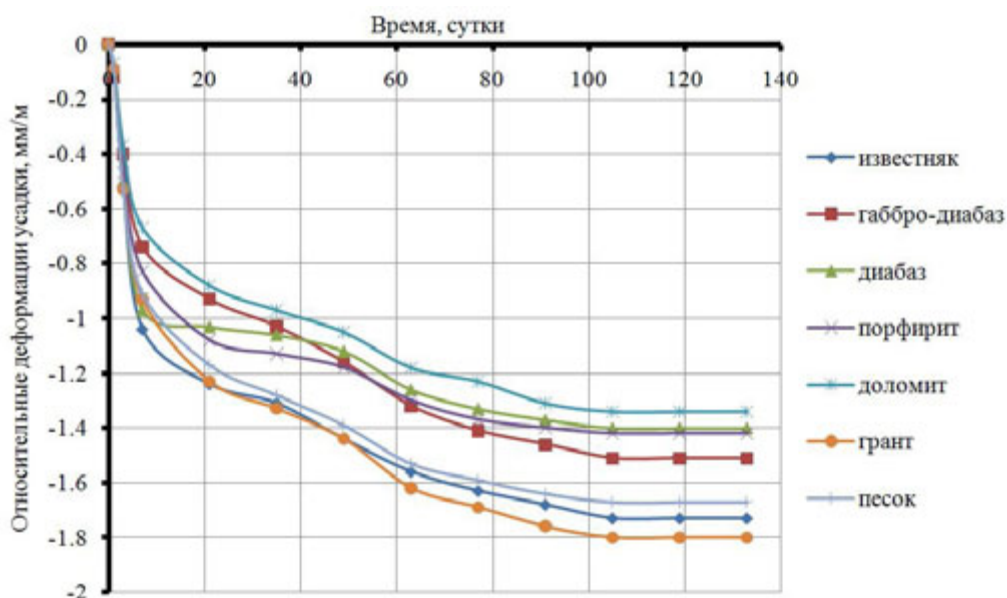


Рис. 1. Усадочные деформации самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов с суперпластификатором «Полипласт СП-1»

Установлено, что усадочные деформации самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов с суперпластификатором «Полипласт СП-1» начинают развиваться уже при удалении первых порций воды. Причем, уже в первые семь суток происходит более интенсивный рост усадочных деформаций, в дальнейшем рост деформаций постепенно замедляется и по истечению 105 суток рост прекращается.

Зависимость развития усадочных деформаций самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов, полностью соотносится с зависимостью изменения интенсивности влагообмена с окружающей средой в процессе усадки (рис. 1 и 2), что в свою очередь соотносится с В/Т-отношением; наибольшая усадка отмечается у составов с каменной мукой из известняка, гранита и кварцевого песка, обладающими наименьшим водоредуцирующим эффектом.

Таким образом, можно утверждать, что наименьшая усадка реакционно-порошкового бетона будет наблюдаться в составах с каменной мукой из горных пород, отличающихся наибольшим водоредуцирующим эффектом, то есть на усадочные деформации бетона с суперпластификатором «Полипласт СП-1» значительное влияние оказывает влажностный фактор.

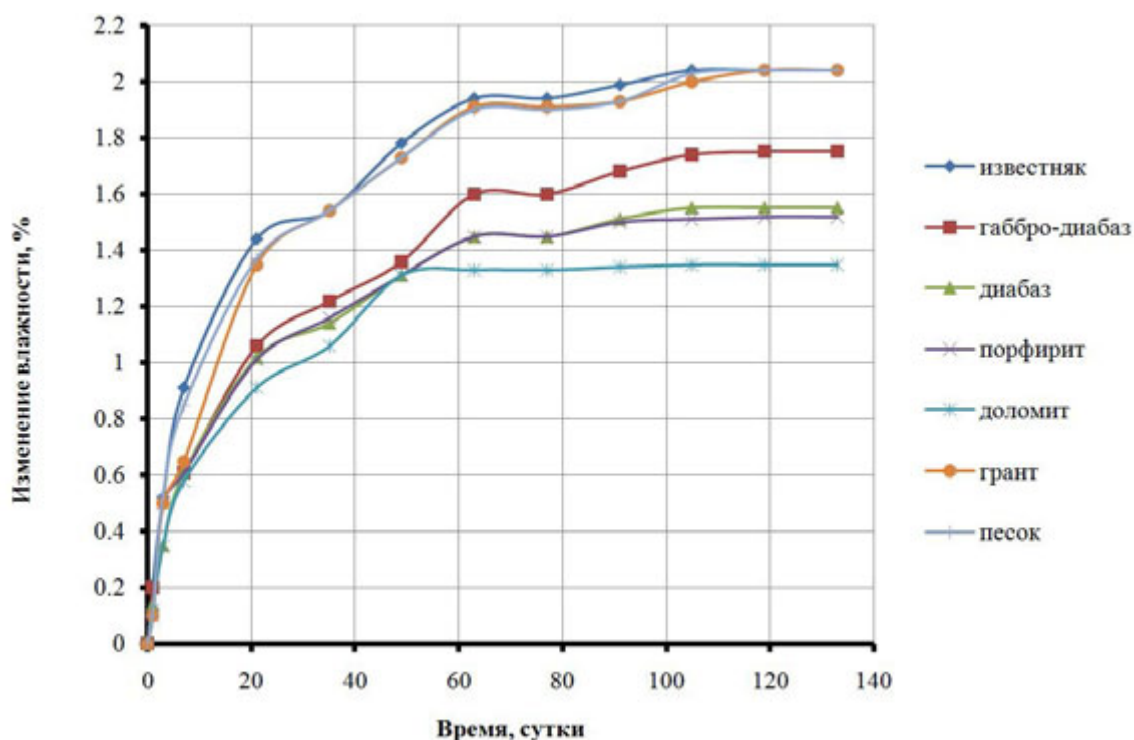


Рис. 2. Изменение влажности самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов с суперпластификатором «Полипласт СП-1» в процессе развития усадочных деформаций

В отличие от реакционно-порошковых бетонов с суперпластификатором «Полипласт СП-1» характер изменения усадочных деформаций во времени имеет более равномерный характер (рис. 3).

Установлено, что усадочные деформации реакционно-порошкового бетона с гиперпластификатором GleniumAce 30 в 133 суток составили с каменной мукой: из известняка – 0,98 мм/м; из габбро-диабазы – 0,63 мм/м; из диабазы – 0,64 мм/м; из порфирита – 0,86 мм/м; из доломита – 0,56 мм/м; из гранита – 0,70 мм/м; из песка – 0,63 мм/м соответственно. Важно отметить, что на момент окончания испытаний усадочные деформации прекратились только у реакционно-порошковых бетонов с каменной мукой из доломита, кварцевого песка и гранита.

Усадочные деформации реакционно-порошкового бетона с суперпластификатором «Полипласт СП-1» в целом, превышают усадочные деформации бетона с гиперпластификатором Glenium Ace 30 примерно в 2–2,5 раза.

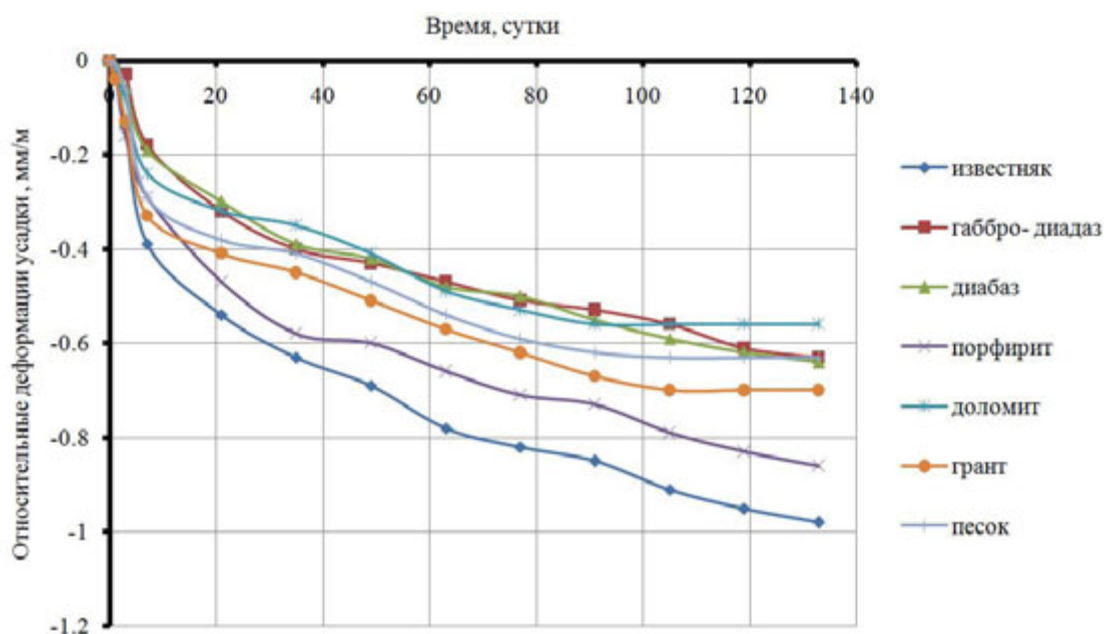


Рис. 3. Усадочные деформации самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов с гиперпластификатором GleniumAce 30

Возможно, в общем случае, использование гиперпластификатора Glenium Ace 30 позволяет снизить В/Т-отношение и следовательно снизить общую пористость и размер пор реакционно-порошкового бетона, что в свою очередь уменьшает интенсивность влагообмена с окружающей средой (рис. 4).

Было установлено, что развитие усадочных деформаций самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов с гиперпластификатором Glenium Ace 30 при использовании различных видов каменной муки, в отличие от бетонов с суперпластификатором «Полипласт СП-1», не всегда имеет соответствие с изменением интенсивности влагообмена с окружающей средой. Исключения составляют реакционно-порошковые бетоны, имеющие в своем составе каменную муку из гранита и кварцевого песка. Возможно, за счет высокой прочности реакционно-порошкового бе-

тона с каменной мукой, из выше указанных горных пород, возникает сопротивление объемным изменениям при изменении влажности бетона, что в свою очередь приводит, к снижению усадочных деформаций.

Таким образом, можно констатировать, что на усадочные деформации самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов при использовании гиперпластификатора Glenium Ace 30 вместе с водоредуцирующим эффектом особую значимость приобретает реакционная активность горной породы, из которой изготовлена каменная мука.

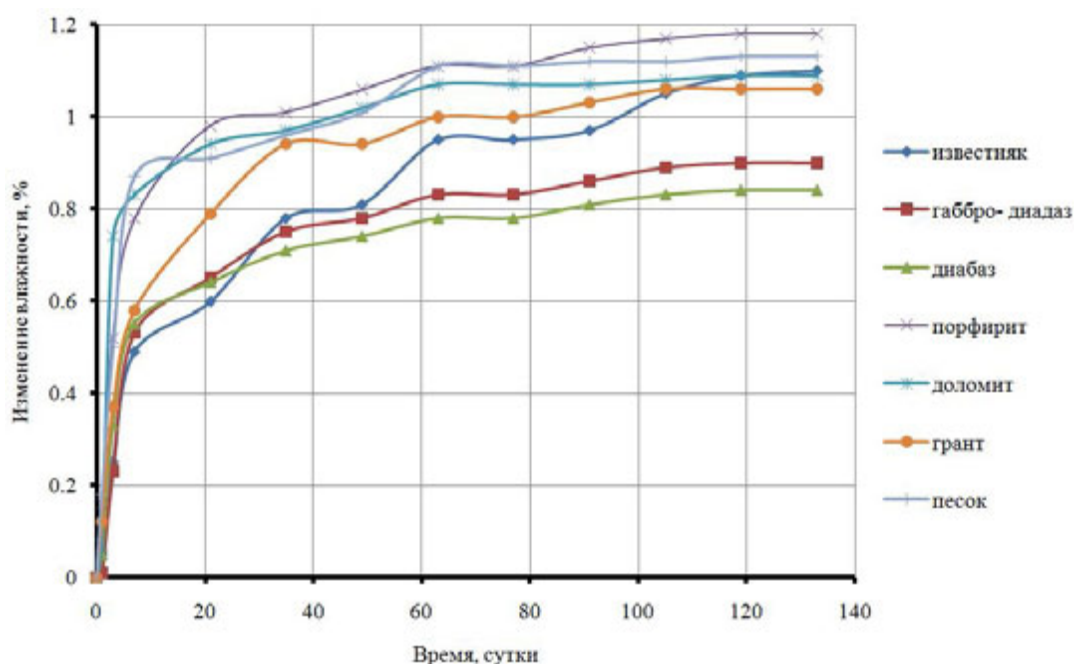


Рис. 4. Изменение влажности самоуплотняющихся реакционно-порошковых бетонов с гиперпластификатором GleniumAce 30 в процессе развития усадочных деформаций

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси: Изд-во АН Груз. ССР, 1963. — С. 173.
2. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Физико-химическая природа взаимосвязи свойств строительных материалов с их влажностным состоянием // Academia. Архитектура и строительство. №1, 2008. — С. 87–92.
3. Славчева Г.С., Чемоданова С.Н. Влажностные деформации модифицированного цементного камня // Строительные материалы, №5, 2008. — С. 70–72.
4. Демьянова В.С., Кузнецов Ю.С., Баженов О.М., Миненко Е.Ю., Калашников С.В. К вопросу оценки усадки и усадочной трещиностойкости цементного бетона, модифицированного ультрадисперсными наполнителями // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: сб. науч. трудов междунар. научно-технической конференции. — Пенза: ПДНТП, 2004. — С. 10–13.
5. Калашников В.И. Капиллярная усадка высокопрочных реакционно-порошковых бетонов и влияние масштабного фактора // Строительные материалы, №5, 2010. — С. 52–53.

В.Д. Котляр, А.В. Устинов, Ю.В. Терёхина

ОСОБЕННОСТИ ДООБЖИГОВЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОВАНИЯ

Ростовский государственный строительный университет

Дана характеристика глинистых опок. Изучены дообжиговые керамические свойства. Показана возможность производства керамического кирпича пластического формования на основе глинистых опок.

Во многих регионах России, и особенно в Южном Федеральном Округе, запасы традиционного качественного глинистого сырья весьма ограничены. Предприятиям приходится использовать глинистое сырье, обладающее неудовлетворительными керамическими свойствами – высокой чувствительностью к сушке, большой воздушной усадкой, наличием крупнозернистых карбонатных включений, присутствием соединений серы, водорастворимых солей и т.д. Между тем, работы, проводимые на протяжении ряда последних лет в Ростовском государственном строительном университете, совместно с региональными геологическими организациями показали, что кремнистые опал-кристобалитовые породы - опоки и их разновидности (опоковидные породы), могут стать серьезной сырьевой базой промышленности стеновой керамики [1]. Опоки – лёгкие плотные тонкопористые породы, состоящие в основном из мельчайших (менее 0,005 мм) частиц опала. Средняя плотность составляет 1100–1600 кг/м³, пористость достигает 55%. Постоянной составляющей опок являются глинистые минералы, присутствующие в том или ином количестве. Типичными или «нормальными» опоками по У.Г. Дистанову, являются опоки, содержащие 54–80% опалового кремнезема, 10–40% глинистых минералов и до 10% песчаных частиц [2]. Гораздо более широкое распространение в природе в сравнении с «нормальными» опоками имеют глинистые разновидности опок. Они широко развиты в Западной Сибири, районах Поволжья и Дона, на восточных и южных склонах Уральского хребта, в центральных и западных областях России, Ленинградской области, Дальнем Востоке, на о. Сахалин, на Камчатке, Кольском полуострове, Северном Кавказе и в других районах. Проведённые многочисленные лабораторно-технологические исследования показали, что глинистые разновидности опок, являются перспективным сырьём для производства стеновой керамики по способу пластического формования. На основе проведённых работ нами была разработана уточнённая геолого-технологическая классификации опок и опоко-

видных пород, используемых в качестве сырья для производства стеновой керамики, в зависимости от содержания глинистого компонента (табл. 1).

Для промышленности стеновой керамики большой интерес представляют среднеглинистые и глинистые разновидности опоки. Этому благоприятствует ряд предпосылок – вполне удовлетворительные дообжиговые свойства сырья, относительно низкая температура обжига, высокие физико-механические показатели обожженных изделий и т.д. Месторождения опоквидных пород отличаются большой мощностью, выдержанностью состава, располагаются на непахотных землях. На юге России имеются месторождения и ряд крупных проявлений глинистых опок – Степан-Разинское, Авило-Федоровское, Шевченковское, Губское, Шедокское, Севастопольское, Каменоломненское и многие другие.

Таблица 1

Классификация опоквидных пород,
в зависимости от содержания глинистых минералов

№ п.п.	Название породы	Содержание глинистого компонента, %
1	Опока малоглинистая	до 20
2	Опока среднеглинистая	20–35
3	Опока глинистая	35–50
4	Кремнистая глина	более 50

Принципиальной разницы в химическом составе между среднеглинистыми, глинистыми опоками и типичным глинистым сырьем для стеновой керамики – суглинками нет (табл. 2). В суглинках кремнезем в основном представлен кварцем, в опоках – опалом, опал-кristобалитом разной степени кристалличности. Количество тех или иных оксидов в определённой мере позволяет предварительно определить специфику керамических свойств опоквидных пород, а также в комплексе с другими методами исследований судить о минералогическом составе.

Таблица 2

Усредненный химический состав глинистых опок и суглинков

Породы	п.п.п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +FeO	CaO	MgO	SO ₃ общ.	K ₂ O	Na ₂ O
Глинистые опоки	2,7–	59,3–	7,2–	1,0–	0,90–	0,30–	0,01–	1,26–	0,90–
	17,6	76,8	16,5	7,6	3,00	4,6	0,65	3,08	1,79
Суглинки	4,3–	58,6–	7,8–	3,2–	1,4–	0,02–	0,1–	1,2–	1,2–
	12,9	78,0	18,1	9,9	10,2	3,3	1,2	3,9	3,1

Глинистые опоки породы достаточно крепкие, светло-серого, темно-жёлтого, цвета, который при увлажнении приобретает серовато-зеленоватый оттенок. Структура обычно массивная. По небольшим, едва намечающимся, трещинкам часто наблюдается концентрация гидрооксидов железа. Средняя плотность в куске составляет 1,40–1,55 г/см³, истинная плотность около 2,35–2,55 г/см³. В воде начинает размокать при длительном замачивании и механическом воздействии. Предел прочности при сжатии варьирует за счёт микротрещиноватости в очень широких пределах – от 3 до 17 МПа.

При рассмотрении под микроскопом видно, что основная опаловая масса породы буквально «пропитана» глинистым веществом. Это делает затруднительным определение коэффициента преломления основной массы. При большом увеличении видно преимущественно игольчатое и таблитчатое строение основной массы глинистых минералов. Глинистая составляющая представлена в количестве 20–50%. Встречаются единичные органогенные остатки в виде спикул губок. Алевритовый материал представлен в основном неокатанными зёрнами плагиоклазов и кварца (до 15%), а также зёрнами глауконита (около 5%) ярко-зелёного цвета. Достаточно часто наблюдаются относительно крупные (до 0,5 мм) чешуйки слюды. По микротрещинам хорошо просматривается концентрация гидрооксидов железа.

Оценка пригодности сырья для производства стеновой керамики предусматривает комплекс испытаний изложенных в различных источниках. Большинство испытательных лабораторий ориентируется на методику испытаний глинистого сырья для производства обыкновенного и пустотелого кирпича, пустотелых керамических камней и дренажных труб разработанную ВНИИСТРОМом. Лабораторные испытания позволяют сделать предварительные выводы о технологических особенностях сырья и степени его пригодности для производства указанных выше изделий. В комплекс дообжиговых керамических свойств входит определение формовочной влажности, пластичности, связности, сушильных свойств, воздушной усадки и связующей способности. Также обязательным является определение гранулометрического состава и содержание крупнозернистых включений.

Гранулометрический или механический состав глинистого сырья определяется по ГОСТ 21216.2-93 «Сырье Глинистое. Метод определения тонкодисперсных фракций». Настоящий стандарт устанавливает метод определения тонкодисперсных фракций способом седиментационного анализа глинистого сырья для керамической промышленности. Проведённый сравнительный анализ между опоковидными породами и суглинками, являющихся основным сырьём для производства керамического кирпича, по содержанию фракции менее 1 мкм, показал, что, как правило, в суглинках фракции менее 1 мкм больше. Данные результаты были основаны на соб-

ственных исследованиях и работах ВНИИСТРОМа. Низкое содержание тонкодисперсных фракций в опоковидных породах предполагает и особенности других дообжиговых керамических свойств: низкая пластичность, воздушная усадка, малая чувствительность к сушке, и т.д.

К крупнозернистым включениям по ГОСТ 9169-75 «Сырьё глинистое для керамической промышленности. Классификация» относятся не размокающие в воде частицы крупностью более 0,5 мм. Проведённые нами многочисленные испытания показали, что опоки закономерно классифицируются как сырьё с высоким содержанием и крупными включениями. При этом результаты по одному и тому же месторождению могут значительно различаться. Это зависит от первичного измельчения сырья при отборе пробы, степени его выветрелости, времени замачивания и т.д. В табл. 3 приведены обобщённые данные по определению крупнозернистых включений различных месторождений и проявлений опоковидных пород с указанными пределами колебаний различных фракций.

Таблица 3

Обобщённые данные по степени засоренности сырья крупнозернистыми включениями

Остатки на ситах, %			Сумма, %	Макроскопическое описание включений	Наименование группы
> 5 мм	1-5 мм	1-0,5 мм			
2,8–42,1	1,2–21,6	0,9–8,6	4,9–72,3	Не размокшие частички опок.	С высоким содержанием, с крупными-средними включениями.

При испытаниях сырья для производства стеновой керамики изготовление лабораторных образцов проводят по пластическому методу формования. Подсушенное сырьё измельчают до прохождения через сито с диаметром отверстий 2–3 мм. При этом, как указывают многие исследователи, важнейшим показателем, определяющим свойства масс, является влажность. Для глинистых опок, как показали испытания, формовочная влажность в сравнении с глинами, значительно выше, и колеблется в очень широких пределах от 30 до 47%. Это обусловлено, прежде всего, микропористой структурой. Также влияние на формовочную влажность оказывает влияние вещественный состав – более «чистые» разновидности опок имеют большую формовочную влажность, более глинистые меньшую. Проведённые эксперименты показали, что степень измельчения практически не влияет на величину формовочной влажности опок и опоковидных пород. Порошки фракции 0–0,16 мм и 0–2,5 мм имеют практически одинаковую формовочную влажность. Это обусловлено опять же микропористой структурой породы. Эффективный диаметр пор у относительно крупнопористых и

трепеловидных опок колеблется в пределах от 80 до 110 Å, а удельная поверхность – от 90 до 130 м²/г. Мелкопористые опоки имеют эффективный диаметр пор < 60 Å и удельную поверхность менее 90–60 м²/г. Степень измельчения в указанных пределах не может повлиять на величину удельной поверхности, и соответственно, на величину формовочной влажности.

Пластичностью называют способность увлажненной керамической массы деформироваться при воздействии механической нагрузки без нарушения сплошности и сохранять полученную форму после снятия нагрузки. Пластичные свойства керамического сырья характеризуются влажностью и изменяются для одного и того же глинистого сырья в зависимости от водосодержания. Пластичность является важной характеристикой, и её определение является обязательным даже при испытании рядовых проб.

В табл. 4 представлены результаты определения пластичности некоторых из изученных месторождений глинистых опок. В основном они являются умеренопластичными и иногда могут входить в группу среднепластичного сырья. Малоглинистые разновидности малопластичны. В целом в первом приближении можно утверждать, что больше содержится глинистого компонента, тем более пластичным является исходное сырьё. В сравнении с глинистым сырьём у опок значительно выше влажность границы текучести и границы раскатывания, что закономерно, учитывая микропористую структуру сырья. Проведённые исследования показали, что более тонко измельчено сырьё, тем пластичность оказывается выше. Это закономерно, учитывая природу пластичности.

Важной характеристикой при испытаниях сырьевых материалов для производства стеновой керамики является определение сушильных свойств. Чувствительность к сушке определяет способность отформованного сырца противостоять без трещин и деформаций внутренним напряжениям, возникающим в результате удаления воды затворения. Чувствительность к сушке зависит от минерального состава сырья, дисперсности, пористости, особенностей тепло- и массообмена и ряда других факторов. Проведённые нами исследования показали, что глинистые опоки являются сырьём преимущественно среднечувствительным и малочувствительным к сушке. При облучении лучистым тепловым потоком на образцах не образуется трещин вплоть до полного высыхания, несмотря на высокую формовочную влажность. Связано это, прежде всего, с пористой микроструктурой сырья, обуславливающей высокую газо- влагопроницаемость. При интенсивной сушке образцы «легко» отдают влагу, без возникновения внутренних напряжений. Также одним из факторов обуславливающих малую чувствительность к сушке, является относительно небольшая воздушная усадка. При этом определённое влияние оказывает степень измельчения исходного сырья. С увеличением крупности зёрен исходного сырья чувствительность к сушке снижается.

Таблица 4

Результаты определения пластичности

№ п.п.	Название месторождения	Границы, %		Число пластичности	Наименование групп
		Текуче-сти	Раска-тывания		
1	Каменоломненское	50,2	41,2	9,0	Умереннопластичные
2	Вольское	47,9	36,5	11,4	Умереннопластичные
3	Балашейское	52,0	43,7	8,3	Умереннопластичные
5	Авило-Фёдоровское	48,3	40,9	7,4	Умереннопластичные
6	Шевченковское	55,3	37,5	17,8	Среднепластичные
7	Несветаевское	47,7	34,8	12,9	Умереннопластичные
8	Губское	39,2	24,7	14,5	Умереннопластичные
9	Шедокское	40,8	26,9	13,9	Умереннопластичные

Уменьшение объёма изделий при сушке называют воздушной усадкой. При сушке происходит удаление технологической связки (воды), за счёт чего происходит уменьшение линейных размеров. Знание воздушной усадки позволяет прогнозировать поведение сырца в процессе сушки и рассчитывать режимы сушки, определять размеры свежесформованного сырца с целью получения изделий заданного размера. Из опыта производства стеновой керамики по пластическому способу формования известно, что для получения бездефектного сырца воздушная усадка не должна превышать 6–7%. При превышении данных показателей необходимы достаточно мягкие продолжительные режимы сушки. При сушке усадка сырца происходит до определённого предела – пока отдельные частицы полностью не придут во взаимное соприкосновение. Дальнейшее удаление воды происходит за счёт её испарения из межзерновых пор и капилляров. Усадка при удалении «воды пор» отсутствует. Помимо свойств сырья или эндогенных факторов на воздушную усадку оказывают влияние «внешние» факторы – количество воды затворения, способы подготовки формовочной массы, режимы сушки. При интенсивной сушке усадка меньше, чем при мягких режимах в естественных (комнатных) условиях.

В табл. 5 представлены результаты определения воздушной усадки некоторых из изученных месторождений глинистых опок измельчённых до наибольшей крупности зёрен 2,5 мм. Степень измельчения оказывает существенное значение на показатели воздушной усадки. Чем более тонко измельчено сырьё, тем значения воздушной усадки выше. На рисунке 6 показано влияние степени измельчения на воздушную усадку для опоки Авило-Фёдоровского месторождения, относящейся к виду среднеглини-

стых опок и Шевченковского месторождения, являющейся глинистой опоккой. Усредненный зерновой состав измельченного сырья, характеризовался максимальной крупностью зёрен 2,5; 1,25; 0,63 и 0,315 мм.

Таблица 5

Результаты определения воздушной усадки

№ п.п.	Название месторождения	Воздушная усадка, %
1	Степан-Разинское	4,8
2	Каменоломненское	4,4
3	Вольское	4,6
4	Балашейское	5,1
6	Авило-Фёдоровское	4,6
7	Шевченковское	5,7
8	Несветаевское	6,3
9	Губское	5,8
10	Шедокское	5,0

Связность – способность формовочной массы при высыхании сохранять приданную ему форму благодаря силам сцепления частиц. Усилие, которое нужно приложить для разделения частиц, характеризует степень связности.

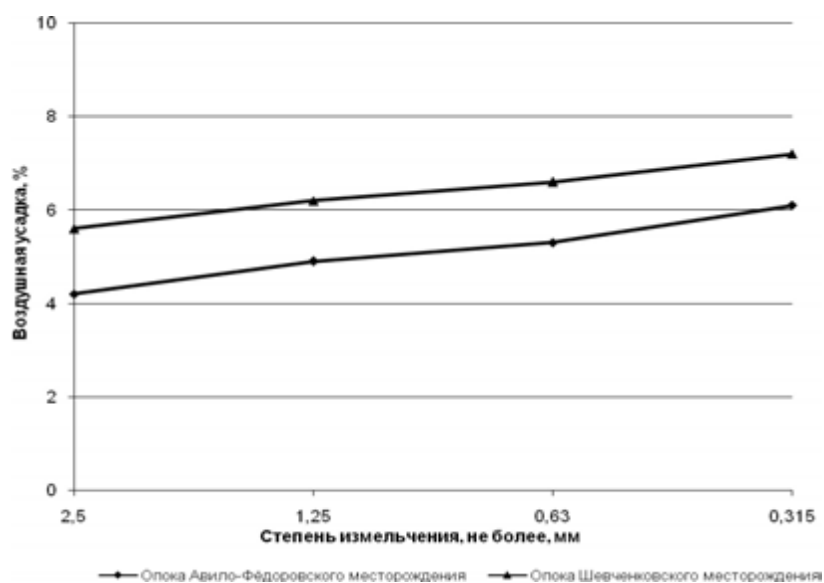


Рис. 6. Влияние степени измельчения на воздушную усадку

Исследования по определению связности опоквидного сырья проведённые путём определения механической прочности на изгиб образцов в сухом состоянии представлены в табл. 6. Степень измельчения сырья характеризовалась зерновым составом с максимальной крупностью зёрен

2,5 мм. Как видно, в сравнении с глинистым сырьём, опоки отличаются пониженной механической прочностью на изгиб образцов в сухом состоянии. Глинистые и, частично, среднеглинистые разновидности относятся к группе сырья с умеренной механической прочностью.

Таблица 6

Результаты определения механической прочности
на изгиб образцов в сухом состоянии

№ п.п.	Название месторождения	Механическая прочность на изгиб образцов в сухом состоянии, МПа
1	Степан-Разинское	1,9
2	Каменоломненское	2,3
3	Вольское	1,9
4	Балашейское	2,0
6	Авило-Фёдоровское	1,7
7	Шевченковское	2,6
8	Несветаевское	2,9
9	Губское	3,1
10	Шедокское	2,7

Степень измельчения оказывает существенное значение на показатели механической прочности высушенных образцов – чем более тонко измельчено сырьё, тем выше показатели. Это объясняется увеличением общей удельной поверхности зёрен материала, сопровождаемым ростом свободной поверхностной энергии, увеличением числа контактов зёрен в единице объёма. Все это приводит к увеличению связности и увеличению прочности.

Проведённые исследования позволили оценить дообжиговые керамические свойства глинистых опок и сравнить их с традиционным глинистым сырьём. Это ускорит их широкое вовлечение глинистых опок в производство стеновой керамики с улучшенными эксплуатационными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котляр В.Д., Талпа Б.В. Опоки – перспективное сырьё для стеновой керамики // Строительные материалы, №2, 2007. — С. 31–33.

2. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР. – Татарское книжное издательство, 1976. — 412 с.

В.И. Краюхин

ПРОПИТОЧНАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ПРИ РЕМОНТЕ ПОЛОВ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Саратовский государственный технический университет

В статье рассматриваются вопросы ремонта и эксплуатации полов на нефтеперерабатывающих заводах, а также составы и технологии их ремонта с применением новых материалов на основе ММА. Рекомендуются пропитка различных промышленных установок с открытым допуском влаги и осадков с целью создания эксплуатационной надежности и долговечности покрытий.

В современных условиях количество работ по устройству полов на Саратовском НПЗ исчисляется тысячами квадратных метров. Особенно велики объемы работ по устройству бетонных полов, которые выполняются на промышленных этажерках, складских помещениях и цехах завода. Широкое распространение получили цементно-бетонные полы, что объясняется в первую очередь их долговечностью и низкой стоимостью. Изготовление этих полов несложно и не требует дефицитных материалов, а в сочетании с некоторыми технологическими приемами придает им ряд других свойств, которые необходимы в условиях нефтеперерабатывающих заводов [1].

В процессе эксплуатации в условиях Саратовского НПЗ и других подобных предприятий полы испытывают сложный комплекс механических, химических, температурных и других воздействий, – например, пролив на поверхность таких продуктов, как дизельное топливо, керосин, сернистый мазут, топочный мазут, топливо дизельное печное, бензины автомобильные различных марок, битумы (дорожные, строительные), горячая сера, газойль вакуумный, гудрон нефтебитума, а также сама нефть.

Учитывая степень изношенности основных фондов на 1.01.2000 г. – 52,2%, степень обновления – 1,2% , проливы в размере 0,5% вполне реальны [1].

Механические воздействия воспринимаются всей конструкцией пола от движения агрегатов при ремонтах на заводе, перемещении сырья, вспомогательных материалов, грузов, движения транспортных устройств, нагрузки могут быть как статические, так и динамические. Поэтому покрытия полов должны иметь высокую прочность при сжатии и изгибе и обладать малой истираемостью и небольшим износом и соответствовать требованиям СНиП 2.03.13-88.

Высокая стойкость полов достигается несколькими способами: рациональным подбором состава, выбором материалов, точным соблюдением

технологии производства работ и систематическим контролем за процессом твердения, выдержки покрытия полов после производства работ.

Химические воздействия покрытия во многом зависят от характера агрессивности среды на заводе. Возникает она от воздействия кислот, солевых растворов, щелочей и органических растворов. Сильные и слабые кислоты вызывают коррозию бетонных покрытий за счет воздействия на составляющие цементного камня. Щелочи почти не разрушают бетонные покрытия, но при этом разрушению подвергаются трехкалийный алюминий, количество которого в цементе для использования на НЩ должно быть ограничено.

Солевые растворы бывают кислые, щелочные и нейтральные. Кислые растворы солей вызывают коррозию бетонных покрытий аналогично кислотам. Щелочные и нейтральные солевые растворы и органические растворители меньше всего разрушают цементно-бетонные покрытия [2].

Другой опасностью для качественных покрытий полов является трещинообразование на поверхностях. Трещины могут быть образованы из-за наличия концентраторов напряжения (таких, как микро- и макропоры, микротрещины, заполнители разной крупности, нарушение технология ведения строительных работ), обусловленных как природой материала для покрытий, так и технологическими условиями его приготовления. Полученная в результате некачественной укладки и уплотнения структура материала способствует зарождению и развитию трещин в покрытая, снижению его долговечности. Развитию трещин способствуют различные виды тепловой энергии, которыми сопровождаются процессы нефтепереработки иногда в сочетании с сильными потоками воздушных вентиляторов охлаждения. Температурные воздействия лучистого тепла от горелок, различных других устройств и предметов вызывают внутренние напряжения или разрушение покрытий полов [2].

Одним из эффективных способов защиты от трещинообразования служит металлическая сетка с размером ячейки 5×5 или 10×10 см, однако, даже она не может полностью предотвратить этот процесс.

Более дорогим способом является армирование покрытий специальными фибрами – обрезками металлической проволоки 3–5 мм и длиной до 5 см или другими материалами (волокнами).

В последнее время получили развитие бетонные полы с декоративными свойствами. Известно, что около 85% ощущений человек получает с помощью зрения, поэтому кроме освещения рабочих мест в промышленных цехах, на установках, насосных станциях, большую важность имеет фактор цвета. Цвет является дополнительным средством улучшения условий труда – правильно выбранная окраска полов и производственных площадок значительно увеличивает освещенность рабочих мест, уменьшает напряженность зрения и оказывая благоприятное воздействие на

нервную систему работающих людей. В настоящее время в России получили широкое распространение полы с пропиточной гидроизоляцией, получаемой на основе полимеров [1, 2].

В этой пропиточной гидроизоляции применяются составы на основе низковязкой полимеризующейся композиции метилметакрилата (ММА) с модификаторами.

Композиция представляет собой низковязкую жидкость, которая при нанесении на поверхность заполняет поры и трещины в бетоне и после полимеризации создает водонепроницаемый слой толщиной 7–15 мм, при этом прочность этого слоя повышается в 1,5–3 раза, водонепроницаемость – до значений Ш16-У20, сопротивление замораживанию до 500 циклов. Повышается стойкость к действию кислот, щелочей, нефтепродуктов. Работы по гидроизоляции выполняются при любых, в том числе и отрицательных температурах (до -30°C).

По показателю горючести эти композиции относятся к группе трудносгораемых материалов, что крайне важно в условиях нефтеперерабатывающих предприятий.

Еще одной композицией для пропиточной гидроизоляции является полиизоцианатная композиция, применяемая для восстановительного ремонта и защиты наружных и внутренних бетонных, кирпичных конструкций, полов, стен в производственных и бытовых помещениях. Композиция дает защиту от воздействия агрессивных сред с РН от 3,5 до 12, высоких и низких температур.

Применение пропиточной гидроизоляции на Саратовском НПЗ весьма актуально, так как кроме полов имеется ряд объектов, сооружений, требующих немедленной защиты от воздействия вышеперечисленных факторов агрессии. К таковым относятся новая железнодорожная наливная эстакада, где размеры защиты покрытий из железобетонных плит двух ярусов не обеспечены, а их общая площадь составляет 5640 кв. м. В цехе №15 идет интенсивное разрушение железобетонных элементов аэротенков первой и второй ступеней, нефтеотделителей и нефтеловушек. Долгое время работают без защиты илоуплотнитель (диаметр 9 м), где происходит разрушение железобетонных стенок, аэробный стабилизатор размером 18×40 м и т.д.

Проведенный анализ методов ремонта с точки зрения технологии строительного производства и технико-экономических показателей дал возможность выбрать композицию на основе метилметакрилата (ММА) и использовать ее в усилении полов промышленной четырехэтажной этажерки вакуумного блока установки ЭЛОУ-АВТ-6 цеха №1. Всего пропитке было подвергнуто около 700 кв. м площади полов. Общая технология строительного производства заключалась в снятии старого бетонного покрытия до корыта из железобетонных плит перекрытия этажерки; в мес-

тах, где бетонное покрытие было целым, его не снимали. Обрабатываемая поверхность очищалась, обеспыливалась путем обдува сжатым воздухом, при небольших объемах использовалась «Болгарка» с прикрепленными к ней абразивными кругами, а также пневмотурбины.. После механической очистки и обдува воздухом определялась влажность бетона, которая должна быть более 6% по массе. Дополнительная мероприятия по защите поверхности обеспечивалась путем пропитки ацетона, продувкой поверхности воздухом. Затем на обрабатываемую поверхность наносили рабочий состав за два раза розлива композиции с последующим разравниванием щетками, кистями и валиками. Первый слой наносится с расходом 1,2–2 кг на кв. м до полного насыщения поверхности бетона, второй слой – с расходом 0,8–1,5 кг на кв. м через 2–6 часов после полимеризации первого слоя.

Для снижения летучести, а также предотвращения попадания воды на неотвержденный ММА, поверхность бетона после нанесения второго слоя накрывалась полиэтиленовой пленкой. Дополнительно производилась заделка трещин с шириной раскрытия более 0,05 мм в железобетонных покрытиях с целью восстановления плотности бетона и обеспечения его защитных свойств. В качестве пропиточного состава использовалась низковязкая композиция на основе ММА в соответствии с сертификатом соответствия ГОСТ Р ИСО 9010.1.4.0008, вязкость составляла 1–2 сантипуаза, но благодаря высокой способности проникновения в трещины, а также использования инъекционных устройств, трещины были легко заполнены ремонтной композицией. В случае затруднения заполнения трещин, выполнялись их засверловки на поверхности бетона.

Вывод

В результате подсчета ремонт 1 кв. м полов с применением пропиточной гидроизоляции с использованием ММА составил 218 рублей на 1 кв. м. Для сравнения, современные наливные полы на основе полиуретана имеют стоимость 600 рублей на кв. м [2]. Ранее проводимый ремонт покрытий промышленных этажерок под горячей и холодными насосными установки ЭЛОУ-АВТ-6 цеха №1 по подсчетам составил 264 рубля на кв. м, но трудоемкость выполнения этих работ была намного выше из-за многослойности покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положение о проведении планово-предупредительных ремонтов зданий и сооружений. – М.: Госстрой РФ, 2000. — С. 3–8.
2. Защитные покрытия полов. Метод глубокой пропитки и инъектирования // Строй Профиль, №7(69), 2008. — С. 60–62.

А.В. Кудимова

БИОСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Мордовский государственный университет

В отрасли строительного материаловедения последние десятилетия связаны с разработкой и исследованием материалов композиционного типа. Это направление не потеряет своей актуальности в будущем, т.к. развитие промышленности требует использования материалов с новыми свойствами для обеспечения надежной работы конструкций в новых более неблагоприятных условиях эксплуатации. Именно при использовании композиционных материалов подобранного состава с учетом свойств наполнителей и матрицы (связующего), их соотношения, ориентации наполнителя можно получить материалы с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств. По природе матричного материала различают полимерные, металлические, углеродные, керамические и другие композиты. Наиболее широкое применение в технике получили композиционные материалы, армированные высокопрочными и высококомодульными непрерывными волокнами. К ним относят полимерные композиционные материалы на основе термореактивных (эпоксидных, полиэфирных, фенолоформальдегидных и др.) и термопластичных связующих, армированных стеклянными, углеродными и другими волокнами. Несмотря на то, что полиэфирные смолы – самые дешевые из всех смол, они являются пока недостаточно изученными по сравнению, например, с эпоксидными.

В настоящее время полиэфирные смолы известны как основные материалы при изготовлении конструкций уличных фонарей, химических резервуаров, технологических трубопроводов, крыш общественных и промышленных зданий, павильонов, навесов, стеновых панелей и перегородок, в т.ч. декоративных, используемых для отделки интерьеров. Изделия на их основе обладают высокими механическими свойствами, небольшим весом, высокими эстетическими качествами. В то же время при этом практически не используются возможности полиэфирных смол при создании композиционных материалов для покрытий полов промышленных зданий, что и вызвано их недостаточной изученностью в этом направлении.

В Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарева проведены исследования биологической стойкости композитов на основе не-

насыщенных полиэфирных смол различных марок: ПН-1, ПН-19, ПН-1КТ, ПН-1КТ А, ПН-54КТ А, ПН-1КТ НР, ПН-ТГ 1, ПН-609 21-М.

Испытания на биостойкость проводились по двум методам: 1 и 3. Их суть заключается в выдерживании материалов, зараженных спорами плесневых грибов, в оптимальных для их развития условиях, с последующей оценкой грибостойкости и фунгицидности образцов. В качестве характеристики для оценки микробиологической стойкости материалов рассматривается степень обрастания грибами. Методом 1 устанавливали, является ли материал питательной средой для микромицетов (дополнительные источники углеродного и минерального питания отсутствуют). При методе 3 использовалась твердая питательная среда Чапека-Докса; с помощью данного метода определяли наличие у материалов фунгицидных свойств. Материал считается грибостойким, если получает оценку по методу 1 от 0 до 2 баллов, и обладает фунгицидными свойствами, если вокруг образца на питательной среде наблюдается зона отсутствия роста грибов или на поверхности и на краях образцов наблюдается рост грибов, оцениваемые 0 и 1 баллом. Устойчивость полиэфирных смол к биообрастаниям представлена в табл. 1.

Таблица 1

Устойчивость полиэфирных смол к действию мицелиальных грибов

Наименование связующего	Степень роста грибов в баллах		Характеристика по ГОСТу
	по методу 1,	по методу 3	
ПН-1	1	4	Грибостойкий
ПН-19	2	4	Грибостойкий
ПН-1КТ	1	4	Грибостойкий
ПН-1КТА	1	4	Грибостойкий
ПН-1КТ-НР	2	4	Грибостойкий
ПН-54КТА	1	4	Грибостойкий
ПН-609-21М	1	4	Грибостойкий
ПН-ТГ-1	3	4	Негрибостойкий

Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволяет заключить, что практически все рассмотренные ненасыщенные полиэфирные смолы являются грибостойкими (за исключением смолы ПН-ТГ-1), т.е. после проведенного испытания рост грибов невооруженным глазом не заметен. При этом особо следует отметить, что фунгицидных свойств не выявлено.

С целью осуществления прогнозирования долговечности композиционных материалов на основе полиэфирных смол проведено сравнение физико-механических свойств связующего до испытаний и после выдерживания в среде, а именно изменение массосодержания, прочности, модуля упругости.

Анализируя динамику массосодержания, следует отметить, что:

– наибольшее изменение массы произошло у образцов, полученных на смолах следующих марок: ПН-1 и ПН-ТГ 1;

– наименьшее – у образцов на смолах марок ПН-19, ПН-1 КТ, ПН-1 КТ НР (до 2,5 %).

При исследовании изменения прочности были проведены измерения прочности образцов на сжатие до и после выдерживания в биологической среде. Данные представлены на рис. 1.

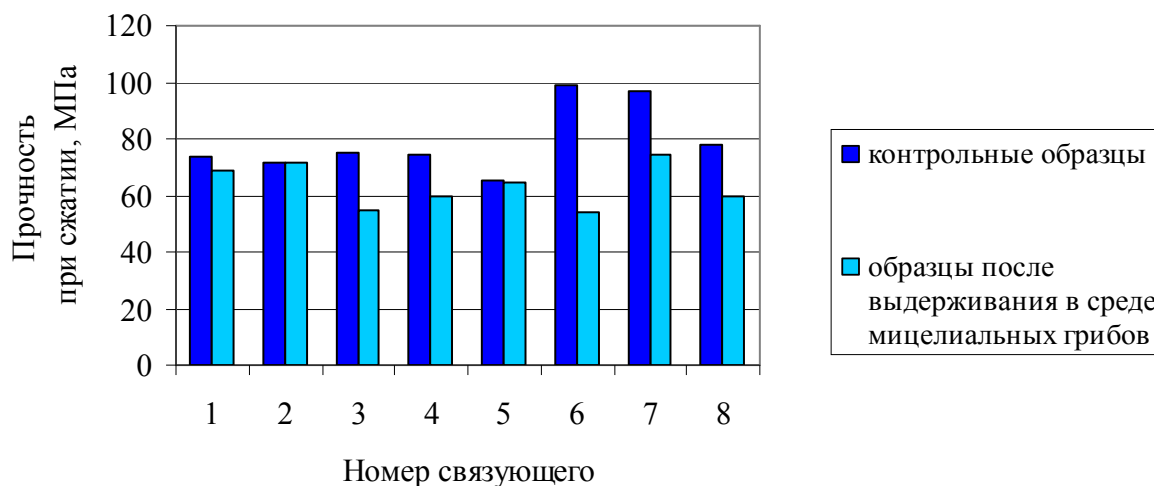


Рис. 1. Прочность на сжатие образцов до и после выдерживания в среде: 1 – ПН-1, 2 – ПН-19, 3 – ПН-1 КТ, 4 – ПН-1 КТ А, 5 – ПН-1 КТ НР, 6 – ПН-54 КТ А, 7 – ПН-609 21-М, 8 – ПН-ТГ 1.

Как показано на рис. 1, воздействие мицелиальных грибов на композиты в зависимости от вида полиэфирных смол происходит неодинаково. К примеру, если изначально смолы марок ПН-54 КТА и ПН-609 21-М показывали практически равные значения предела прочности на сжатие, то после выдерживания в среде этот показатель у смолы марки ПН-609 21-М почти на 35% выше, чем у смолы ПН-54 КТ А.

Изменение коэффициента стойкости показано на рис. 2. Из сравнения показателей видно, что наименьшее снижение несущей способности при сжатии после выдерживания в среде наблюдается у смол марок ПН-19 и ПН-1КТ НР.

Также при исследовании изменения прочности были проведены испытания контрольных и выдержанных в среде образцов на растяжение при изгибе (рис. 3).

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что изначально обладая наибольшим пределом прочности при изгибе, состав на смоле ПН-1 КТ НР теряет данное преимущество после выдерживания в среде. Более наглядно это представлено на рис. 4.

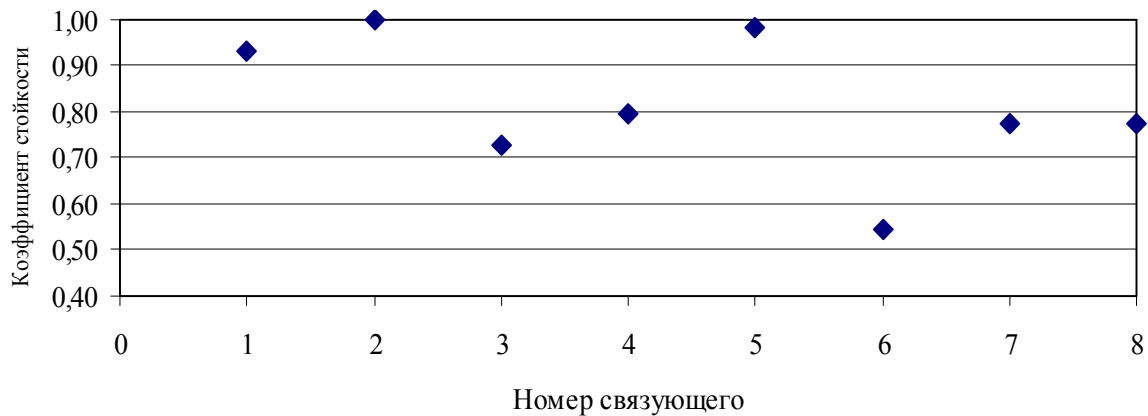


Рис. 2. Зависимость изменения коэффицента стойкости композитов в зависимости от вида связующего (обозначения те же)

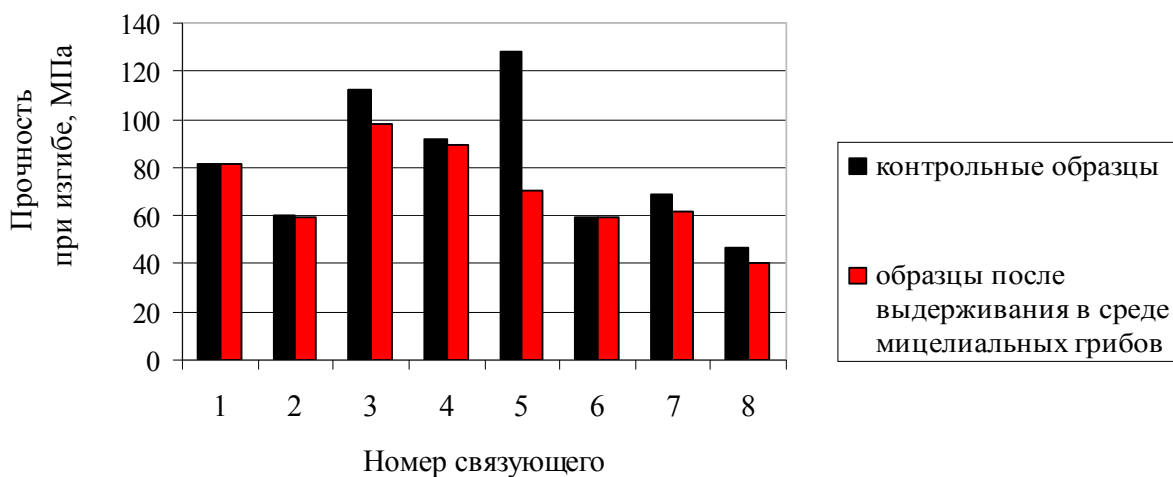


Рис. 3. Прочность на изгиб образцов до и после выдерживания в среде (обозначения те же)

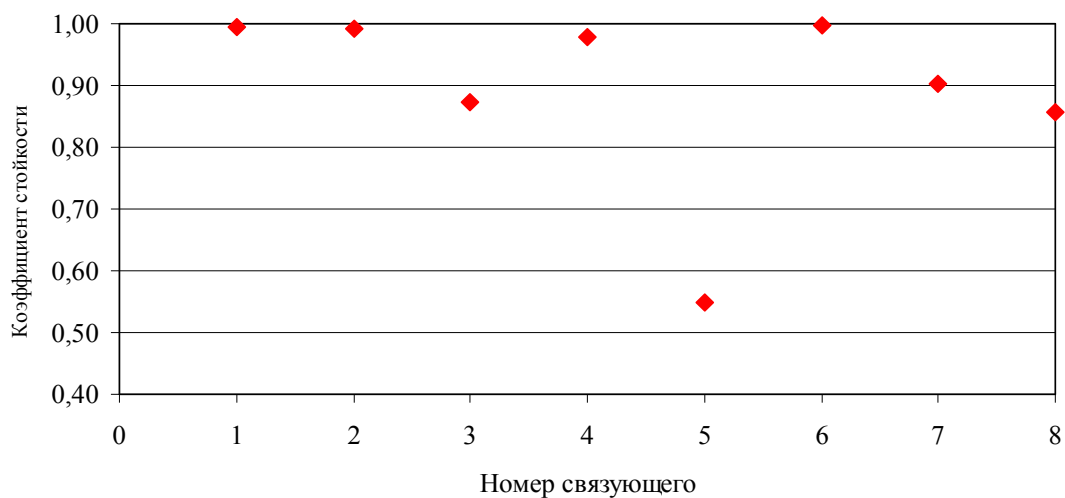


Рис. 4. Зависимость изменения коэффицента стойкости композитов в зависимости от вида связующего (обозначения те же)

Как видно на графике, коэффициент стойкости материалов на основе смолы ПН-1 КТ НР снижается более чем на 40% после выдерживания в среде питательной для развития микроорганизмов. При этом у смол марок ПН-19 и ПН-54 КТА изменения коэффициента стойкости при изгибе практически не происходит, а у смол ПН-1, ПН-1 КТ А, ПН-609 21-М и ПН-ТГ 1 оно незначительно.

При сравнении модуля упругости образцов до и после выдерживания в среде выяснилось, что наибольшее изменение произошло у смолы марки ПН-ТГ 1, а наименьшее снижение этого показателя – у смол ПН-1 и ПН-1 КТ А.

Дальнейшие исследования в этой области связаны с проведением структурного анализа полиэфирных ненасыщенных смол методом инфракрасной спектроскопии с целью подбора наиболее эффективных биоцидных добавок.

А.С. Маштаков

УЧЁТ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РИСКОВ НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМ И СПБУ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ДЛЯ ИХ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Обосновывается необходимость учета геодинамических рисков, в частности, воздействия мелкозалегающего свободного газа, при эксплуатации нефтяных платформ и самоподъемных буровых установок (СПБУ) в северной части Каспийского моря с целью повышения их безопасности.

Геологическими морскими исследованиями Северного Каспия установлено широкое распространение в грунтовом массиве скоплений мелкозалегающего свободного газа, опасного для буровых установок, и гидротехнических сооружений, осложняющих бурение нефтегазопоисковых скважин и добычу нефти и газа.

В работах зарубежных исследователей, в частности, М. Ховланда, отмечается, что при добыче нефти и газа в Северной Норвегии мелкозалегающий свободный газ создает потенциальные риски для искусственных конструкций, к которым относятся нефтяные платформы и самоподъемные буровые установки [1].

Ю.П. Безродных, С.В. Делия, В.П. Лисин подчеркивают, что мелкозалегающий свободный газ представляет собой инженерно-геологические компоненты, опасные для гидротехнических сооружений. Возрастание порового давления в газоносных грунтах при строительстве, либо при постановке на дно самоподъемных буровых оснований вызывает снижение не-

сущей способности грунтового основания, либо может вызвать прорыв газа к поверхности дна, образование суффозионных воронок, приводящих к потере устойчивости и разрушению сооружений. Разгерметизация более глубоких газоносных залежей в ходе бурения может привести к прорыву газа по затрубному пространству, нарушая также устойчивость опорного основания. Аварии буровых оснований по указанным причинам произошли в различных регионах шельфа, в том числе на нефтяных месторождениях Каспия. Аварии, вызванные вскрытием скоплений мелкозалегающего газа, имели место также при неглубоком поисковом и инженерно-геологическом бурении в Восточно-Сибирском и Черном морях. При этом совместно с газом через ствол скважин выбрасывался большой объем водно-грунтовой смеси [2, 3].

Широкое распространение скоплений мелкозалегающего газа в грунтах является важнейшей геологической характеристикой Северного Каспия. По данным количественных оценок, содержание свободного газа в приповерхностных отложениях достигает десятых долей процента от объема грунта при снижении интервальной скорости продольных волн до 200–300 м/с [4].

На первом этапе, во избежание возникновения опасных ситуаций при постановке нефтяной платформы и СПБУ, необходимо прогнозировать места скопления мелкозалегающего газа Северного Каспия. На втором этапе, в уточненном месте выполняются другие исследования, связанные с получением данных для оценки несущей способности грунтового основания.

При проведении сейсморазведочных работ в качестве признака скоплений газа рассматривают геологические сейсмические аномалии типа залежь (АТЗ), или высокоамплитудные отражения в виде «ярких пятен», интерпретируемые как «газовые карманы». Сейсмоакустические материалы высокого разрешения обеспечивают уточнение технологии проводки инженерно-геологических скважин и выбор оптимальных схем отбора образцов грунтов.

Скопления мелкозалегающего газа относятся к метановому и метантановому типам с содержанием метана до 99% и проявляются на разных уровнях донного массива Северного Каспия, местами практически от дна моря. Выделение и оконтуривание газовых аномальных скоплений мелкозалегающего газа производится на основе результатов сейсморазведочных работ.

В северной части Каспийского моря скопления мелкозалегающего газа приурочены к месторождениям Ракушечное, Хвалынское и Сарматское. Глубина распространения газа в Северном Каспии представлена в таб. 1.

Глубина и характер распространения мелкозалегающего газа
на территории российского нефтегазового сектора Северного Каспия

Наименование площади	Глубина и характер распространения газа
Месторождение «Ракушечная» им. В. Филановского	Фиксируется на глубинах 40–60 м от дна моря в песчаных слоях. Нижние части (корни) аномалий зафиксированы с большим разбросом глубин от 90 до 400 м.
Месторождение «Широтная»	Приурочены к линзам ракуши на глубине 38–39 м, а также к наиболее рыхлым пескам. Наиболее обширные «пятна» занимают глубины уровня 40–51 м
Месторождение «Хвалынская»	Глубина распространения газа фиксируется от 15 до 43 м от дна моря
Месторождение «Ракушечное» им. Ю. Корчагина	Наиболее широко распространены скопления газа на глубинах 60–67 м в песчаном слое.
Сарматское месторождение	Наиболее обширные по площади скопления газа на глубине около 64 м в песчано-раковинных отложениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hovland M.* Evidence of dynamic shallow gas hydrates at Husmus and Nyegga, off Mid-Norway / *M. Hovland.* NGF Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway, №2, 2010. — P. 28.

2. *Безродных Ю.П., Делия С.В., Лисин В.П.* Применение сейсмоакустических и сейсмических методов для изучения газоносности грунтов Северного Каспия. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, вып. №5, 2001. — С. 476–480.

3. *Безродных Ю.П., Делия С.В., Сорокин В.М.* Особенности строения и состав верхней части четвертичной толщи Северного Каспия. Геология океанов и морей. Тезис. доклад XIII Межд. шк. морской геологии. М: Изд-во ГЕОС, 1999. — С. 93–94.

4. *Куприн Н.П., Росляков А.Г.* Геологическая структура Мангышлакского порога. Геотектоника, вып. №2, 1991. — С. 28–40.

С.А. Монтаев, Б.Т. Шакешев, А.Т. Таскалиев

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ В СЫРЬЕВОЙ СИСТЕМЕ ЛЕССОВИДНЫЙ СУГЛИНОК-ВОЛЛАСТОНИТОСОДЕРЖАЩИЙ ШЛАК

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

Разработана эффективная технология стеновой керамики с улучшенными физико-механическими свойствами.

Развитие строительной индустрии на базе новейших достижений науки и техники относится к основным задачам концепции инновационной и индустриальной политики Республики Казахстан.

Реализация этой задачи неразрывно связано с внедрением новых технологий и разработок в области строительных материалов, ориентированные на использовании местных сырьевых ресурсов. В широкой номенклатуре различных видов строительных материалов особое место занимает производство строительного керамического кирпича, одновременно выполняющие функции ограждающих, несущих и в качестве лицевого слоя при возведении наружных и внутренних стен зданий и сооружений [1, 2].

Цель исследования: разработка технологических приемов устранения специальной грануляции глины, а также повышение прочности при сжатии готовых изделий.

Предлагаемый технологический способ реализуется следующим образом: в качестве глинистой породы использовали лессовидной суглинок, а в качестве волластонитсодержащего сырья гранулированный фосфорный шлак, химический состав которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Сырьевые материалы	Содержание оксидов, масс %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	F ₂ O ₃	P ₂ O ₅	F	SO ₃	Na ₂ O	п.п.п
Лессовидный суглинок	52,58	12,25	12,0	2,13	5,10	-	-	2,57	3,60	9,78
Гранулированный фосфорный шлак	41,0	5,7	46,02	2,06	0,14	1,76	1,12	0,6	0,67	0,92

Лессовидный суглинок из приемного бункера дозируется и подвергается подсушке и тонкому помолу до удельной поверхности 1200–1300 г/см². Полученный пресс порошок суглинка совместно смешивают с гранулированным волластонитсодержащим шлаком с фракциями 3–0,14 мм не подвергнутых предварительной механической обработке в количестве 10–15% от массы глинистой породы [3, 4].

Параллельно сырьевая смесь увлажняется до 8–10% и формируется по способу полусухого прессования под давлением 15–20 МПа. Отформованные изделия подсушиваются и обжигаются по специально разработанному режиму при температуре 950–1000⁰ С с экспозицией 1,5–2 часа.

Зерна гранулированного шлака имеет в основном стекловидное строение. Содержание стеклофазы в них составляет 65–97%.

Минералогический состав шлака термообработанного при 900⁰С в основном сложена низкотемпературной формой волластонита (β – Ca SiO₂).

Отличительной особенностью разработанного способа состоит в том, что тонкое измельчение суглинка до удельной поверхности 1200–1300 г/см² обеспечивает порошкообразное состояние камневидных карбонатных включений в виде известняка, содержащихся в суглинках. Тем самым на этом технологическом этапе устраняется образование свободной окиси кальция, оказывающее разрушающее воздействие обожженных изделий. А совместное смешение тонкомолотого суглинка с гранулированным шлаком с фракциями 3–0,14 мм. в присутствии влаги происходит процесс самогрануляции смеси за счет обволакивания зерен шлака тонкодисперсными частицами суглинка, тем самым отпадает необходимость специальной грануляции глинистого порошка. В результате формования изделий полностью исключается процесс запрессовки воздуха и гарантируется плотность упаковки без трещин и посечек.

При термообработке сырьевой композиции образуется легкоплавкие эвтектики за счет стеклофазы, содержащихся в гранулированных шлаках и параллельно происходит процесс кристаллизации шлакового стекла с выделением в качестве основной кристаллической фазы β – волластонита.

В результате структура керамического черенка представляет собой армированный каркас из стекло- и кристаллических фаз, что способствует повышению прочности готовых изделий. Предлагаемый способ позволяет исключить дорогостоящие технологические процессы как шликерный помол глинистого сырья с последующей их грануляцией, устранить содержание несвязанной окиси кальция, снизить температуру обжига на 50–100⁰ С, и повысить прочность кирпича на 20–30%. Следует также отметить, что состав керамической массы состоит из дешевого и доступного сырья в виде лессовидного суглинка и гранулированного шлака, что позволяет решить проблемы дефицита сырья в керамической промышленности, а также снизить себестоимость готовых изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ботвина Л.М.* Строительные материалы из лессовидных суглинков. Ташкент; Укитовчи, 1994. — 128 с.
2. Патент Российской Федерации № 2005702, Кл. с 04В 33/03, 1994.
3. *Монтаев С.А., Сулейменов Ж.Т.* «Стеновая керамика на основе композиции техногенного и природного сырья Казахстана» Уральск, 2006. — 190 с.
4. *Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Баннова С.Е., Кириллов Д.В.* Перспективы формирования сырьевой базы стройиндустрии с использованием техногенного сырья из отвалов Кашпирского рудника Самарской области. Самарск. гос. арх.-строит. ун-т Самара, 2006. — 200 с.
5. *Камалов С.А., Ли К.А.* География размещения месторождений природных ископаемых Уральской области и их народнохозяйственной применение. Уральск, 1992. — 139 с.

С.А. Монтаев, К.А. Нариков, С.М. Жарылгапов

УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕФТЕШЛАМОВ

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана

Основной задачей предприятий нефтяной индустрии Казахстана является увеличение объемов добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья. По прогнозам, лишь только через Атырауский нефтеперерабатывающий и трубопроводный комплекс будет транспортироваться до 60 млн. тонн нефти в год. В то же время нефть – ее добыча, транспортировка, хранение и переработка являются источниками загрязнения окружающей среды. Аварийные разливы нефти при добыче и транспортировке, нефтяные амбары, нефтешламахранилища это негативные спутники нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей, наносящие ощутимый вред экологии Республики.

Предприятия вынуждены идти на огромные затраты для ликвидации аварийных разливов нефти, платя экологические штрафы и выплаты за эмиссию углеводородов, хранение отходов добычи и переработки нефти и нефтепродуктов.

Анализ предприятий нефтяной отрасли Западного Казахстана по добыче, разработке транспортировке и хранению показали, что основной объем нефтешламов образуется:

- в резервуарах временного складирования нефти и нефтепродуктов (РВС), а также в цистернах;
- в нефтяных амбарах нефтедобывающих и нефтеперекачивающих предприятиях;

– в результате разлива нефти при разрывах трубопроводов и других аварийных ситуациях;

– в нефтеперерабатывающих предприятиях в процессе очистки нефте-содержащих сточных вод.

Современное состояние утилизации нефтешламов образующихся на указанных предприятиях частично утилизируются на основе специальных технологических установок [1, 2, 3], конечным продуктом, которого является сырье для битума или товарного дорожного битума. В то же время химико-минералогический состав нефтешламов позволяют их использовать в качестве технологических добавок (выпучивающих, выгорающих, пластифицирующих и т.п.) для производства широко распространенного и пользующихся большим спросом строительных материалов как аглопорит, керамзит и керамический кирпич [5, 6]. Поэтому целью нашего исследования является использование нефтешламов для производства керамического кирпича взамен традиционным природным выгорающим добавкам как уголь.

В качестве области исследования выбран нефтешлам ОАО «Атырауский НПЗ». В керамическую массу нефтешлам добавлялся в естественном виде в количестве от 3,0 до 15,0% от массы сухих компонентов. Обжиг образцов производили в электрической муфельной печи при температуре 950⁰С со скоростью подъема температур 1,5⁰С в минуту. Выдержка при конечной температуре обжига составил 1 час.

Полученные образцы подвергались физико-механическим испытаниям. Составы керамических масс и результаты экспериментальных исследований представлены в таблице.

Результаты исследований показывает, что с увеличением содержания нефтешлама значительно увеличивается показатели огневой усадки. Так при содержании нефтешлама 15,0% значение огневой усадки в среднем составляет 7,15%.

Таблица 1

Физико-механические свойства
керамических масс в зависимости от состава

Состав сырьевой смеси		Усадка, %		Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Средняя плотность, г/см ³
Суглиенок	Нефтешлам	Воздушная	Огневая			
97,0	3,0	3,21	5,34	12,32	26,51	1,42
95,0	5,0	3,75	5,67	12,24	27,92	1,412
93,0	7,0	3,86	6,41	11,52	28,4	1,386
90,0	10,0	4,24	6,78	8,71	29,73	1,312
85,0	15,0	4,72	7,15	7,21	31,6	1,279

По результатам экспериментальных исследований установлено возможность получения строительного керамического кирпича с плотностью 1,455–1,272 г/см³ и прочностью 8,0–12,0 МПа, что согласно нормативным требованиям относится к классу эффективных. При этом использование нефтешламов в составе керамических масс не требует специальных предварительных подготовительных технологических процессов, что способствует утилизации значительного объема нефтешлама. Результаты исследований служат основой разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий керамического кирпича с применением отходов нефтяной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Магид А.Б., Купцов А.В., Шайбаков Р.А. Технологические процессы переработки нефтешламов // Вестник АТИНГ, №6-7, 2005. — С. 82–86.
2. Патент на изобретение № 13999 2002/0972.1.
3. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С. Долговечность тампонажного камня в коррозионных средах. – СПб.: Недра, 2005. — 318 с.
4. Быков И.Ю., Гуменюк А.С., Литвиенко В.И. Охрана окружающей среды при строительстве скважин. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985. — 37 с.
5. Булатов А.И., Левшин В.А., Шеметов В.Ю. Методы и техника очистки и утилизации отходов бурения. – М.: ВНИИОЭНГ, 1989. — 56 с.
6. Король В.В., Позднышев Г.Н., Манырин В.Н. Утилизация отходов бурения скважин. Экология и промышленность России, №1, 2005. — С. 40–42.

С.А. Монтаев, А.Т. Таскалиев, А.С. Монтаева

ТЕХНОЛОГИЯ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПОКИ

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

Приведены результаты исследования влияния опоки на физико-механические свойства стеновой керамики на основе лессовидных суглинков.

Основной сырьевой базой для производства стеновой керамики в Республике Казахстан служат некондиционные лессовидные суглинки, обладающие неудовлетворительными керамическими свойствами (высокая чувствительность к сушке, большая усадка и т.д.) [1]. Запесоченность и высокое содержание карбонатов лессовидных суглинков в ряде случаев не позволяет использовать их даже для производства обыкновенного глиняного кирпича, отличающегося не только низкими физико-механическими свойствами, но и выцветами растворимых солей, ограничивающими его применения в строительстве объектов различного назначения.

В связи с вышеизложенными фактами следует искать другие пути решения проблемы – изыскания новых источников сырья, переход на компо-

зиционные сырьевые смеси на основе природных и техногенных ресурсов, способствующих созданию армированной каркасной структуры и повышению активности взаимодействия компонентов смеси при условии снижения температуры спекания [2, 3].

Анализ литературных данных показывает, что одним из перспективных направлений расширения сырьевой базы керамической промышленности является использование опоки в качестве сырья для стеновой керамики, а также применение опоки в качестве искусственных заполнителей для бетонов. По керамической технологии кремнистых опал – кристобалитовых пород, имеющих широкое распространение во многих регионах России и в западном регионе Республики Казахстана [4, 5].

Цель исследования: установление возможности получения высококачественного и лицевого кирпича на основе лессовидных суглинков Западно-Казахстанской области путем введения эффективных модифицирующих добавок и использования новых технологических решений.

Для изучения влияния степени измельчения материала на физико-механические свойства сырца, отформованного методом полусухого прессования, и свойства обожженного материала из пробы готовились шихты различного гранулометрического состава. Высушенные до воздушно-сухого состояния пробы пропускались через дробилки до прохождения через сито с отверстиями 0,16; 0,315; 0,63 и 1,0 мм. Полученные порошки были разделены на 5 групп: I < 0,16 мм; 0,16 мм < II < 0,315 мм; 0,315 мм < III < 0,63 мм; 0,63 мм < IV < 1 мм и V < 1 мм.

Из полученных сырьевых смесей формовались образцы цилиндры диаметром и высотой 50 мм. Формовочную влажность сырьевых смесей принимали до 40% от массы сухого материала. Для равномерного распределения влаги в составе керамической смеси вода добавлялась с помощью пульверизатора и тщательно перемешивалась в течение 10 мин.

Полученный пресспорошок формовали на гидравлическом прессе под давлением 20 МПа.

За исследуемые свойства керамических масс принимались полная усадка, прочность сырца как критерии сушильных и формовочных свойств, прочность при сжатии и водопоглощение как показатель качества изделий.

Обжиг образцов проводился при температуре 950–1000⁰С. При уменьшении наибольшей крупности частиц измельченных опок с 1 до 0,16 мм механическая прочность обожженного материала при прочих равных условиях возрастает в 1,7 раз. При этих условиях наименьшую среднюю плотность имеют образцы I группы. Полная усадка всех образцов не превышает 4,2%, группа V имеет самую низкую усадку.

По результатам научно-исследовательских работ установлено, что опоки обладают малой усадкой, низкой чувствительностью к сушке и вы-

сокой прочностью, которые позволяют в дальнейших исследованиях использовать опоку как основу для производства керамического кирпича по способу полусухого прессования.

Таблица 1

Физико-механические свойства термообработанных образцов на основе опоки Таскалинского месторождения

Группа порошка	Средняя плотность, г/см ³	Полная усадка, %	Водопоглощение, % по массе	Предел прочности при сжатии, МПа
I	1,087	3,48	43,5	20,25
II	1,109	3,38	43,7	16,5
III	1,130	3,24	44,2	16,7
IV	1,239	4,08	44,6	12,11
V	1,147	3,8	45,3	14,81

Для изучения влияния модифицирующей добавки – опоки на физико-механические свойства суглинка, были отформованы методом полусухого прессования цилиндры диаметром и высотой 50 мм, и обожжены в печи при температуре 950⁰С.

Модификатор и суглинок дозировались в количестве по 50% сухой массы. Суглинки и опока просеивались через сито №0,63, поэтому для сравнения физико-механических свойств суглинков и опоки мы будем использовать данные групп порошка от I до III. Влажность пресс-порошка составляла 12%; давление прессования цилиндров диаметром 50 мм для шихт на основе чаганского, таскалинского и халиловского суглинка – 20 МПа; температура обжига – 950⁰С

Результаты (табл. 1 и 2) показывают, что добавка модификатора - опоки уменьшает полную усадку: для композиции чаганский суглинок-опока по сравнению с полной усадкой опоки на 36,7%; для композиции халиловский суглинок-опока на 62,6%, а для композиции таскалинский суглинок – опока, на 13% увеличивается полная усадка.

При этом средняя плотность: для композиции чаганский суглинок-опока увеличивается на 16,3%; для композиции халиловский суглинок -опока увеличивается на 16,9%; а для композиции таскалинский суглинок – опока на 14,4% по сравнению со средней плотностью опоки равной 1,13 г/см³.

По результатам определения водопоглощения: для композиции чаганский суглинок-опока водопоглощение уменьшается на 28%; для композиции халиловский суглинок – опока на 27,2%, а для композиции таскалинский суглинок – опока на 23,5% .

Влияние модификатора на физико–технические
свойства керамического черепка

Суглинок	Вид модификатора	Полная усадка, %	Средняя плотность г/см ³	Водопоглощение % по массе
Чаганский суглинок	-	1,0	1,76	17,0
Чаганский суглинок	опока	2,2	1,35	31,4
Таскалинский суглинок	-	1,1	1,55	23,5
Таскалинский суглинок	опока	4,0	1,32	33,4
Халиловский суглинок	-	1,6	1,83	16,6
Халиловский суглинок	опока	1,3	1,36	31,8

Таким образом, установлено возможность улучшения физико-механических свойств стеновой керамики на основе лессовидных суглинков путем модифицирования опокой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ботвина Л.М.* Строительные материалы из лессовидных суглинков. Ташкент.: Укитувчи, 1984. — С. 40.
2. *Монтаев С.А., Сулейменов Ж.Т.* Стеновая керамика на основе композиции техногенного и природного сырья Казахстана. Уральск: 2006. — 190 с.
3. *Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Баннова С.Е., Кириллов Д.В.* Перспективы формирования сырьевой базы стройиндустрии с использованием техногенного сырья из отвалов Кашпирского рудника Самарской области. Самарск. гос. арх.-строит. ун-т Самара, 2006. — 200 с.
4. *Камалов С.А., Ли К.А.* География размещения месторождений природных ископаемых Уральской области и их народнохозяйственной применение. Уральск, 1992. — 139 с.
5. *Котляр В.Д., Талпа Б.В.* Опоки – перспективное сырье для стеновой керамики // Строительные материалы, №2, 2007. — С. 31–33.

С.А. Монтаев, Б.Т. Шакешев, А.С. Монтаева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВЫХ ШЛАМОВ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

Приведены результаты исследования по утилизации бурового шлама с последующим использованием их для дорожного строительства.

Достижение мирового уровня дорожного строительства потребует нового подхода к проектированию составов и выбору методов химического закрепления грунтов, создание нового оборудования и машин, а также вовлечения в сырьевой оборот многотоннажных промышленных отходов. Следует отметить, что дорога и ее конструктивное строение, позволяют рассматривать нижние слои основания как места захоронения экологически опасных отходов, к числу которых относятся шламы нефтепереработки, попутные вскрышные породы при добыче нефти, отработанные буровые растворы и т.д. [1]. Задачей, на решение которой направлено предлагаемое исследование, является создание способа, позволяющего эффективно и с минимальными затратами производить утилизацию буровых шламов с последующим использованием их для дорожного строительства.

Одним из известных способов утилизации буровых отходов включает рытье котлована в минеральном грунте [1–6]. Извлеченный грунт используется для обвалования котлована и гидроизоляции полости котлована слоем глины. Другой способ ликвидации буровых отходов предусматривает сооружение котлованов в минеральном грунте с гидроизоляцией металлическими листами, или синтетической пленкой, или железобетонными плитами, или деревянными щитами с битумным покрытием, или композициями на основе глины, извести, цемента [7–8].

Для составления смеси бурового шлама с известью сначала буровой шлам высушивался в сушильном шкафу до остаточной влажности 25–27%.

Добавление извести в высушенный буровой шлам производилось в естественном камковом виде. Были приготовлены три партии сырьевой смеси содержанием 20%, 25%, 30%. В лабораторных условиях сырьевые компоненты взвешивались на электронных весах. Взвешенные и отдозированные компоненты перемешивались в сферической лабораторной чаше до получения влажной однородной массы. Перемешанная сырьевая композиция обладает следующими свойствами (табл. 1).

Как показывает результаты исследования, с увеличением содержания извести от 20% до 30% снижается влажность от 14–16% до 8–10%, а средняя плотность влажной смеси возрастает от 1,271 до 1,346 г/см³.

В процессе перемешивания бурового шлама с негашеной известью наблюдались интенсивная адсорбция влаги содержащейся в буровом шламе, и происходит процесс гашения извести с выделением тепла.

Таблица 1

Изменение влажности и средней плотности в зависимости от содержания извести

№ состава	Состав сырьевой смеси	Влажность, %	Средняя плотность влажной смеси, г/см ³
1	Буровой шлам 80% Известь 20%	14–16	1,271
2	Буровой шлам 75% Известь 25%	10–12	1,292
3	Буровой шлам 70% Известь 30%	8–10	1,346

Кроме того, параллельно наблюдалась испарение влаги вследствие нагрева смеси связанные с процессами химических реакций.

При этом установлено, что по истечении определенного времени смесь шлама с известью приобретает способность формоваться.

Из полученных сырьевых смеси для исследования их формовочных свойств формовались образцы цилиндры (5×5×5 см) и бабочки (4×4×16 см).

Отформованные образцы сначала испытывались для определения сырцово́й прочности, а остальные образцы сушились в сушильном шкафу при температуре 35–40⁰С, т.е. максимально приближенных условиях к естественной сушке.

Высушенные образцы подвергались к физико-механическим испытаниям по стандартным методикам.

Как показывает результаты экспериментальных исследований, с увеличением давления прессования от 5 МПа до 10 МПа наблюдается стабильное увеличение значение сырцово́й прочности, прочности при сжатии и изгибе высушенных образцов, а также средней плотности.

При этом максимальное значение сырцово́й прочности, прочности при сжатии и изгибе высушенных образцов, а также средней плотности наблюдается в тех составах, где содержание извести составляет 25–30%.

Например, сырцово́й прочность состава №3, где содержание извести составляет 30%, значение сырцово́й прочности составило 0,85 МПа, проч-

ности при сжатии высушенных образцов 5,1 МПа, при изгибе 0,62 МПа, а значение средней плотности составило 1,45 г/см³.

Предлагаемая нами технология обезвреживания буровых отходов отличается тем, что в качестве минеральной добавки используется негашеная известь в количестве до 30% и перемешивается с буровыми отходами с влажностью 8–10% и складироваться для отправки к потребителю. В результате перемешивания буровых отходов с негашеной известью происходят физико-химические реакции и процессы, способствующие обезвреживанию хлористых соединений и образованию гомогенной смеси пригодной для использования, как насыпного грунта, так и верхней дорожной одежды для строительства внутрипромысловых дорог.

Кроме того для организации работ по обезвреживанию отходов бурения не требуется специальных дорогостоящих необходимых оборудований и приборов, что снижает до минимума затраты для их практической реализации фактически в любом регионе, где производятся буровые работы.

Следует отметить, что именно добавка извести в указанном соотношении переводит отход бурения в категорию сырьевых материалов пригодных для дорожного строительства не только как насыпного но и как конструктивной верхней дорожной одежды т.к. известь известна как воздушное вяжущее вещество способное твердеть в композиции с силикатными материалами.

Использование обезвреженного бурового отхода по предлагаемой технологии позволяет полностью утилизировать, используя их в качестве дорожного полотна. А это очень выгодно с точки зрения экономии природных сырьевых ресурсов т.к. дорожное строительство является крупным потребителем природного сырья в виде глины, песка, гравия и щебня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С.* Долговечность тампонажного камня в коррозионных средах. – СПб.: Недра, 2005. — 318 с.
2. *Быков И.Ю.* Техника экологической защиты Крайнего Севера при строительстве скважин. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1991. — 240 с.
3. *Быков И.Ю., Гуменюк А.С., Литвиенко В.И.* Охрана окружающей среды при строительстве скважин. - М.: ВНИИОЭНГ, 1985. — 37 с.
4. *Боровский Н.А.* Изменение гидрохимических показателей воды при попадании буровых компонентов. – Газовая промышленность, №6, 1990. — С. 30–38.
5. *Булатов А.И., Левшин В.А., Шеметов В.Ю.* Методы и техника очистки и утилизации отходов бурения. – М.: ВНИИОЭНГ, 1989. — 56 с.
6. *Зоммер Е.А., Королёва Л.А.* Результаты воздействия различных лигносульфонатов на развитие гидробионтов. – Рига: Тр. 1 всесоюзной конф. по рыбохозяйственной токсикологии, 1988. — С. 69.
7. *Король В.В., Позднышев Г.Н., Маньрин В.Н.* Утилизация отходов бурения скважин. Экология и промышленность России, №1, 2005. — С. 40–42.

8. Обоснование инвестиций в строительство полигона утилизации и переработки отходов бурения и нефтедобычи АО «ЛУКОЙЛ-Когалымнефтегаз». Т.1. Общая пояснительная записка. Сургут, 1996.

9. Гасымлы Л.Э., Ибадов И.А., Касумов Ф.К., Исмаилов Н.М. Биоремедиация бурового шлама в процессе химической фиксации // Международный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ, №4(24), 2005. — С. 86–90.

Л.В. Муравьева

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА МОРСКОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В последнее десятилетие формируются новые принципы концепций обеспечения безопасности трубопроводов. В разработке новых концепций безопасности приоритетными, несомненно, являются мероприятия, предупреждающие тяжелые аварии и катастрофы, а также мероприятия, уменьшающие последствия подобных негативных событий. Основное требование концепции безопасности – снижение рисков тяжелых катастроф, вообще говоря, является общепринятым. Требования, предъявляемые к конструктивной надежности подводных трубопроводов, намного выше требований, предъявляемых к подземным и надземным трубопроводам. Это связано с большей агрессивностью среды, со значительными механическими воздействиями, а также сложностью ремонтных работ. Трубопроводы, уложенные по дну моря, находятся под воздействием течений, подвижек морского дна, волнового давления.

Степень повреждения трубопроводов во время землетрясения зависит от целого ряда факторов: силы сейсмического воздействия и направления распространения сейсмических волн, геологических и гидрогеологических условий, эксплуатационно-технологических нагрузок и воздействий, конструкции трубопровода и стыков, характеристик материала труб и опор, степени изношенности трубопровода. Почти всегда после землетрясений аварийность на трубопроводах возрастает, однако службы, эксплуатирующие трубопроводы, по ряду причин не всегда связывают повышение аварийности с происшедшим землетрясением.

Расчет трубопроводов, работающих под давлением, выполняется на основе двухуровневого подхода с целью выполнения следующих требований: трубопровод должен выдерживать воздействие проектного землетрясения при минимальных повреждениях или полном отсутствии таковых, а также трубопровод должен выдерживать воздействие максимального расчетного землетрясения без разрывов.

Методика проверки трубопровода на сейсмостойкость существенно отличается от других конструкций, поскольку для них основную опасность представляют не инерционные нагрузки, а напряжения из-за взаимных перемещений сечений вследствие прохождения через грунт сейсмических волн, сдвига конструкции вместе с окружающим грунтом.

Вертикально стоящая платформа, трубопровод, проложенный по дну моря – при сейсмических подвижных грунтах могут перейти в колебательное движение.

Задача о колебаниях подводных трубопроводов в настоящее время является актуальной, поскольку, как показывает практика, колебания трубопроводов со значительной амплитудой могут привести к усталостному разрушению материала трубы, бетонного или цементного покрытия.

Колебания трубопроводов при обтекании их установившимся потоком жидкости обуславливается переменной во времени и направлении гидродинамической силой, возникающей вследствие срыва вихрей с поверхности трубы. Колеблющийся подводный трубопровод имеет длину, значительно превышающую его диаметр (при меньшей длине колебания трубопроводов не происходят), максимальная амплитуда колебаний также значительно меньше его длины. Поэтому можно считать, что при колебаниях угол между осью трубы и нормалью к ней практически мало отличается от 90° .

Установлено, что колебание трубопровода может происходить как в горизонтальном, так и в поперечном направлении. Причина колебаний — срыв вихрей с поверхности трубы в определенной последовательности с изменением давления на ее поверхности, что и дает силовой импульс, выводящий трубу из статического положения. В докритическом диапазоне чисел Re колебания приближаются к вынужденным, а при критических числах Re — к самовозбуждаемым с собственной частотой.

Поперечные колебания наиболее существенны, они-то и приводят к разрушению трубопровода на размывших участках. В нерезонансной области (при отсутствии явления «захвата» колебаний) при числах Рейнольдса $Re < Re_{кр}$ колебания приближаются по типу к вынужденным. Поскольку амплитуды колебаний в этой области меньше по сравнению с резонансными, при назначении переменных гидродинамических сил P_{yn} ограничиваются двумя слагаемыми:

$$P_{yn} = \frac{1}{2} \left(a \cos kt + \frac{b}{k_n D} \frac{dy}{dt} \right) \rho D v^2. \quad (1)$$

где a , b – определяются аппроксимацией зависимости C_{yn} от относительной амплитуды колебаний. Коэффициент k обозначает круговую частоту колебаний стержня, расположенного в воде, а коэффициент сопротивления k_n , зависит от податливости грунта.

В большинстве имеющихся работ по расчету подводных трубопроводов применяется балочная теория. Экспериментальных работ по проверке напряженного состояния подводных трубопроводов очень мало и достаточного обоснования правомерности применения балочной теории при расчете подводных трубопроводов средних и больших диаметров в настоящее время пока нет, поэтому расчет по балочной теории может быть оправдан только как первое приближение.

Дифференциальное уравнение изгибных колебаний подводного трубопровода, принимая силы сопротивления пропорциональными скорости колебаний и присоединенные массы жидкости равномерно распределенными по длине трубы, можно записать в следующем виде:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + (m + m_{np}) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - N \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \left(\beta_1 - \frac{1}{2} \frac{\rho b v^2}{k_n} \right) \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \rho D v^2 \cos kt. \quad (2)$$

где N — продольная сила в трубопроводе.

Решения уравнения может быть получено в виде разложения в ряд по фундаментальным функциям $X_i(\bar{x})$ соответствующей однородной задачи

$$y_i(x, t) = X_{m,i}(x) T_i(t) \quad (3)$$

где $\bar{x} = x/l$ — относительная длина колеблющегося участка трубопровода. Фундаментальная функция поперечных колебаний стержня (трубопровода) лежащего на грунте

$$X_i(x) = \sin(\mu_i x) + \text{sh}(\mu_i x) - \alpha_i (\cos(\mu_i x) + \text{ch}(\mu_i x)) \quad (3a),$$

где $\mu_i = (2i+1) \cdot \pi/2$ — фундаментальное число, характеризующее i -ю собственную частоту балки.

При исследовании колебаний необходимо проинтегрировать неоднородное уравнение:

$$y(x, t) = \sum_{t=1}^{\infty} X_i(x) T_i(t), \text{ где} \quad (4)$$

$$X_i(x) = A_i \text{ch}(\lambda_i x) + B_i \text{sh}(\lambda_i x) + C_i \cos(\lambda_{i1} x) + D_i \sin(\lambda_{i1} x), \quad (4a)$$

A_i, B_i, C_i, D_i — постоянные, определяемые из граничных условий ($x=0, \bar{x} = 0$; $x=l, \bar{x} = 1$).

Общее решение определяет свободные колебания трубопровода, зависящие от начальных условий. Свободные колебания со временем затухают (и, следовательно, не представляют практического интереса), а остаются лишь вынужденные колебания. Для чисто вынужденных колебаний решение уравнения (2) примет вид

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} f_i X_i(x) \frac{\cos(kt - \varphi)}{\sqrt{(\omega_i^2 - k^2)^2 + \mu^2 k^2}},$$

где

$$f_i = \frac{a \rho D v^2 \int_0^l X_i(x) dx}{2(m + m_{np}) \int_0^l X_i^2(x) dx} \quad (5)$$

В практических расчетах колебаний подводных трубопроводов достаточно ограничиться первой собственной формой ($i = 1$).

На стадии предварительной проработки проекта подводного трубопровода в районе с сейсмичностью 9 баллов, для оценки уровня риска конструкции были выполнены проверочные расчеты сейсмического воздействия, с учетом следующих характеристик: наружный диаметр трубы $D_n = 72$ см; толщина ее стенки $\delta = 2,0$ см; площадь сечения $F = 546$ см²; момент инерции $I = 3,301 \cdot 10^5$ см⁴; модуль упругости металла $E = 2,1 \cdot 10^7$ Н/см²; масса единицы длины трубы $m = 3 \cdot 10^{-2}$ кг/см (с учетом массы заполняющего трубу продукта — природный газ); толщина бетонного покрытия — 10 мм, коэффициент постели грунта при сжатии $k_0 = 10$ Н/см³; скорость потока, обтекающего трубу, $v = 100$ см/с; кинематическая вязкость воды $\nu = 0,01$ см²/с.

Глубины моря по трассе трубопровода изменяется от 1,8 м до 4,5 м. Грунты в основании проектируемого газопровода по сейсмическим свойствам относятся к III категории.

Для оценки напряженного состояния колеблющегося подводного трубопровода необходимо установить величину и основные зависимости сил сопротивления (демпфирование, рассеяние энергии) при колебаниях. Рассеяние энергии при колебаниях подводных трубопроводов складывается из потерь на гидродинамические сопротивления, сопротивление в материале конструкции трубопровода (труба, изоляция, футеровка, бетонное покрытие, балластировка) и потерь в грунт через опоры. В качестве ориентировочной оценки возникновения колебаний подводных трубопроводов можно использовать величину безразмерного параметра демпфирования,

$$\delta = \frac{2m\delta}{\rho D^2} \quad (6)$$

где m — масса единицы длины трубопровода с учетом присоединенной массы жидкости m_{np} , массы изоляции, балластировки и продукта, заполняющего трубу; ρ — плотность окружающей трубопровод воды. Критиче-

ское значение $\delta_{кр}$, выше которого не наблюдается колебаний в направлении потока, равно 1,2. Для колебаний в поперечном к потоку направлении $\delta_{кр}=17$.

Число Рейнольдса $Re = 7,4 \cdot 10^5$, попадает в интервал $2 \cdot 10^5 < Re < 6 \cdot 10^6$, следовательно, колебания будут происходить при критическом режиме обтекания, при котором частота переменной гидродинамической силы определяется числами Струхала $Sh = 0,1 \div 0,4$.

В ходе выполнения исследований по оценке надежности морского магистрального газопровода, при учете сейсмического воздействия, определялось напряженно-деформированное состояние газопровода проложенного в районе с сейсмичностью 9 баллов.

Цель данного исследования является определение области безотказной работы эксплуатируемого трубопровода на основе применения вероятностных моделей и оценки риска.

При расчете конструкции на безопасность и определении области допустимых состояний конструкции определяются статистические показатели надежности. Показателями надежности называют количественные характеристики одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта. На стадии эксплуатации показатели надежности трактуют как характеристики вероятностных математических моделей эксплуатируемых объектов.

В общем случае усилия и несущая способность являются случайными функциями времени, но в рассматриваемой постановке \tilde{R} и \tilde{F} считаются случайными функциями изменения технологических параметров работы конструкции с заданными законами распределения.

Основной задачей вероятностного расчета является вычисление характеристики прочности \tilde{S} . Если принять, что вероятность выполнения неравенства $\tilde{S} = \tilde{R} - \tilde{F} > 0$ есть вероятность неразрушения конструкции, то вероятность разрушения – отказа (превышения границы области допустимых состояний) определяется выражением

$$P_f = \int_{-\infty}^0 P_S(S) dS, \quad (7)$$

где $P_S(S)$ – плотность распределения резерва прочности.

Число стандартов σ_S , укладываемых в интервале от $S=0$ до $S = \bar{S}$, называется характеристикой безопасности:

$$\beta = \frac{\bar{S}}{\sigma(S)} = \frac{R - F}{\sqrt{\sigma^2(R) + \sigma^2(F)}}. \quad (8)$$

Вероятность отказа представляет собой заштрихованную площадь на рис. 1, где изображена плотность распределения резерва прочности.

Соотношение между вероятностью отказа P_f и характеристикой безопасности β может быть представлено, если принять, что \tilde{F} и \tilde{R} подчиняются нормальным законам распределения. Вероятность отказа можно выразить в виде

$$P_f = P(S < 0) = \frac{1}{\sigma_S \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{S}}{\sigma_S} \right)^2 \right] dx. \quad (9)$$

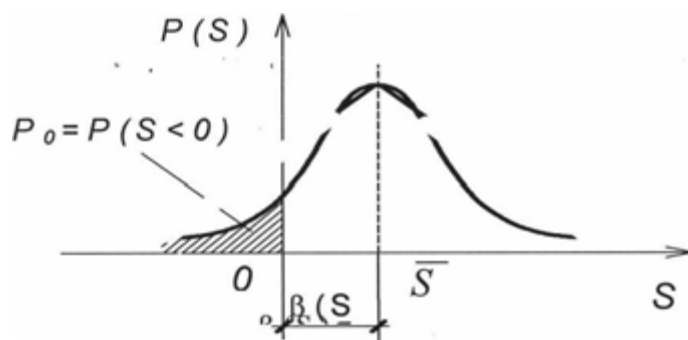


Рис. 1. Плотность распределения случайной величины S

Основной задачей вероятностных расчетов является вычисление вероятности отказа. Условие отказа математически выражается неравенством

$$\tilde{R} - \tilde{F} \leq 0. \quad (10)$$

Геометрическая интерпретация характеристики безопасности приведена на рис. 2.

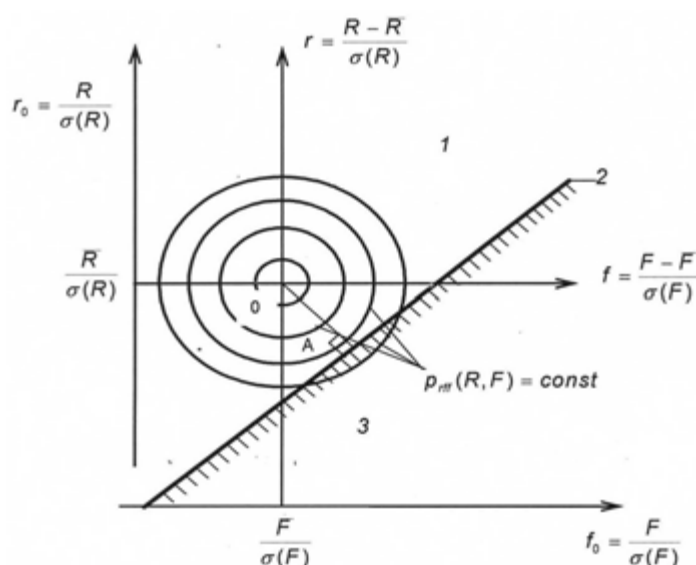


Рис. 2. Граница области допустимых состояний $r_0=f_0=0$:

- 1 – область безотказной работы;
- 2 – граница области;
- 3 – область разрушения

Примером четкого отказа может служить потеря несущей способности статически определимой конструкцией, нечеткого - развитие пластических деформаций или накопление повреждений в элементе трубопроводной конструкции.

Уровень надежности конструкции может характеризоваться либо вероятностью отказа $P_f(T)$ и однозначно связанной с ней дальностью отказа β . В данном случае отказ определяется как случайное событие, влекущее за собой разрушение конструкции трубопровода.

Целесообразный уровень надежности конструкции устанавливается на основании анализа работы и уровня надежности существующих конструкций, анализа последствий аварий (имевших место и моделируемых), а также на основании эффективности использования материальных ресурсов и требований безопасности.

Решение стохастической задачи находится методом статистических испытаний. Расчетная динамическая модель подводного трубопровода – дискретная пространственная модель МКЭ. Вероятностный расчет конструкции проводится методом статистических испытаний по реализациям акселерограмм с использованием стандартного ПК. Выходные случайные параметры – перемещения, усилия и напряжения в трубопроводной конструкции. Получены математические ожидания и дисперсии параметров выхода.

Для численного анализа напряженно-деформированного состояния подводного трубопровода находящегося в водной среде, моделировался канал прямоугольного сечения, имеющий ширину 14 м и глубину от 1,8 до 4,5 м. В канале горизонтально располагается трубопровод наружным диаметром 0,73 м. Ось трубопровода перпендикулярна направлению течения. Длина рассматриваемой расчетной области равна 100 м. При анализе НДС учитывались нормативные нагрузки на трубопровод: избыточное давление транспортируемого продукта 10 МПа, выталкивающая сила морской воды 0,847 кН/м, гидродинамическая сила.

Критериями прочности конструкции трубопровода являются эквивалентные напряжения следует определять по уравнению Мизеса (1).

Эквивалентные напряжения не должны превышать значений: $\sigma_{eq} \leq \sigma_v$ – при проектном землетрясении и $\sigma_{eq} \leq 1,1\sigma_y$ – для максимального расчетного землетрясения (σ_{eq} – эквивалентное напряжение, σ_y – нормативный минимальный предел текучести материала труб).

Допускаемые напряжения в металле труб σ , МПа – 158,85 МПа, при учете коэффициента запаса прочности по пределу по временному сопротивлению металла труб n_T – 2,6.

Нагрузка от сейсмического воздействия принималась распределенной вдоль глобальной оси OY (или OX) –100%. При таком действии сейсми-

ческой нагрузки инерционные силы максимальные. Дополнительно учитывалось также вертикальное направление сейсмической силы (вдоль оси OZ).

Учет сейсмических воздействий рекомендуется производить, используя метод суперпозиции, т.е. путем добавления сейсмических напряжений к напряжениям, вызванным действием статических нагрузок (хотя условность такого подхода в случае возникновения пластических деформаций в трубопроводе очевидна) (2).

Дискретизация расчетной области на КЭ приведена на рис. 3.

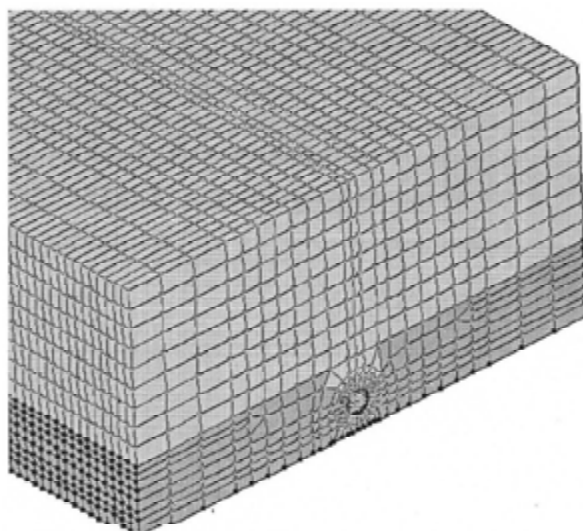


Рис. 3. КЭ-модель канала с трубой

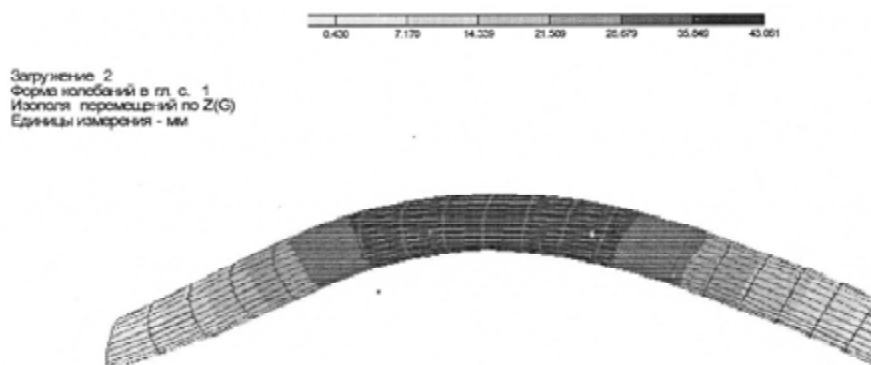


Рис. 4. Первая форма колебаний трубопровода

По результатам моделирования при учете динамического воздействия установлено, что максимальное напряжение составляют 70,85 МПа для трубопровода проложенного в траншее, собственная частота колебаний трубопровода 3,77 Гц (1 форма колебаний), с учетом присоединенной массы воды и сейсмического воздействия. Вертикальное перемещение возникающее на уровне нижней образующей трубопровода $\Delta_z = 0,043$ м, горизонтальное перемещение $\Delta_x = 0,034$ м.

Для расчета долговечности сооружения вычисляется степень сейсмической опасности района строительства. Для комплекта карт АОСР-97 период повторяемости землетрясения интенсивностью $I_{\phi}=9$ баллов 500 лет, что соответствует интенсивности $\Lambda = 1/500$ (лет⁻¹)

Сейсмическая опасность как вероятность превышения интенсивности I_T в течение $T_0=100$ лет хотя бы один раз вычисляется по закону Пуассона.

$$P(T) = 1 - \exp(-\Lambda T). \quad (11)$$

Эту вероятность можно сопоставить с некоторой нормативной вероятностью P_n^* .

$$P(x > a/t) [1 - e^{-\Lambda T}] = P_n^*. \quad (12)$$

Время наработки на отказ, или

$$T = -\frac{1}{\Lambda} \ln \left[1 - \frac{P_n^*}{P_{10}(a)} \right]. \quad (13)$$

Требуемый уровень безопасности сооружения при заданной нормативной вероятности P_n^* и при нормативном сроке службы сооружения T_0 .

$$P_{10}(a)_{\text{тр}} = \frac{P_n^*}{1 - e^{-\Lambda T}} \quad (14)$$

Определение области безотказной работы линейного участка газопровода с заданным уровнем риска, производится в результате анализа графиков областей безотказной работы, построенных по отмеченным точкам отказов.

Этот анализ позволяет выявить следующее:

1) какие параметры являются взаимозависимыми и какова степень зависимости,

2) независимые допустимые пределы изменения каждого параметра.

Типичный комбинированный график областей безотказной работы, показанный на рис. 5, построен по данным расчета. Каждая линия на нем отражает отказ трубопровода, связанный с выбросом за пределы допустимой области Ω_0 , обусловленный изменением группы параметров и любого конкретного параметра.

Таблицы, подготовленные для таких графиков и содержащие пределы изменения параметров, сравниваются между собой и на основе этого сравнения определяется наиболее жесткий предел для каждого параметра. Если производятся некоторые изменения для ослабления очень жестких пределов в случае взаимозависимых параметров, то требуется пере-

смотр всех графиков, чтобы убедиться, что эти изменения не затрагивают другие пределы.

Изучение величин нагрузок вдоль линий отказов с учетом выбранных пределов изменения параметров дает возможность эффективно оценить работу исследуемой конструкции.

В соответствии с существующими нормативными документами повторяемость землетрясений на территории нашей страны, которые могли бы привести к существенным потерям, в сопоставлении с «экономическим» сроком функционирования конкретного магистрального трубопровода, принимаемым равным, 33 годам, весьма мала. Однако не исключены случаи, когда ввиду каких-либо причин (возможного влияния так называемой наведенной сейсмичности) вероятность возникновения сильного землетрясения будет более высокая.

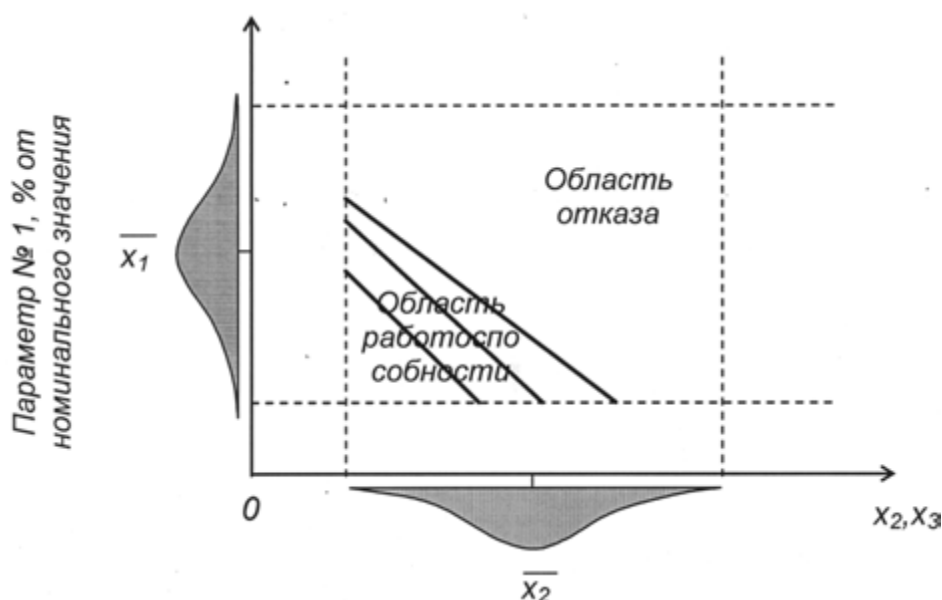


Рис. 5. Комбинированный график областей безотказной работы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы проектирования и строительства морского газопровода. ВН 39-1.9-005-98. М.: ОАО «Газпром», 1998.
2. Николаенко Н.А., Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений. М.: Стройиздат, 1988.
3. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб.: Наука. 1998. — 255 с.
4. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика. Под ред. Коренева Б.Г., Рабиновича И.М.: М.: Стройиздат, 1981.
5. Муравьева Л.В., Овчинников И.Г., Пшеничкина В.А. Оценка надежности трубопроводной конструкции с эксплуатационными повреждениями. Саратов, 2004. — 256 с.

К.К. Мухамбеткалиев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РОЛИ ВЛИЯНИЯ pH-ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

Известно, что в глинистых минералах возможно увеличения образования фазовых контактов за счет механического и физико-технического воздействий (высокого давления и повышенных температур) [1]. Глинистые минералы являются слоистыми силикатами нанометрового диапазона (длина около 200 нм, ширина около 1 нм), специфичны по характеру состава, не совместимы с полимерами и одновременно способны образовывать протяженные гидратные оболочки, причем тонкодисперсная часть глин, активно вступая в физико-химическое взаимодействие с минералами цемента, замедляет процессы гидролиза и гидратации цемента. Основная причина – высокая катион-обменная способность глинистых минералов [4].

Монтмориллонит относится к алюмосиликатной группе слоистых силикатов. За счет внутренних сил слоистые глинообразующие минералы по своей природе, склонны к внутрипакетной сорбции воды и самодиспергированию [2]. Управление структурой и свойствами прессованных изделий из глинистого сырья достигается путем рационального использования внутренних сил дисперсной системы, которые зависят от состояния связанной воды у поверхности минерала. Существующие активные центры на внешней и внутренней поверхности минералов (количество активных центров обменных катионов и прочносвязанной с ними молекул воды), расположенные на внутренней поверхности монтмориллонита примерно в 5 раз больше, чем на внешней поверхности.

Электростатическая нескомпенсированность вблизи активных центров характеризуют проявление внутренней поверхностной энергии. Величина поверхностной энергии глинистых частиц взаимосвязана pH водной среды, и ее увеличение свидетельствует о процессе их самодиспергирования [3]. В работе [4] установлено диспергирующее действие катионов Na^+ на частицы монтмориллонита и увеличение межпакетного пространства, что определяет его более высокие адсорбционные свойства.

Также, поверхностные тонкие водные пленки на поверхности высокодисперсных глинистых частиц позволяют задействовать в процессе структурообразования дополнительные силы адсорбционной воды, что выражается в повышении прочностных характеристик.

Поэтому, дальнейшей задачей исследования являлось установление роли продуктов электрохимической активации (ЭХА) водно-солевых растворов и добавки ацетоноформальдегидной смолы (АЦФ) на изменение значения рН-фактора глинистого глиноцементного сырья (соотношение Г:Ц=90:10 по массе). По химическому составу электрохимически активированная вода представляет собой слабые электролиты, в которых присутствуют такие активные компоненты: Cl_2 , $HClO$, HCl – в анолите; $NaOH$, O_2^- , HO_2^- , OH^- , O_2^{-2} – в катодите, способствующие образованию различных соединений.

В экспериментах использовали следующие материалы: глинистое сырье Елшанского месторождения Саратовской области (минералогический состав в %: монтмориллонит – 25, хлорит – 15, каолин – 10, гидрослюда – 10, кварц – 29, кальцит – 7, полевой шпат – 2, прочие минералы – 2); водопроводную воду, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 23732-79; продукты ЭХА обработки водно-солевых растворов хлорида натрия (пищевая соль ГОСТ Р 51574-2000) с минерализацией 5 г/л, полученные на установке СТЭЛ-4Н – анолит (рН = 4-5, ОВП = +800...+1200 мВ, х.с.э.) и катодит (рН = 12, ОВП = –700...–820 мВ, х.с.э.); портландцемент М400 Д0 производства ОАО «Вольскцемент», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178-85; ацетоноформальдегидную смолу (АЦФ – 3М ТУ 6-05-221-122-78) с плотностью 1,12 г/см³. Глинистое сырье, цемент и кварцевый песок по значениям эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) природных радионуклидов не превышают установленных в требованиях СП 2.6.1.758-99 и ГОСТ 30108-94 предельных значений.

Значения рН-показателей определялись потенциометром «Аквилон», рН-410, в качестве буферного раствора применяли 5% раствор хлорида калия и хлорсеребряный электрод сравнения. В качестве водных растворов использовали дистиллированную воду, продукты ЭХА обработки водно-солевых растворов (анолит и катодит). В качестве объекта исследования использовали водные вытяжки из глинистых и глиноцементных составов. Определение рН-показателей проводили по методике ГОСТ 17.5.4.01-84.

В результате установлено изменение рН образцов экспериментальных составов. Продуктами ЭХА обработки водно-солевых растворов можно направлено воздействовать на активные центры поверхности частиц. Механизм модифицирующего воздействия ЭХА растворов на поверхность частиц глины заключается в изменении внутренних сил дисперсной системы, за счет обмена катионами Na^+ , увеличения межпакетного пространства. Растворы катодита диспергируют глинистые частицы, выражающиеся в повышении значений рН среды.

Снижение рН дисперсной системы при введении добавки АЦФ-смолы обуславливается адсорбционными свойствами глинистой компоненты, что взаимодополняет имеющиеся данные РФА, ДТА и ИК-спектроскопии [5]. Адсорбция АЦФ на поверхностях глинистых частиц определяется соответ-

ствием характеров функциональных групп адсорбата и адсорбента [6]. Глинистые минералы, как адсорбент, отличаются обилием поверхностных силанольных групп, способных участвовать в донорно-акцепторных взаимодействиях с метилольными группами АЦФ по типу водородной связи.

Полученные результаты были использованы при разработке оптимального состава безобжиговых модифицированных глиноцементных композитов: 10% ПЦ от массы глины, кварцевый песок 20%, $M_k=1,5$, давление прессования 20 МПа, добавка АЦФ – 3% от массы ПЦ, $V/T=0,14$ вода затворения – католит. На основе разработанных составов на базе АО «Западно-Казахстанская корпорация строительных материалов» в г. Уральске была изготовлена опытная партия безобжигового модифицированного глиноцементного кирпича полусухого прессования. Изделия удовлетворяют требованиям ГОСТ 6133-99 для стеновых материалов по показателям прочности, морозостойкости и водостойкости. Экономический эффект от внедрения результатов исследований составил порядка 8 млн. рублей при производстве 5 млн. условного кирпича в год (в базисных ценах 2008 года).

Разработанные составы модифицированных безобжиговых глиноцементных композиций обладают стабильными физико-механическими характеристиками, позволяющие использовать их в строительстве малоэтажных жилых и сельскохозяйственных зданий.

При дальнейшем изучении безобжиговых модифицированных глиносодержащих композитов необходимо установить закономерности структурообразования исследуемых систем на глинистом сырье различного минерального состава, оценить роль влияния минералогического состава, вида и количества минеральных добавок на эффективность описанного способа модификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Масленникова И.С.* Новый метод улучшения свойств глинистых грунтов. – СПб.: Недра, 1993. — С. 50.
2. *Суслов А.А.* Влияние химических добавок на процессы прессформования и свойства керамических изделий // Сборник докладов материалов VI академических чтений РААСН. Иваново, 2000. — С. 515.
3. *Шмитько Е.М.* Управление плотностью прессованных материалов путем рационального, использования потенциала поверхностных и капиллярных сил // Строительные материалы, №8, 1993. — С. 26–29.
4. *Тарасевич Ю.И.* Строение и химия поверхности слоистых силикатов. – Киев: Наукова думка, 1988. — 248 с.
5. *Мухамбеткалиев К.К., Иващенко Ю.Г.* Полифункциональный модификатор глиноцементных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. Шухова. Сер.: Строительство и архитектура, №3, 2010. — С. 40–44.
6. *Дистлер Г.И.* Дальнодействие поверхностных сил твердых тел. - В кн. Исследования в области поверхностных сил. М.: «Наука», 1967. — 280 с.

Ю.И. Олянский, С.И. Махова, Т.М. Тихонова, О.В. Киселева

ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Лессовые грунты широко распространены на территории России. Они встречаются в Белгородской, Воронежской, Брянской, Ростовской областях, Ставропольском и Краснодарском краях, среднем и южном Поволжье, на юге Западной Сибири, Алтае и в некоторых других регионах. Лёссовые породы – специфический с инженерно-геологических позиций тип природных образований. Эта специфика обусловлена низкой их водопрочностью и, главное, просадочностью, или способностью резко снижать свою пористость (объём) под нагрузкой при замачивании толщи. В результате просадки поверхность грунтового массива опускается, сооружение, возведённое на нём, деформируется. Современный этап инженерно-геологического изучения лёссовых грунтов характеризуется целенаправленной разработкой широкого круга вопросов: генезис и возраст лёссовой толщи; особенности циклического строения лёссовой толщи; мощность просадочной части толщи и её общая мощность; генезис и возраст просадочности; тип изменения просадочности лёссовой толщи по глубине и целый ряд других вопросов.

Основная цель инженерно-геологических изысканий в районах распространения лёссовых грунтов заключается в обеспечении проектирования необходимой и достаточной информацией об инженерно-геологических условиях территории строительства, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений. Инженерно-геологическая оценка территории включает оценку и прогноз изменения следующих компонентов: физико-географической обстановки (климат, рельеф, орогидрография); геологического строения; гидрогеологических условий; состава, строения и свойств грунтов; физико-геологических процессов и явлений. Состав и объём инженерно-геологических изысканий устанавливаются в соответствии со сложностью инженерно-геологических условий, стадией проектирования и характера проектируемого объекта. Детальность характеристики компонента инженерно-геологических условий находится в зависимости от цели и стадии проектирования. Так для составления проекта городской планировки особое внимание уделяется выявлению и локализации опасных физико-геологических процессов. На стадии рабочих проектов и рабочей до-

кументации предприятий, зданий и сооружений основное внимание уделяется оценке состава и свойств грунтов массива, определению нормальных условий эксплуатации сооружения, а также прогнозу их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

Инженерно-геологические изыскания – всегда ответственная работа, от полноты и качества которой зависит стоимость проекта, эффективность строительства и безаварийная эксплуатация построенного сооружения, а также последующая его реконструкция и ликвидация. Современное проектирование военных и народнохозяйственных объектов предъявляет высокое требование к своевременности, информативности и достоверности материалов инженерно-геологических изысканий на территориях сложенных лёссовыми просадочными грунтами. Отсутствие таких материалов исключает возможность вариантного проектирования, что приводит к удорожанию проекта и строительства, не даёт должной гарантии надёжной эксплуатации сооружения. Деформация зданий и сооружений на Атоммаше, построенном на лёссовых просадочных грунтах большой мощности, красноречивый пример проектирования и строительства крупного объекта в условиях отсутствия опережающей и достоверной информации об инженерно-геологических условиях территории строительства.

Главными задачами, которые инженер-геолог решает при выполнении инженерно-геологических изысканиях на площадке сложенной лёссовыми грунтами, являются следующие.

а) Изучение мощности и площади распространения лёссовых грунтов. Это достигается проходкой горно-буровых выработок на всю мощность лёссовой толщи (склонной к просадке) независимо от типа, вида, этажности проектируемого сооружения.

б) Определение возможной просадки от собственного веса грунта и мощности просадочной толщи. Вся вскрытая лёссовая толща опробывается отбором образцов грунта ненарушенного сложения (монолитов). Причём по разрезу должны быть опробованы все литологические виды лёссового грунта. Интервал опробования не должен превышать 2,0 м. Из отобранных монолитов выполняют компрессионные испытания по методам: «одной кривой» для определения просадки толщи от собственного веса и «двух кривых» – для изучения величины просадочности при различных давлениях на грунт. В отдельных случаях для определения просадки толщи от собственного веса выполняют замачивание опытных котлованов. Последний метод используется, в основном, при изучении провальнo-просадочных грунтов. Для других он малоэффективен из-за необходимости чрезвычайно длительного проведения опыта (до 1 года).

в) Определение начального просадочного давления лёссовых грунтов. Для этой цели используются результаты компрессионных испытаний по методу «двух кривых». Строятся графики зависимости начального про-

садочного давления от глубины. Одновременно рекомендуется выполнить опытное (полевое) изучение грунтов штампом площадью 5000 см^2 по схеме «двух кривых». Это позволит изучить значение начального просадочного давления в натуральных условиях и рассчитать корректировочные коэффициенты перехода от лабораторных испытаний к натурным.

При изучении лессовых оснований особая роль принадлежит оценке величины послепросадочного уплотнения, которая может достигать у некоторых типов лессовых отложений 100% и более относительно просадочности определенной по гостированной методике. Такие исследования выполняются в компрессионных приборах в условиях длительной фильтрации воды через образец грунта (не менее 30 суток). Полученные результаты позволят откорректировать величину относительной просадочности и начальное просадочное давление, что даст возможность прогнозировать величину просадки сооружений с большей достоверностью.

г) Определение начальной просадочной влажности. Такие исследования проводятся в одометрах. Целесообразность их должна быть обусловлена характером проектируемого объекта и режимом его эксплуатации.

д) Определение прочностных характеристик лёссового просадочного грунта. К прочностным характеристикам относятся; удельное сцепление и угол внутреннего трения. Эти данные получают методом испытаний грунтов на срез в сдвиговых приборах. Испытание образцов грунта выполняется после их водонасыщения в одометре без возможности набухания при вертикальных нагрузках: 0,05–0,15 (МПа). Для обеспечения проектировщика данными для проектирования противопросадочных мероприятий определяют прочность образцов грунта уплотнённых до $\rho_d = 1,65 \text{ г/см}^3$ при вертикальных нагрузках 0,1–0,2–0,3 МПа, испытания проводятся по методу неконсолидированного среза.

е) Определение модуля деформации. Изучение сжимаемости осуществляется по результатам компрессионных испытаний – графикам зависимости деформации от нагрузки. Для расчётов используют прямолинейные участки графиков в интервале нагрузок 0,1–0,2 (МПа). Кроме того, модуль деформации рассчитывается по данным статических нагрузок на штамп площадью 5000 см^2 в шурфах. Это даёт возможность получить корректировочные коэффициенты для перехода от компрессионных испытаний к натурным опытам.

ж) Определение оптимальной влажности уплотнения лёссового грунта. Эти данные используются при проектировании уплотнения лёссовых грунтов различными методами. Рассчитывается оптимальная влажность по результатам специальных лабораторных опытов.

з) Характеристика участка по потенциальной подтопляемости. Эти сведения являются чрезвычайно важными. Они призваны дать прогноз изменения уровня подземных вод на участке после строительства в про-

цессе эксплуатации территории и объекта. В зависимости от прогнозируемого изменения уровня подземных вод выбираются противопросадочные мероприятия, мероприятия по устройству гидроизоляции подземных частей здания, а также определяется категория грунтов по сейсмическим свойствам (в сейсмических районах).

и) При разработке мероприятий по технической мелиорации лёссовых грунтов (улучшению их свойств) по специальному заданию могут выполняться следующие исследования: определение гранулометрического и микроагрегатного состава лессового грунта, изучение химического состава водных вытяжек, определение ёмкости поглощения и состава обменных катионов, минеральный состав (по фракциям), определение коэффициента фильтрации (в вертикальном и горизонтальном направлениях и др.

к) Изучение опыта строительства на просадочных грунтах в регионе.

Выявляются все деформации сооружений на лессовых основаниях. Систематизируются и анализируются причины деформаций. Это позволит оценить эффективность противопросадочных мероприятий и выбрать наиболее оптимальный вариант борьбы с просадочностью для конкретных инженерно-геологических условий.

Изучение лёссовых толщ и грунтов строительной площадки в таком объёме призвано полностью обеспечить проектирование качественной инженерно-геологической информацией, необходимой для принятия обоснованных проектных решений.

В.А. Перфилов, М.О. Зубова, Д.Л. Неизвестный

ФИБРОБЕТОНЫ С БАЗАЛЬТОВЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРАМИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Для дорожного, мостового и аэродромного строительства, а также при изготовлении сборных и монолитных железобетонных изделий и ограждающих конструкций нашли применение бетонные смеси с использованием макроупрочнителей в виде стальных фибровых волокон. При этом по сравнению с обычными тяжелыми бетонами достигается значительное увеличение прочности на растяжение при изгибе. Однако введение в бетонную смесь дорогостоящей стальной фибры приводит к снижению удобоукладываемости и значительному повышению себестоимости изготовления изделий и конструкций из фибробетона.

Для более широкого внедрения фибробетонов, которые отвечали бы требованиям современного строительства необходимо производить под-

бор оптимальных составов с минимальным расходом дорогостоящего макроупрочнителя, использовать различные модификаторы и совершенствовать технологию приготовления бетонной смеси.

Задачей научных исследований является повышение эффективности процесса приготовления модифицированной бетонной смеси, направленное на увеличение ее прочности за счет использования компонентов, упрочняющих структуру фибробетона на макро- и микроуровнях.

При изготовлении фибробетонов в качестве вяжущего использовался портландцемент М500 Д0 Старо-Оскольского цементного завода. В качестве заполнителя применялся кварцевый песок Орловского карьера.

Для повышения прочности и трещиностойкости фибробетона на макроуровне и снижения расхода дорогостоящей стальной фибры применялась дисперсная арматура в виде базальтового волокна диаметром 13–17 мкм и длиной 6–12 мм с прочностью на растяжение до 2000 МПа. Расход базальтовой фибры не превышал $1,0 \text{ кг/м}^3$, что составляет не более 165 рублей на 1 м^3 смеси.

В качестве модифицирующей добавки использовали современные суперпластификаторы. К ним относятся: «Д-11», «Sika plast», «Sika VC», «Мурапласт», «Супранафт», «Полипласт СП-3», «Полипласт СП-4», «С-3».

Расход суперпластификаторов составлял 0,5 % от массы портландцемента. Расход фибровых базальтовых волокон составлял: 0,6; 0,8 и $1,0 \text{ кг/м}^3$.

Для определения влияния различных суперпластификаторов и базальтовых волокон на механические свойства фибробетонов готовили по стандартной методике из равноподвижных смесей образцы-балочки размером $40 \times 40 \times 160 \text{ см}$, твердеющие в естественных условиях. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Анализ экспериментальных данных показывает, что применение базальтовых волокон с расходом до 1 кг/м^3 не приводит к увеличению прочности при изгибе по сравнению с эталонными (без фибры) образцами, у которых были предварительно получены аналогичные фибробетонам результаты. Однако прочность на сжатие у фибробетонных образцов по сравнению с эталонами в среднем возросла на 20–25%. Наилучшие показатели прочности на сжатие были получены у образцов с добавками суперпластификаторов: «Sika VC» и «Полипласт СП-4».

Таблица 1

Суперпластификаторы	Sika plast	Sika VC	Мурапласт	Супранафт	СП-3	С-3	СП-4	Д-11
Расход фибры 1 кг/м ³								
Прочность при изгибе	2,2	2,4	2,2	3,1	2,7	2,2	3,7	2,5
	2,3	2,4	2,3	2,3	2,6	2,9	2,5	2,7
	2,1	2,4	2,6	2,6	3,1	2,7	2,2	2,1
Расход фибры 0,8 кг/м ³								
Прочность при изгибе	4,0	2,6	2,4	2,5	2,1	3,3	2,7	2,5
	3,4	2,9	2,3	3,3	3,0	2,4	2,6	2,4
	2,8	2,2	2,4	2,1	2,2	2,4	3,0	2,3
Расход фибры 0,6 кг/м ³								
Прочность при изгибе	2,5	2,3	2,8	2,5	2,3	3,1	3,2	1,9
	2,2	2,9	2,5	2,7	2,5	2,8	3,2	4,2
	2,4	2,1	1,9	2,4	2,9	2,7	3,4	2,6
Расход фибры 1 кг/м ³								
Прочность при сжатии $R_{ср.}$	41,40	64,07	35,58	41,47	50,76	42,48	56,87	45,36
	34,86	41,40	46,80	47,16	52,93	54,01	49,68	51,12
	40,68	45,72	43,20	49,32	47,52	48,60	55,09	43,20
	39,24	59,03	32,13	47,92	52,21	54,37	59,39	50,76
	41,40	51,12	41,40	48,24	47,92	53,65	54,37	45,00
	43,56	68,75	38,88	49,68	54,01	59,75	55,09	44,64
	40,19	55,01	39,66	47,30	50,90	52,14	55,08	46,68
Расход фибры 0,8 кг/м ³								
Прочность при сжатии $R_{ср.}$	32,34	51,48	43,92	45,72	51,85	47,16	52,93	42,48
	31,14	55,09	30,90	42,12	42,48	54,73	59,75	46,08
	45,72	48,96	34,50	38,88	48,60	48,96	60,11	38,16
	34,86	48,96	35,94	47,16	53,65	42,84	51,12	43,20
	40,32	55,09	45,72	39,24	51,84	46,80	57,95	40,32
	44,28	54,01	43,56	42,84	57,23	44,64	55,09	41,76
	38,11	52,26	39,09	42,66	50,94	47,52	56,16	42,0
Расход фибры 0,6 кг/м ³								
Прочность при сжатии $R_{ср.}$	33,06	49,68	42,12	32,70	46,44	43,20	56,51	47,92
	34,14	42,12	39,24	24,78	44,64	47,16	43,92	35,58
	29,46	41,40	39,96	43,20	41,76	45,72	46,08	43,92
	35,22	53,65	40,32	42,48	42,84	43,20	50,76	47,52
	35,22	40,68	36,30	36,66	47,16	50,40	53,29	41,40
	37,80	43,56	45,00	38,52	38,52	48,24	51,49	43,92
	34,15	45,18	40,49	36,39	43,56	46,32	50,34	43,38

В.А. Перфилов, А.В. Котляревская

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПЕНОБЕТОНОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что бетоны, упрочненные полимерными и базальтовыми волокнами, имеют высокие значения физико-механических характеристик. Армирование высокодисперсными волокнистыми наполнителями позволяет компенсировать главные недостатки обычного бетона – низкую прочность при растяжении и хрупкость разрушения (трещиностойкость). Применение высокодисперсных волокнистых наполнителей в цементных бетонах оказывают положительное влияние на процессы структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства бетона. Это достигается за счет улучшенной адгезии волокон к цементной матрице, сравнительно высокой прочности и модуля упругости волокон, их стойкости по отношению к щелочной среде [1].

Задачей научных исследований является увеличение прочности на растяжение при изгибе пенобетонов с использованием полимерных и базальтовых дисперсных волокон, а также высокоэффективных суперпластификаторов.

При изготовлении пенобетонов подбор составов осуществляли по разработанной компьютерной программе ЭВМ [2].

В качестве связующего использовался портландцемент М 500 Д0 Старо-Оскольского цементного завода. В качестве заполнителя применялся кварцевый песок с модулем крупности 1,8–2,0. Для повышения прочности (особенно на растяжение) пенобетонов на микроуровне применялась дисперсная арматура в виде тончайшего строительного микроармирующего волокна (ВСМ) диаметром 20–50 мкм и длиной 3–18 мм с прочностью на разрыв до 500 МПа, производимого по ТУ 2272-006-13429727-2007, а также в виде базальтового волокна диаметром 13–17 мкм и длиной 6–12 мм с прочностью на растяжение до 2000 МПа. Расход фибровых волокон составлял 0,9 кг/м³.

Применение полимерных и базальтовых волокон-фибр способствует на стадии перемешивания образованию реологически однородной смеси с высокой пластичностью и нерасслаиваемостью. После затвердевания полученный фибропенобетон имеет пространственно армированную микроструктуру цементного камня, препятствующую образованию усадочных трещин.

Создание пористой структуры ячеистых бетонов осуществлялось путем применения пенообразователя ПБ-2000 в соответствии с ТУ 2481-185-05744685-01.

В качестве суперпластификатора использовалась поверхностно-активная добавка «Полипласт СП-4» по ТУ 5745-026-58042865-2007. Эта добавка относится к классу суперпластификаторов и обладает пластифицирующим – водоредуцирующим, снижающим водоцементное отношение, действием. Представляет собой водорастворимый порошок темно-коричневого цвета – смесь сополимеров на основе нафталинсульфо кислоты. Применение данного суперпластификатора до 1,5 раз увеличивает сцепление бетона с различными наполнителями. Добавка не нарушает пассивного состояния стальной арматуры в бетоне. Расход суперпластификатора составлял 0,5 % от массы цемента.

Для экспериментальной проверки сырьевой смеси, приготовленной стандартным способом, изготовили по стандартной методике образцы-балочки размером 40×40×160 мм, твердеющие в естественных условиях. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что введение в сырьевую смесь дисперсной арматуры из полимерных волокон ВСМ, суперпластификатора «Полипласт СП-4» способствует увеличению прочности на растяжение при изгибе по сравнению с эталонным составом без суперпластификатора и волокнистых наполнителей на 25,1%. Применение в качестве наполнителей базальтовых фибровых волокон и указанного суперпластификатора способствовало увеличению прочности на растяжение при изгибе на 23,0%. Плотность испытываемых образцов на полимерной и базальтовой фибре составляла 570–664 кг/м³.

Для снижения плотности пенобетона в качестве заполнителя также использовали керамзит фракции до 5 мм. В результате прочность на растяжение при изгибе пенобетона на полимерных волокнах и суперпластификаторе «Полипласт СП-4» при плотности 520 кг/м³ по сравнению с эталонными образцами была выше на 24,1%.

Таким образом, использование суперпластификатора «Полипласт СП-4», а также дисперсной арматуры из полимерных и базальтовых волокон способствует увеличению прочности пенобетонов при улучшенной удобоукладываемости бетонной смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перфилов В.А., Аткина А.В., Кусмарцева О.А.* Фибробетоны с высокодисперсными волокнистыми наполнителями // Международная научно-практическая конференция «Малоэтажное строительство» в рамках Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области», Волгоград, ВолгГАСУ, 2009. — С. 89–91.

2. *Перфилов В.А., Митяев С.П.* Расчет фибробетона с нанодобавкой // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612195, от 29.4.2009 г.

В.А. Перфилов, И.Г. Лукина

УТИЛИЗАЦИЯ БУРОВОГО ШЛАМА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КИРПИЧА ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В процессе добычи нефти вместе с выбуренной породой извлекается буровой шлам, включающий большое количество химических соединений, используемых для приготовления строительных материалов. Отработанный буровой шлам, являясь отходом нефтедобычи, оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Его запасы, складываемые в незащищенные отвалы, составляют тысячи тонн. Поэтому утилизация бурового шлама является актуальной задачей научных исследований.

Произведен предварительный анализ фазового, гранулометрического и компонентного состава бурового шлама, извлеченного из глубины 3100 метров сухопутной скважины в районе Астраханской области. Установлено, что около 80% бурового шлама составляют глины, в небольших количествах известьсодержащие, металлические и другие органоминеральные компоненты.

Разработка составов для получения кирпича полусухого прессования и определение физико-механических свойств проводилось в соответствии с техническими требованиями ГОСТ: 4.210, 7484, 7025, 530.

Отходы бурового шлама представляют собой минеральные вещества шоколадного от светлоричного до темнокоричного цветов. Они высокодисперсны, высокопластичные, имеют слоистую структуру с пластинчатыми включениями органических компонентов. Влажность бурового шлама при извлечении составляла 55–60%.

Примерный химический состав бурового шлама обусловлен минералогическим составом, количеством и составом примесей.

Буровой шлам содержит:

SiO_2 – 52,3%, Al_2O_3 – 14,5%, CaO – 3,7%, MgO – 2,3%, K_2O – 2,2%, Na_2O – 0,8%, Fe_2O_3 – 7,5% и др.

Были определены основные физико-технические свойства бурового шлама:

- насыпная плотность в рыхлом состоянии: 1,15 г/см³;
- насыпная плотность в уплотненном состоянии: 1,32 – 1,34 г/см³;
- коэффициент уплотнения: 1,2;
- коэффициент усушки: 1,1;
- огневая усадка при температуре 950–1050⁰С соответственно: 8,7–14,3%.

В результате определения химического и компонентного состава бурового шлама установлена возможность его использования для производства кирпича полусухого прессования.

Добавки, вводимые при подборе составов формовочных масс – отощающие:

- песок кварцевый речной мелкий, модуль крупности < 1,9;
- песок кварцевый речной, просеянный через сито 0,63 мм;
- шамот дробленый, просеянный через сито 0,63 мм.

Подготовка сырья и изготовление образцов осуществлялась в следующей последовательности:

1) буровой шлам высушивался в сушильном шкафу при температуре 105 – 110⁰ С в течение 16 часов;

2) высушенный шлам измельчался в металлической ступке и просеивался через сито 0,63 мм;

3) из навески (с добавками и без них) приготавливалось полусухое тесто с содержанием воды – 10–15% от массы шлама. Шлам и добавка перемешивались в сухом состоянии, а затем вводилась вода затворения. Время перемешивания с водой составляло 5–7 минут – до получения однородного состояния.

Подготовленная масса укладывалась в пресс – форму, которая устанавливалась на плиту пресса мощностью 125 тонн и производилось прессование массы под давлением 200 кгс/см² в течение трех минут. Затем с помощью пуансона запрессованный образец освобождался от пресс-формы. Размер экспериментальных образцов составлял 4,0×6,0×4,5 (см). Всего было изготовлено, а затем испытано 6 образцов.

Сушка изготовленных образцов проводилась в сушильном шкафу при температуре 105–110⁰ С до приобретения образцами 1–2% влажности.

После охлаждения образцов до комнатной температуры производился их обжиг в электрической печи по режиму 4+(1–2) +5 часов. Температура выдержки образцов составляла 950⁰С в течение 1–2 часов. Охлажденные до комнатной температуры образцы подвергались физико-механическим испытаниям.

Испытания образцов проводились в соответствии с техническими требованиями ГОСТ: 4.210, 7484, 7025, 530. Морозостойкость образцов определялась ускоренным методом с помощью прибора «Бетон-фрост».

Заключение

В результате проведения предварительных научных исследований установлено, что извлеченный из скважины глубиной 3100 м буровой шлам является пригодным для получения кирпича полусухого прессования различных марок. Варьируя составами, можно получить следующие марки кирпича: 50, 75, 100.

А.М. Пичугин, В.Ж. Бареев, М.О. Батин

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Новосибирский государственный аграрный университет

Одним из важнейших элементов животноводческого помещения как системы, является конструкция пола в местах отдыха животных. С полом происходит непосредственный контакт у животного. От качества пола зависит здоровье, чистота кожного и шерстяного покрова коров, а следовательно, бактериальная и механическая загрязнённость молока. Содержание животных на холодных полах и сырых полах является одной из основных причин простудных заболеваний. Теплопотери через пол могут достигать 465 Вт/м поверхности тела животного. Для восполнения этих потерь животным приходится расходовать большее количество энергии, что приводит к увеличению расхода кормов, и, следовательно, себестоимости продуктов животноводства. Одним из важнейших свойств пола является его водопоглощение. От влажности пола значительно зависит его теплофизические характеристики (например, влажность образцов покрытий полов, находящихся в эксплуатации, может быть; бетона 6–10%; кирпича 10–20%; древесины 20–55%). Кроме того, в водонепроницаемых полах могут сохраняться и размножаться возбудители многих опасных заразных заболеваний, а их дезинфекция практически невозможна, поэтому часто приходится удалять не только пол, но и грунт на достаточную глубину. Из этого следует, что полы должны иметь минимальное водопоглощение и способность легко и эффективно дезинфицироваться.

В настоящее время в животноводческих помещениях применяют, в основном, деревянные, бетонные, асфальтовые, кирпичные полы и полы из грунтовых материалов. Самые распространённые – деревянные полы. Существуют различные типы этих полов. Дощатые полы по глиняному основанию представляют собой настил досок, прибитых к лагам, втпленным в подготовку из утрамбованного слоя глины. Подготовка должна быть значительной глубины и тщательно утрамбованной. Толщина досок должна быть не менее 40 мм. Эти полы имеют существенные недостатки: срок службы их не превышает 2–3 лет, а частичный ремонт начинается через несколько месяцев после начала эксплуатации, они требуют большого расхода древесины хвойных пород.

Авторами была поставлена задача разработки и получения коррозионностойких тёплых полов из древесины, обладающих повышенной долговечностью и отвечающих современным требованиям сельскохозяйственной и строительной науки и практики. Такие результаты можно было получить при разработке технологии модификации древесины и последующего использования её для устройства деревянных полов животноводческих помещений. При этом, под модификацией понимается пропитка древесины жидкими олигомерами и мономерами с последующим их отверждением в порах материала, в результате чего образуется новый композиционный материал, обладающий комплексом ценных свойств превосходящих свойства исходного материала.

В качестве исходного материала использовалась древесина берёзы и осины. Из необрезных досок, высушенных до влажности 12–18%, выпиливались заготовки настила полов размером 40×120+150×1960 мм лаги 40×70×70×3000 мм и шашки 120×120×200 мм.

Пропитывающие составы разработаны на основе использования малотоксичных фенолформальдегидных смол и фенолоспиртов с содержанием свободного формальдегида до 0,04% и фенола до 0,096%. Вязкость полимерных композиций составляла 12–15 с по вискозиметру ВЗ ~4; пропитка досок пола и торцовых шашек была сквозной. Количество отверждённого модификатора в древесине при сквозной пропитке составляла не менее 20–30%, при поверхностной пропитке 15–20%. Режимы пропитки длинномерной древесины для дощатых полов включают операции создания вакуума и избыточного давления. Термообработка пропитанной древесины включала операции подсушки материала до влажности 12% и отверждения модификатора в древесине при 70–110°C. Некоторые партии образцов прогревались при 150°C. Время термообработки 2–4 часа в зависимости от принятых размеров деталей пола. Для предотвращения коробления длинномерных заготовок пола в процессе модификации и с целью сокращения операций по их перекладке, проведения более жёстких режимов термообработки древесный материал укладывался в специальные кассеты с самоподжимающим устройством. Для сокращения времени пропитки детали пола перед пропиткой прогревались до температуры 80–90°C.

Контрольные испытания показали, что в результате модификации увеличились прочностные свойства пола. Уже при 15–18% содержание полимера в 1,2–1,3 раза возрастает твёрдость, в 1,15–1,2 раза – прочность древесины пола.

Определение стойкости модифицированной древесины к агрессивным воздействиям животноводческих помещений показали, что полимер, заполняя структуру древесины, резко ограничивает рост мицелия вглубь пропитанного элемента, снижает скорость и уровень увлажнения древесины, повышает её огнестойкость, атмосферостойкость и химическую

стойкость так, у образцов берёзы, пропитанной до 20%-го насыщения полимером, потеря массы после их выдержки в течение 2 месяцев над культурной наиболее распространённого вредителя древесины – плёночного домового гриба – составила 5,6%. В то время как натуральная древесина потеряла около 50% массы. При ускоренных испытаниях на атмосферостойкость более чем в 1,5–2 раза снижается водо- и влагопоглощение, а также разбухание модифицированной древесины. Замедленная диффузия водных растворов и низкая скорость набухания древесины, пропитанной полимерами, обуславливает её повышенную стойкость к агрессивным воздействиям животноводческих помещений.

А.М. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.С. Денисов, В.Ж. Бареев

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ГРАНУЛИРОВАННЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Новосибирский государственный аграрный университет

Приведены результаты исследований структуры органоминеральных бетонов на гранулированных органоминеральных заполнителях. Показаны отличительные особенности формирования легких бетонов с комбинированным органическим и минеральным крупным заполнителем, обладающим кроме хороших теплоизолирующих свойств высокими звукопоглощающими характеристиками. Данный легкий бетон рекомендуется для устройства внутренних и наружных стен жилых и производственных зданий.

Известно, что прочностные и эксплуатационные свойства легких бетонов обусловлены в основном характеристиками цементной матрицы и адгезионной способностью крупного заполнителя в контактной зоне. Пористая структура цементной оболочки (матрицы) вокруг крупного органического заполнителя зависит от ряда объективных факторов: наличие и качество защитной оболочки вокруг гранулы крупного заполнителя из торфа или другого растительного сырья; степень нейтрализации агрессивных веществ в массиве гранулы; обеспечение целостности защитной оболочки при приготовлении легкогобетонной смеси и др. Проведены комплексные исследования органоминерального материала в виде легкого бетона на гранулированном органическом крупном заполнителе с защитным покрытием и с добавлением крупного минерального заполнителя (керамзитового гравия, шлака, щебня и др.).

Предварительно были исследованы свойства вяжущих на основе гипса и извести с введением упрочняющих структуру микроармирующих минеральных добавок, которые в дальнейшем были использованы в качестве

защитной оболочки органического заполнителя. Содержание компонентов составляло, в мас. %: волластонит – 20; 30; 40 (составы 1, 2, 3); диопсид 20; 30; 40 (составы 4, 5, 6); известняковая мука – 20; 30; 40 (составы 7, 8, 9); вол-ластонит – 15, диопсид – 15 (состав 11); контрольный состав – 10 (табл. 5). По мере увеличения количества вводимых добавок все большая доля воды оказывается несвязанной химически и, испаряясь при сушке, увеличивает пористость. При этом, несмотря на введение добавки, имеющей более высокую плотность, чем минеральное вяжущее, конечная плотность затвердевших образцов оказывается практически одинаковой. Водопоглощение характеризует открытую пористость, доступную для заполнения водой. По мере увеличения количества вводимых минеральных добавок водопоглощение, как и общая пористость, возрастает.

Введение добавок способствует перераспределению внутренних напряжений в композиционном материале. Большая их часть будет проходить на вводимые добавки, как имеющие более высокое значение модуля упругости. Вместе с тем, введение добавок в рассматриваемом случае сопровождается увеличением пористости образцов, что является положительным для общего процесса звукопоглощения легким крупнопористым бетоном на гранулированном растительном заполнителе.

Таблица 1

Пористости и Водопоглощение исследованных составов

Номер состава	Теорет. плотность г/см ³	Реальная плотность, г/см ³	Пористость (П), % об.	Водопоглощение (В), %	Отношение В/П
1	2,39	1,22	49,0	25,7	0,52
2	2,42	1,19	50,1	27,1	0,54
3	2,44	1,21	50,6	27,7	0,55
4	2,43	1,21	50,1	26,3	0,52
5	2,47	1,21	51,0	28,1	0,55
6	2,51	1,21	51,8	30,6	0,60
7	2,37	1,19	49,8	26,2	0,53
8	2,39	1,19	50,1	26,4	0,53
9	2,41	1,15	52,5	29,5	0,57
10	2,32	1,22	47,0	21,5	0,46
11	2,44	1,21	50,5	28,2	0,56

Учитывая разнородность компонентов, с целью обеспечения стабильных качественных показателей легких бетонов с добавками, были проведены исследования взаимодействия в системе: «цементный камень–полимерсиликатная (гипсоизвестковая) защитная композиция–органический пористый заполнитель». Были рассмотрены различные зоны

сопряжения этих компонентов. Результаты исследований контактных зон легкого бетона позволили сделать вывод о том, что при использовании рассмотренного количества исследованных минеральных добавок (волластонит, диопсид, известняк) дополнительных новообразований в цементном камне практически не обнаружено. При контактировании цемента с растительным сырьем оно отрицательно влияет за счет редуцирующих веществ на гидратацию цементного вяжущего. Консервация гранул торфозаполнителя полимерсиликатными композициями или нанесение защитного гипсоизвесткового состава обеспечивает нейтрализацию действия редуцирующих веществ на поверхности гранулированного заполнителя, что создает благоприятные условия для твердения цементного вяжущего. При введении волластонита или диопсида отмечено их усиливающее влияние на структуру даже при малом вводимом количестве. Данный факт использован с целью повышения эффективности работы минерального вяжущего как в составе матрицы, так и для усиления гипсоизвестковой или полимерсиликатной композиции, используемой для защиты растительных гранул.

А.П. Приходько

**МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ РАБОТЫ
ОГРАЖДАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ЕДИНИЧНЫХ
ЛИЦЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

В данной статье рассматриваются вопросы усиления техногенных грунтов с помощью ограждающей поверхности с наклонными и горизонтальными армолентами. Предлагается блок-схема расчета, по которой составлена программа на ЭВМ.

В современной строительной практике находят применение различные композитные (полимерные) материалы, которые повышают несущую способность техногенных и других осложненных грунтов. Один из способов изменения прочностных и деформативных свойств оснований является армирование грунтов, представляющее собой комбинацию грунта и армирующих элементов.

Грунтоармированные элементы конструкций воспринимают на себя напряжения растяжения, а грунт – напряжение сжатия. Долговечность композитных (полимерные) материалов определяется свойствами исходного сырья, пропитывающего состава и поверхностного покрытия, что определяет срок службы их от 5 до 25 и более лет.

Условия прочности на разрыв для композитных материалов имеет вид:

$$T_{z,i} / K_c \cdot b \cdot t \leq R_a,$$

где R_a – прочность полимерного армирующего элемента на разрыв; $T_{z,i}$ – растягивающие усилия, возникающие в армирующем элементе, определяемое по следующей зависимости:

$$T_{z,i} = K_a \cdot \gamma \cdot z \cdot S_h,$$

где $K = tg^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right) = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ – коэффициент активного давления грунта; φ – угол внутреннего трения засыпки; γ – удельный вес засыпки; S_h – расстояние между армирующими элементами; z – расстояние до рассматриваемой точки; K_c – коэффициент, учитывающий снижение прочности армирующего материала в процессе эксплуатации.

Наибольшей нагрузке подвергается нижняя прослойка арматуры:

$$T_{\max} = \frac{n}{n+1} K_a \cdot \gamma \cdot S_h.$$

Коэффициент запаса арматурных лент на выдергивание определяется по формуле:

$$K_S^c = \frac{T_f}{T} = \frac{2T_f}{K_a \cdot \gamma \cdot H^2}.$$

Мной предлагается вести усиление техногенных грунтов используя ограждающую поверхность, которая состоит из лицевого элемента 1, горизонтальных и прямолинейных лент 2, нижних и верхних 3, 4 армомент, которые принимают на себя нагрузку от грунтового массива (техногенного грунта) и внешних воздействий, сохраняя проектное положение всего сооружения в целом в течение всего жизненного цикла, обеспечивая его надежность и безопасность (рис. 1).

По обоснованию параметров армомент разработана программа на ЭВМ и получено свидетельство о государственной регистрации программы «Расчет грунтоармированного основания» №2010616390, применение которой позволяет значительно сократить время на проектирование данных конструкций. Разработана программа инновационного мониторинга по надежности работы предлагаемой ограждающей поверхности с единичным лицевым элементом. Блок-схема программы представлена на рис. 2.

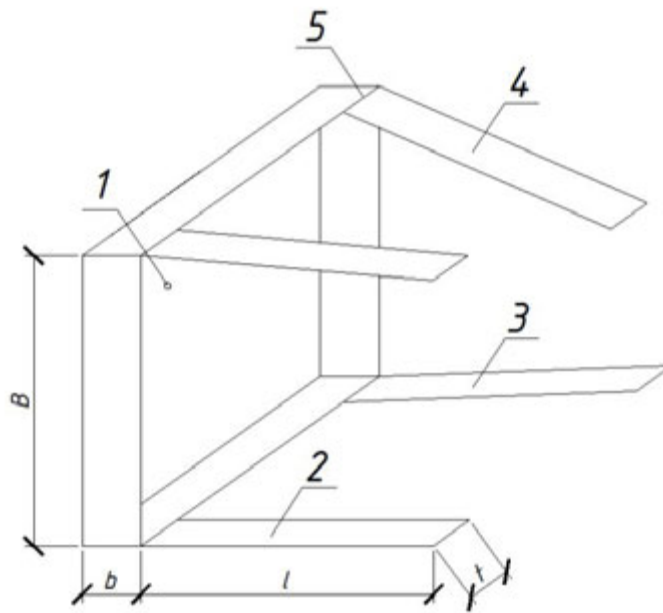


Рис. 1. Схема грунтармированного элемента

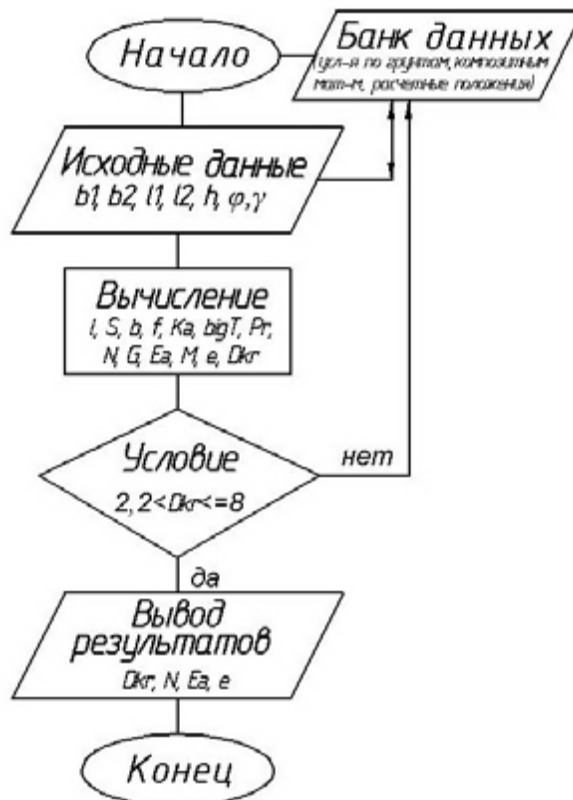


Рис. 2. Блок-схема расчета элемента конструкции с прямыми и наклонными лентами

Разработанная программа позволяет определять оптимальную длину армирующих элементов при различных: высоте засыпки H ; высоте отдельного слоя h ; длинны армирующих (двойных) лент l_1 и l_2 ; угле внутреннего трения засыпки ϕ , плотности грунта γ ; коэффициента трения арматуры по грунту f .

На основании разработанной программы расчета автором выявлено, что наиболее оптимальным способом создания ТБО с единой лицевой стенкой является диапазон на высоте $H = 2 \dots 4$ м, при $\lambda_{кр} = D_{кр} = 2,2 \dots 8$.

Длина двойных армолент подбирается в зависимости от:

- угла внутреннего трения грунта,
- трения армолент (их материала) по грунтовому массиву $f = 0,65 - 0,8$;
- высоте грунтовой насыпи и армируемого слоя.

Критерием выбора параметров армолент является $\lambda_{кр}$ (в программе $D_{кр}$), которое должно быть в пределах $2,2 < D_{кр} < 8$.

Испытания модели ограждающей поверхности с единичным лицевым элементом автор планируют проводить в лотке $1000 \times 900 \times 100$ мм с использованием технологии фотометрии. Стенки лотка выполнены светопрозрачными из оргстекла. Автором будут проведены лабораторные исследования в совокупности с численным методом моделирования ограждающей поверхностей с единичным лицевым элементом для более точного подбора его оптимального параметра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарина Т.П.* Совершенствование конструкций, методов научного обоснования, проектирования и технологии возведения облегченных гидротехнических сооружений. – М.: ООО «Эдэль-М», 2000.

2. *Каганов Г.М., Евдокимова И.М., Шевченко К.И.* Гидротехнические сооружения из армированного грунта. М.: НИИ-Природа, 2004. — 608 с.

3. *Приходько А.П.* Усиление оснований и фундаментов малоэтажных комплексов на техногенных грунтах. – Волгоград: ВолгАСУ, 2009. — С. 192–193.

КОЛЕБАНИЯ БАЛКИ НА СТОХАСТИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В вероятностных расчетах конструкций на стохастическом основании на действие статических и динамических нагрузок применяется модель коэффициента постели, который считается стационарной случайной функцией координат плана сооружения. Впервые задачу расчета балки на стохастическом винклеровском основании независимо друг от друга рассмотрели В.В. Болотин [1] и Д.Н. Соболев [2].

Решалась задача вида (1), где коэффициент постели $C(x)$ и внешняя нагрузка $q(x)$ принимались как стационарные случайные функции.

$$Ely^{IV}(x) + C(x)y(x) = q(x) \quad (1)$$

Задача (1) относится к классу стохастически нелинейных задач, что связано со случайностью функции $C(x)$. Ее замкнутого решения по сравнению с уравнениями, где $C(x)=C=\text{const}$, нет, поэтому применяются различные методы линеаризации и приближенные методы: малого параметра, канонического разложения, Монте-Карло и др. Этот подход применялся Д.Н. Соболевым и А.К. Юсуповым [3] при решении задачи колебаний коротких балок и плит на стохастически неоднородном основании. Установлено, что важным вопросом при решении рассматриваемой стохастически нелинейной задачи является исследование сходимости решения. Кроме того, оценка дисперсий выходных функций сильно зависит от точности решения краевой задачи для короткой системы. Поэтому, используя численные методы, надо стремиться к безусловному удовлетворению граничных условий задачи, в противном случае это приводит к неопределенным оценкам выходных случайных функций.

Вероятностный расчет конструкций конечной длины и конечной жесткости сложен и не получил должного приложения при решении практических задач.

Вместе с тем вероятностный расчет зданий конечной жесткости на стохастически неоднородных лессовых основаниях был рассмотрен А.П. Пшеничкиным [4] применительно к методу организованного увлажнения. Статистические характеристики грунтовых оснований определялись в натуральных условиях. Статистические закономерности совместной работы здания и неоднородно-деформируемых оснований, установленные при строительстве зданий на организованно увлажняемых лессовых основани-

ях позволили автору распространить разработанный вероятностный расчет гражданских бескаркасных зданий на любые неоднородно-деформируемые основания.

Используя метод эквивалентного слоя Н.А. Цытовича и развивая его к установлению связи между осадкой основания и действующей нагрузкой, введя в рассмотрение понятия эквивалентного коэффициента жесткости $C_э$ и эквивалентной нагрузки $q_э$, интегральную зависимость для однородного изотропного полупространства с ядром Буссинеска автор приводит к эквивалентной дифференциальной зависимости с постоянными коэффициентами постели (или жесткости). Это упрощает решение вероятностных задач (не нужно производить линеаризацию уравнений из-за нелинейности коэффициента жесткости, а также исследовать сходимость решения) и использовать в теории взаимодействия конструкций и сооружений с грунтовыми основаниями модель статистически неоднородного анизотропного линейно или нелинейно деформирующегося полупространства в доступном для инженерных расчетов виде.

Данная модель положена в основу приближенного решения задачи колебания балки на линейно деформируемом полупространстве в детерминированной и вероятностной постановке. Существо способа заключается в систематическом выделении из решения такой его части, которая является решением задачи о балке, лежащей на винклеровском основании. Распределительная способность грунтового основания моделируется как добавка к основному решению в виде самоуравновешенной системы сил, деформирующей балку и основание. Эта идея была рассмотрена в работах А.Н. Крылова [5] и Б.Г. Коренева [6] и применена в [4] для статических нагрузок.

Основание принимается случайным, однородным и изотропным. Рассматривается общий случай неоднородных деформаций основания, характерных для подрабатываемых территорий, оттаивающих вечномерзлых грунтов, сильно сжимаемых водонасыщенных грунтов и организованно увлажняемых лессовых оснований. Деформации вызываются большим количеством факторов случайной природы, и поэтому рассматриваемые основания считаются статистически неоднородными. Неоднородность физико-механических параметров основания характеризуется регулярной и случайной составляющими. Не делаются различия между деформациями, связанными и не связанными с коренными изменениями структуры и свойств грунта.

Основной характеристикой метода расчета конструкций на стохастическом основании является возможная поверхность деформирования основания, которую считаем аддитивной случайной функцией

$$S(x) = \bar{S}(x) + \tilde{S}(x), \quad (2)$$

Где символ ($\bar{\quad}$) означает детерминированную, а символ ($\tilde{\quad}$) – случайную составляющие функции $S(x)$.

Центрированная (самоуравновешенная) нагрузка, вызывающая изгиб конструкции, определяется по формуле

$$q(x) = C_3 \left\{ \left[\overset{0}{\bar{S}}(x) + \tilde{S}(x) \right] - V(x) \right\}, \quad (3)$$

где $\overset{0}{\bar{S}}(x)$ – центрированное относительно уровня S_0 математическое ожидание осадки основания от действия уплотняющего давления при условии абсолютной гибкости конструкции; $\tilde{S}(x)$ – собственно случайная поверхность деформирования основания, центрированная относительно уровня $\overset{0}{\bar{S}}(x)$, определяемая также без учета жесткости конструкции; $C_3 = \frac{q}{S_0}$ – коэффициент пропорциональности между уплотняющим давлением и осадкой; S_0 – средняя осадка основания, полученная из условия равновесия конструкции, как штампа под действием внешней нагрузки и реакции грунта; $V(x)$ – искомое перемещение системы «сооружение-основание» относительно центрированного состояния

Дифференциальное уравнение движения балки запишем, согласно В.З. Власову [7], учитывая силы инерции балки и грунтового основания

$$\begin{aligned} EI V^{IV}(x,t) + C_3 V(x,t) + m_1 \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \\ = f(t) C_3 \left\{ S_0 [A_s \bar{\varphi}(x) + k_s \tilde{\varphi}(x)] \right\} - m_0 \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

где EI – жесткость балки; m_1 – погонная масса балки; $m_0 = \gamma_0 / g$; γ_0 – объемный вес грунта; g – ускорение свободного падения; $f(t)$ – динамическая нагрузка на балку.

Запишем уравнение (4) в виде

$$\begin{aligned} EI V^{IV}(x,t) + C_3 V(x,t) + (m_1 + m_0) \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \\ = f(t) [C_3 S_0 A_s \bar{\varphi}(x) + C_3 S_0 k_s \tilde{\varphi}(x)] = f(t) [\bar{q}_3(x) + \tilde{q}_3(x)], \end{aligned} \quad (5)$$

де $\bar{q}_3(x,t)$, $\tilde{q}_3(x,t)$ рассматриваются как детерминированная и случайная составляющие эквивалентной нагрузки.

Разделим левую и правую части уравнения (5) на EI

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) + m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} (C_3 S_0 A_s \bar{\varphi}(x) + C_3 S_0 k_s \tilde{\varphi}(x)), \quad (6)$$

$$s^4 = \frac{C_{\text{э}}}{EI}, \quad m^* = \frac{m_1 + m_0}{EI}.$$

Считаем m^* детерминированной величиной, численно равной ее математическому ожиданию.

При свободных колебаниях нагрузка отсутствует, тогда из (6) получим

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) = -m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2}. \quad (7)$$

Решение (7) находим по методу [7]. Тогда собственные частоты системы находим по формуле

$$\omega_n^2 = \frac{\lambda_n^2 + s^4}{(m^*)^2}, \quad (8)$$

где λ_n – фундаментальное число.

Фундаментальные функции

$$X_n(x) = \text{sh}\lambda_n x + \sin\lambda_n x - a_0 (\text{ch}\lambda_n x + \cos\lambda_n x), \quad (9)$$

где $a_0 = \frac{\text{sh}\lambda_n l + \sin\lambda_n l}{\text{ch}\lambda_n l + \cos\lambda_n l}$.

Рассмотрим действие мгновенного импульса на балку.

Пусть на балку длиной l , расположенную на однослойном основании, действует нагрузка, интенсивность которой на погонную единицу длины равна

$$q(x) = q_0 (1 + A_5 \varphi(x)). \quad (10)$$

Считаем, что продолжительность нагрузки и перемещения в момент ее исчезновения бесконечно малы, а скорость имеет конечное значение. Свободные колебания балки

$$V(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n (A_n \sin \omega_n t + B_n \cos \omega_n t). \quad (11)$$

Частоты и формы колебаний определены с учетом краевых условий. Коэффициенты A_n и B_n находим из начальных условий:

$$\text{При } t=0 \quad V(x,0) = 0; \quad \frac{\partial V(x,0)}{\partial t} = v_0, \quad (12)$$

где v_0 – начальная скорость.

Из 1-го условия (12) $B_n = 0$.

Коэффициенты A_n находим при помощи разложения начальных условий (функции $q(x)/m$) в ряд по формам собственных колебаний. После преобразований получим:

$$A_n = \int_0^l q(x) X_n dx / m \omega_n \int_0^l X_n^2 dx. \quad (13)$$

Если $q(x) = q_0 = \text{const}$, то

$$A_n = q_0 \int_0^l X_n dx / m \omega_n \int_0^l X_n^2 dx.$$

Используя свойство фундаментальных функций

$$\int_0^l X_n^2 dx = \frac{l}{4} \left[X_n^2 - 2X_n' X_n'' + (X_n')^2 \right]_{x=0},$$

получим $\int_0^l X_n^2 dx \approx l$, а также для данной фундаментальной функции

$\int_0^l X_n dx \approx 0$. Это означает, что изгибные колебания балки происходят относительно средней осадки S_0 , уровень которой остается практически постоянным в процессе колебания.

Для детерминированной самоуравновешенной эквивалентной нагрузки

$$A_n = A_s q_0 \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx / m \omega_n l. \quad (14)$$

Окончательно решение задачи имеет вид

$$V(x, t) = \frac{A_s q_0}{ml} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_n} \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \cdot X_n \sin \omega_n t. \quad (15)$$

Решение задачи о вынужденных колебаниях балки.

На балку, расположенную на линейно деформируемом стохастическом основании, действует нагрузка, изменяющаяся во времени по длине балки по одному и тому же закону $f(t)$.

$$q(x, t) = f(t) [\bar{q}_3(x) + \tilde{q}_3(x)]. \quad (16)$$

Масса m остается постоянной в процессе движения. Движение балки описывается неоднородным стохастически линейным дифференциальным уравнением

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) + m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} C_{\varepsilon} \left[S_0 A_s \bar{\varphi}(x) + \sigma_s \sum_i \tilde{u}_i X_i(x) \right]. \quad (17)$$

Решение уравнения (17) проводим в 2 этапа: детерминированный расчет на уровне математических ожиданий для регулярной составляющей эквивалентной нагрузки и вероятностный расчет на действие случайной составляющей.

Детерминированный расчет.

$$V^{IV}(x,t) + s^4 V(x,t) + m^* \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} C_{\varepsilon} S_0 A_s \bar{\varphi}(x) = q_0 A_s \bar{\varphi}(x) \frac{f(t)}{EI}. \quad (18)$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения находим по формуле 11. Произвольные постоянные $B_n=0$, A_n – по (14).

Находим частное решение. Для этого разложим нагрузку $\bar{q}_{\varepsilon}(x)$, или, что равносильно, функцию $\bar{\varphi}(x)$ в ряд по собственным функциям

$$\bar{\varphi}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n X_n. \quad (19)$$

Умножив левую и правую части равенства на X_k и проинтегрировав по длине балки, получим

$$C_n = A_s q_0 \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \Big/ \int_0^l X_n^2 dx. \quad (20)$$

Прогиб балки для n -й формы колебаний

$$V_n(x,t) = \frac{A_s q_0}{m \omega_n l} X_n \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t - \tau) d\tau. \quad (21)$$

Или в целом

$$V_n(x,t) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{C_n}{m \omega_n} X_n \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t - \tau) d\tau. \quad (22)$$

Суммарное решение с учетом свободных и вынужденных колебаний

$$V_n(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \frac{A_s q_0}{m \omega_n l} \int_0^l \bar{\varphi}(x) X_n dx \left[\sin \omega_n t + \int_0^{\tau} f(\tau) \sin \omega_n (t - \tau) d\tau \right]. \quad (23)$$

Вероятностный расчет

Для определения случайной функции прогиба запишем уравнение относительно случайной составляющей, представленной каноническим разложением:

$$\tilde{V}^{IV}(x,t) + s^4 \tilde{V}(x,t) + m^* \frac{\partial^2 \tilde{V}(x,t)}{\partial t^2} = \frac{f(t)}{EI} C \varepsilon \left[\sigma_s \sum_i \tilde{u}_i X_i(x) \right], \quad (24)$$

где \tilde{u}_i – случайные нормально распределенные величины с математическим ожиданием, равным нулю и дисперсиями $D[u_i] = D_i = \sigma_s^2 d_i^H$; $X_i(x)$, σ_s^2 – координатные функции входа и дисперсия случайной функции поверхности деформирования $\tilde{\varphi}(x)$; d_i^H – коэффициенты канонического разложения.

Если случайная функция входа задана каноническим разложением, то и случайная функция выхода (прогиб балки) также получается в виде канонического разложения. Тогда дисперсию функции $\tilde{V}(x,t)$ вычисляем по формуле

$$D_v(x,t) = \sigma_s^2 (F(t))^2 \sum_i d_i^H [\psi_i(x)]^2 \quad (25)$$

где $\psi_i(x)$ – координатные функции выхода, полученные решением системы (24), в правой части которой вместо случайной функции $\tilde{\varphi}(x)$ стоят детерминированные координатные функции $X_i(x)$;

$$F(t) = \left[\sin \omega_n t + \int_0^t f(\tau) \sin \omega_n (t - \tau) d\tau \right].$$

При нахождении координатных выходных функций используем решение (23):

$$\psi_i(x) = \frac{k_s}{m^* \omega_i} X_i(x). \quad (26)$$

Применение фундаментальных функций в качестве координатных функций канонического разложения, позволяет существенно снизить трудоемкость решения вероятностной задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болотин В.В. Об упругих деформациях подземных трубопроводов, прокладываемых в статистически неоднородном грунте // Строительная механика и расчет сооружений, №1, 1965.
2. Соболев Д.Н. К расчету конструкций, лежащих на статистически-неоднородном основании // Строительная механика и расчет сооружений, №1, 1965.

3. *Соболев Д.Н., Юсупов Л.К.* Изгиб балки на нелинейном статистически-неоднородном основании // Строительная механика и расчет сооружений, № 5, 1975.

4. *Пшеничкин А.П.* Основы вероятностно-статистической теории взаимодействия сооружений с неоднородными грунтовыми основаниями. 2-е изд., испр. и доп. – Волгоград, ВолгГАСУ, 2010. — 336 с.

5. *Крылов А.Н.* О расчете балок, лежащих на сплошном упругом основании / АН СССР. М., 1930.

6. *Корнев Б.Г.* Некоторые задачи упругости и теплопроводности, решаемые в бесселевых функциях. М.: Физматгиз, 1960.

7. *Власов В.З., Леонтьев Н.Н.* Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Физматгиз, 1960.

О.А. Разинкова, А.Л. Слонов, Ю.А. Малкандуев, М.Х. Маришев

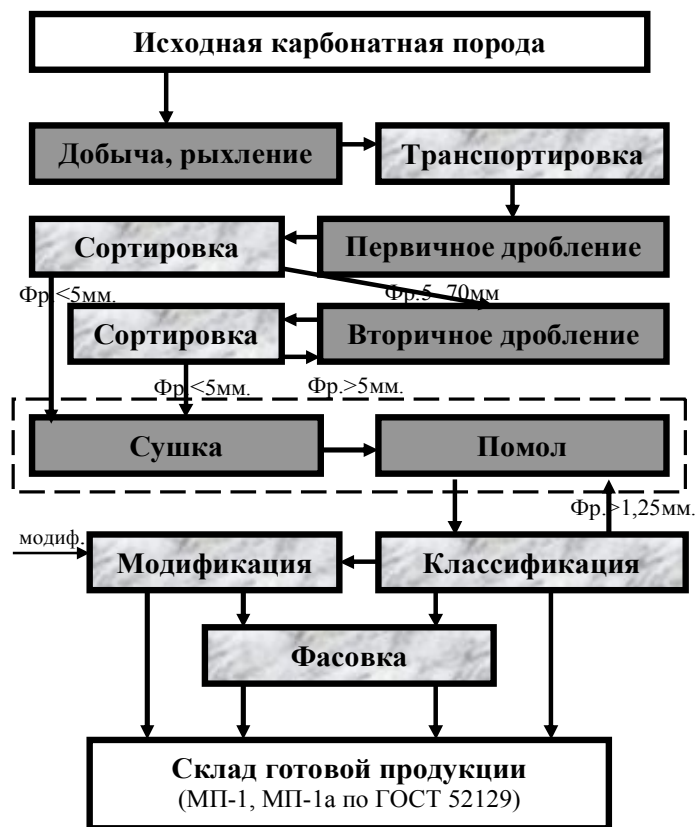
НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА И СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА ИЗ МЕСТНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

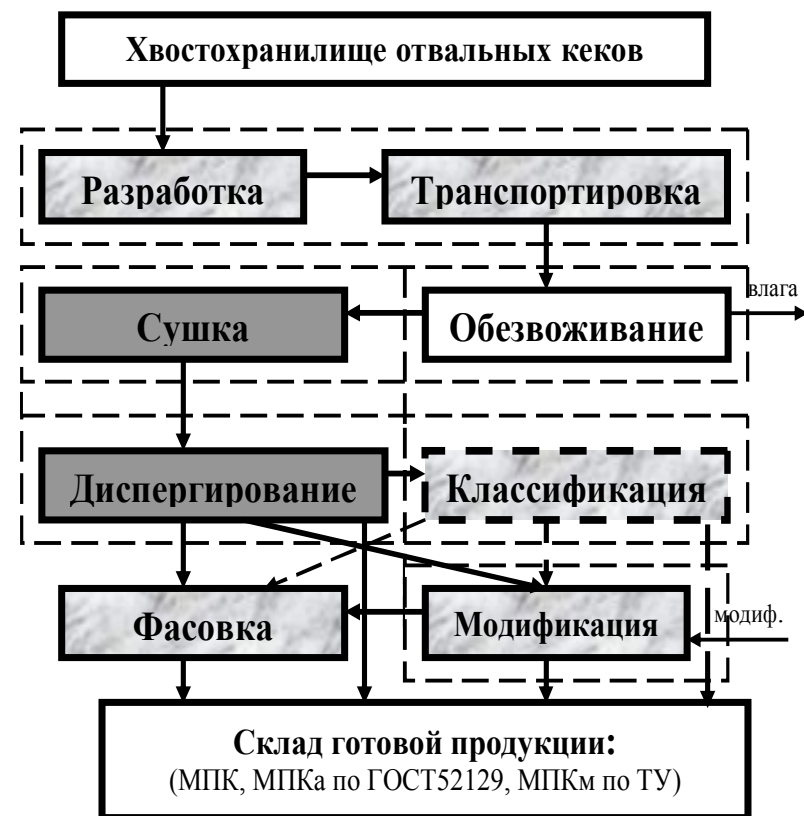
Приведены сравнительные показатели технологии производства и свойства минеральных порошков для асфальтобетона из природного и техногенного сырья: местных доломитов и отвальных кеков гидрометаллургии.

Известно, что при производстве асфальтобетонных смесей для дорожных, аэродромных покрытий и тротуаров в их состав вводятся тонкодисперсные минеральные порошки [1, 2]. Оптимальные добавки таких порошков оказывают существенное влияние на структуру и свойства этих смесей, а так же качества и долговечность асфальтобетона [2, 3]. Для этих целей широко используются специальные тонкоизмельченные минеральные порошки фракцией менее 0,071 мм, которые получают дроблением размолотом различных горных пород, что довольно энергоемко и затратно (техн. схема а рис. 1) и имеют немалые себестоимости. Потому часто для этих целей используют многие местные тонкодисперсные отходы различных производств [2, 4], которые удовлетворяют существующим техническим требованиям [5].

Установлена возможность использования в качестве таких минеральных добавок и порошкообразных отвальных кеков – отходов гидрометаллургического производства ОАО «Гидрометаллург» в г. Нальчике [6], получаемых сушкой и диспергированием лежалых отвальных кеков (техн. схема б рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Технологические схемы производства минеральных порошков:

а – из горных пород; б – из отвальных кеков.

■ — энергоемкость процесса: больше/ меньше.

Лежалые отвальные кеки гидрометаллургического производства НГМЗ представляющие собой тонкодисперсное тесто (пасту) с размерами зерен твердой фазы до 96% фракций менее 0,071мм, полученные при многократной и многоступенчатой переработке в основном производстве исходной карбонатосодержащей породы различными методами (механическими, химическими, химико-термическими и др.) до глубокого разрушения природной структуры с целью более полного извлечения полезного продукта.

Остатки разрушенной породы после очистки от химических реагентов и нейтрализации сбрасываются в специально отведенные отвалы в виде жидкого шлама, которые в процессе отстаивания, вылеживания и водоотделения со временем превращаются в тестообразное состояние – кеки, а затем в пылевидное состояние. Кеки в отвалах представляют собой однородный стабильного качества полуфабрикат материалов [6]. Разработана сравнительно несложная малозатратная технология переработки этих отходов (техн. схема Б рис.1), в кондиционные минеральные порошки различных назначений [7], в том числе для асфальтобетона.

Из лежалых отвальных кеков НГМЗ в лабораторных условиях получены опытные партии минеральных порошков для асфальтобетонов: МПК – обычные и МПКа – активированные оптимальными добавками битума БНД 60/90 и ПАВ – ЛСТ по аналогии с минеральными порошками промышленного производства минераловодского СУ-843: МП1 – обычных и МП1а – активированных, получаемых из природного сырья – местных доломитов и широко используемых ныне в регионе.

Сравнительные испытания их в лаборатории строительных материалов КБГУ по единой методике (ГОСТ Р 52129) представлены в табл. 1.

Сравнительная технико – экономическая оценка и анализ технологии производства минеральных порошков из природного и техногенного сырья (рис. 1, а и б) и полученных результатов их испытаний (табл. 1) показывают:

- отвальные кеки НГМЗ не содержат вредных примесей и представляют собой полуфабрикат – готовое кондиционное сырье для минеральных порошков;

- производство минеральных порошков для асфальтобетона из отвальных кеков НГМЗ проще и менее энергозатратно чем из природного сырья.

- полученные из отвальных кеков минеральные порошки МПК и МПКа по основным характеристикам отвечают требованиям ГОСТ Р 52129, а по ряду показателей (дисперсности, набуханию, водостойкости и др.) превосходят используемые ныне минеральные порошки МП-1 и МП-1а (обычные и активированные) из молотых доломитов и могут использоваться в регионе вместо (или вместе) используемых ныне дорогостоящих добавок.

Таблица 1

Некоторые показатели производственной и экспериментальной партии
минеральных порошков для асфальтобетона из местного природного и техногенного сырья

№	Наименование показателей	Требования ГОСТ Р52129-2003 для марок			Производственные СУ 843 из молотого доломита		Экспериментальные из отвальных кеков НГМЗ	
		МП-1		МП-2	МП-1 неатив.	МП1а актив.	МПК неактив.	МПКа актив.
		неактив.	актив.					
1	Зерновой состав, % по массе: -мельче 1,25 мм -мельче 0,315 мм -мельче 0,071 мм	не<100 не<90 70-80	не<100 не<90 не<80	не<95 80-95 не<60	100 92,3 80,3	100 98,3 83,1	100 93,3 90,1	100 98,9 95,8
2	Удельная поверхность по ПСХ, S, см ² /г	—	—	—	2820	3350	4850	5960
3	Пористость, Vпор, %	≤35	≤30	≤40	27,9	25,1	36,3	26,8
4	Набухание обр. из пор. с бит., Н, %	≤2,5	≤1,8	≤3,0	2,1	1,6	0,6	0,2
5	Водостойкость обр. из пор. с бит., Квод.	не норм.	не норм.	0,7	0,8	0,87	0,89	0,92
6	Показатель битумоемкости, ПБ, г	не норм. (≤65)	не норм. (≤50)	≤80	31	22	69	32
7	Влажность, W, % по массе	≤1,0	не норм.	≤2,5	1,0	0,4	0,6	0,2
8	Гидрофобность	—	—	—	гидро-филен	гидро-фобен	гидро-филен	гидро-фобен
9	А эфф. естественных радионуклидов, Бк/кг	—	—	—	менее 740	менее 740	менее 740	менее 740

– освоение производства и широкое использование минеральных порошков из отвалных кеков в указанных целях будут иметь не только экономические, но и значительные экологические выгоды в оздоровлении уникальной курортно-рекреационной зоны на Северном Кавказе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рыбьев И.А.* Асфальтовые бетоны. – М.: В. шк., 1969. — 399 с.
2. *Шестоперов С.В.* Дорожно-строительные материалы. – М.: В. шк., 1976. — С.79–136.
3. *Цыганков Л.Р., Майданов А.Е.* Формирование структуры асфальто вяжущего и влияние минеральных по-рошков на свойства асфальтобетона / Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций : Материалы III Международной научно-технической конференции. Волгоград: ВолГАСУ 2003. Ч. III. —С. 70–72.
4. *Питерский А.М., Шкуланов Е.И., Белоконев Т.М.* Использование золы-уноса Новочеркасской ГРЭС в качестве минерального порошка в производстве асфальтобетона/ Использование отходов производства в строительстве: Тезисы докладов VII областной научно-технической конференции. Ростов-на-Дону, 1986. — С. 44–45.
5. ГОСТ 52129-2003. Порошки минеральные для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. М.: ГСР, 2004. — 33 с.
6. *Разинкова О.А., Малкандуев Ю.А., Маришев М.Х.* Использование отвалных кеков вольфрамо-молибденового производства в качестве минерального наполнителя различных мелкозернистых бетонов / Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций : Материалы V Международной научно-технической конференции. – Волгоград: ВолГАСУ 2009. Ч. III. — С. 36–40.
7. *Слонов А.Л., Созаева Ж.И., Разинкова О.А.* Разработка технологии производства минеральных порошков – наполнителей различных композиционных материалов из отвалных кеков гидрометаллургии. / Перспектива-2009г.: Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. VII, Нальчик: КБГУ, 2009. — С. 132–135.

М.В. Решетникова, Р.А. Решетников

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ОХРАНЫ ОЗЕР

Себряковский филиал Волгоградского
государственного архитектурно-строительного университета

Цель работы: раскрыть сущность экологического и экономического подходов в вопросе охраны озер на примере использования сапропеля в качестве добавки в бетонные изделия.

Методологическая основа: описание, измерение, сравнение, эксперимент, методы анализа и синтеза экономической информации, совокупность методов экономико-статистического анализа

Результаты исследования: Озера в условиях Российской Федерации могут целенаправленно и планомерно вести накопление и сохранение

водных ресурсов, но озера Европейской части сегодня вобрали в свои чаши – миллионы тонн сапропеля, представляющего собой кладовые органики и других ценнейших веществ и элементов. Выявленные запасы сапропеля только на Северо-западе России составляют около 225 млрд м³, причем наблюдается их ежегодный прирост.

Естественный ход процесса обмеления и зарастания озер в современный период ускоряется в десятки и сотни раз из-за антропогенного воздействия, как на само озеро, так и на его водосбор.

Сапропели – одна из форм донных отложений пресноводных водоемов, образующихся в анаэробных условиях в результате физико-химических и биохимических преобразований остатков озерных гидробионтов, при различной степени участия минеральных и органических компонентов терригенного стока. Состав и свойства сапропелей из разных месторождений колеблются в очень широких пределах, что обусловлено продуктивностью материнского водоема, особенностями поверхностного стока и климатическими условиями. Сапропелем принято считать отложения пресноводных водоемов с содержанием органического вещества (ОВ) более 10%, при меньшем содержании ОВ донные отложения рассматриваются как озерные осадки.

Сапропель – экологически чистый материал.

Известно несколько направлений использования сапропеля и продуктов его переработки.

В сельском хозяйстве:

- компосты;
- удобрительные смеси;
- выращивание клубеньковых бактерий;
- известкование почв;
- средства профилактики и лечения скота;
- комбикорма;
- кормовые добавки и др.

В промышленности:

- сырье для рекультивации нарушенных земель;
- химическое сырье;
- лицевой кирпич и др.

В медицине:

- витамины;
- лекарственные препараты;
- лечебные грязи и др.

Наиболее перспективным является использование сапропеля, компостов на его основе и различных продуктов переработки в сельском хозяйстве. Установлено, что сапропелевое удобрение положительно влияет на динамику почв, кроме этого наблюдается высокая эффективность в пога-

шении почвенной кислотности, а также снижение уровня радионуклидов и возможность использования сапропеля в качестве средств мелиорации малопродуктивных земель.

На данный момент в рамках исследования были взяты пробы донных отложений оз. Придорожное, проведен анализ донных отложений на содержание органического вещества, выполнена оценка качественных характеристик сапропеля по соответствию требованиям ТУ 2191-022-00483470-93 «Удобрения сапропелевые», определен вид сапропеля по содержанию органического вещества.

Сапрпель озера Придорожное относится ко второй группе сапрпелей – «обедненные сапрпели с содержанием органических веществ от 10% до 50%»; по содержанию органического вещества относятся к четвертому типу – минерализованные (органического вещества – 11,9%, зольность – 73,9%).

Бетонный блок с добавлением сапрпеля – сапрпелебетон является наиболее дешевым строительным материалом по сравнению с другими бетонными блоками-аналогами.

Процесс изготовления строительного камня (блоков) заключается в приготовление формовочной смеси на сапрпеле, трамбование или горячее прессование из ее формованных блоков и их сушка. Все параметры строго отрабатываются в процессе исследования возможности использования сапрпеля для этих целей.

Клеющие свойства сапрпеля улучшаются при экстрагировании исходного сырья или выделения из него гуминовых кислот органическими растворителями (спиртобензолом), поэтому использование составной бетонного блока – цемента уменьшается. Например, производство пескоцементных блоков требует применения высококачественного цемента, крупнозернистого песка и воды, также составляющим такого блока может выступать каменная крошка, себестоимость таких блоков довольно высока.

Так как бетонные блоки с добавлением сапрпеля обладают очень высокой прочностью (в связи с клеящими свойствами сапрпеля), рекомендуется их применение не только в строительстве фундаментов, цоколей коттеджей, погребов, гаражей и других построек, но и в области монолитного железобетонного домостроения. Возведение фундамента из сапрпелебетона не требует использование специальной строительной техники, а это напрямую влияет на уменьшение себестоимости строительства.

Выводы

Проведенные исследования донных отложений оз. Придорожное Михайловского района являются первой ступенью в создании строительного материала – сапрпелебетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетникова М.В., Решетников Р.А. Гидрогеологические особенности юга Окско-Донской низменности // Социально-экономические и технологические проблемы развития строительного комплекса региона. Наука. Практика. Образование.: материалы IV Российской научно-технической конференции с международным участием, 17–18 мая 2011 г., Михайловка – Волгоград, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. — С. 114–118.
2. Решетников Р.А., Буравлева Е.В. Характеристика иловых отложений озера Придорожное // Инновационное развитие строительного комплекса региона : материалы I студ. научно-техн. конференции СФ ВолгГАСУ, 17 ноября 2010 г., Михайловка-Волгоград, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. — С. 203–204.
3. <http://www.saprex.ru/>.

С.И. Романов, А.Ю. Стадник

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Состояние поверхности асфальтобетонного покрытия определено показателями средней глубины макрошероховатости, измеренными методами песчаного пятна и оперативным косвенным методом с применением статистической обработки результатов измерений в продольном и поперечном направлениях участков дорог. Схематически показано влияние технологических факторов на изменчивость величин шероховатости. Установлено влияние типа асфальтобетона на распределение шероховатости и ее однородность.

Безопасность движения по дороге зависит от ровности и шероховатости дорожного покрытия. Регламентируемая нормативная ровность не достаточно полно обеспечивает требуемые условия для движения автомобилей. Гладкое покрытие создает скольжение, неуправляемость движения в дождь и гололед, приводя к дорожно-транспортным происшествиям. Наряду с применяемыми приборами для контроля коэффициентов продольного и поперечного сцепления необходимо знать, какие из различных типов асфальтобетона строящегося дорожного покрытия отличаются лучшими и худшими показателями шероховатости, ее однородности, полируемости поверхности во время эксплуатации дороги. В то же время известно общее положение о преимуществах шероховатости многощелебнистых асфальтобетонных покрытий, щебеночно-мастичных асфальтобетонов, обладающих и повышенным сопротивлением колееобразованию на дорожном покрытии.

Для сопоставления измеренных показателей шероховатости поверхности различных асфальтобетонных покрытий следует использовать статистический контроль качества [1, 2] на основе многочисленных измерений. Целесообразно применение быстрого и нетрудоемкого метода, который может быть косвенным, обладающим высокой корреляцией с результатами традиционного известного метода прямых измерений, отличающихся трудоемкостью и длительностью выполнения, к которым относится метод песчаного пятна, имеющий не высокую точность оценок средней глубины впадин шероховатости на контролируемой площади. Удобный для автоматической регистрации метод снятия линейных профилограмм [3, 4] не дает представлений о шероховатости на площадках, равновеликих отпечатку следа колеса расчетного автомобиля.

Высокая однородность достаточной шероховатости поверхности данной дороги повышает уверенность водителя в управлении автомобилем, кроме того связана с однородностью состава асфальтобетона, стабильностью его стандартных физико-механических свойств, способствующих предотвращению локальных преждевременных разрушений дорожного покрытия.

Основные факторы, влияющие на показатели шероховатости поверхности асфальтобетонного дорожного покрытия (рис. 1), предопределяются технологическими условиями на стадиях производства асфальтобетонных смесей, строительства покрытия и эксплуатации дороги.

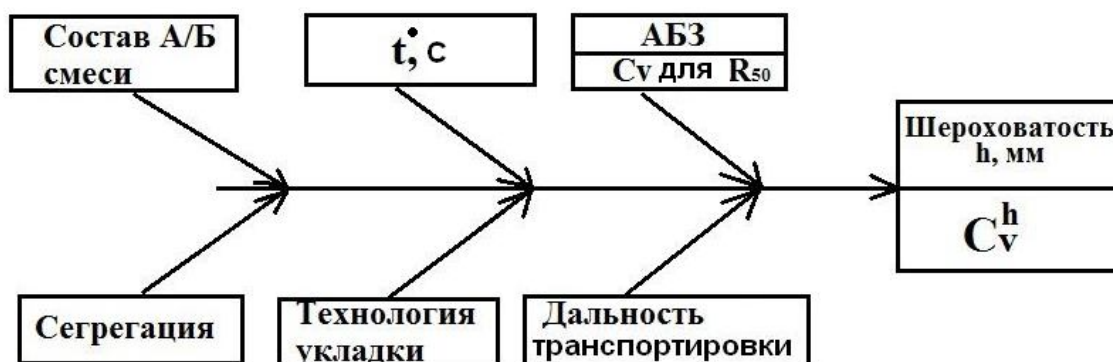


Рис. 1. Факторы, влияющие на показатели средней глубины шероховатости и ее однородности

Между результатами выполненных измерений шероховатости методом песчаного пятна и косвенным методом мгновенных цифровых измерений сертифицированным прибором установлена достаточно тесная корреляция с учетом различных типов асфальтобетонов дорожных покрытий.

Типы: ЩМА-20. Уравнения: $h = -3,21781 + 87,3813/C; r^2 = 0,85;$
 А. $h = -3,69511 + 89,0179/C; r^2 = 0,88;$
 Б. $h = -0,76160 + 26,1568/C; r^2 = 0,88;$
 В. $h = -0,70872 + 18,6681/C; r^2 = 0,87;$
 Г. $h = -0,43437 + 32,0963/C; r^2 = 0,76;$

где C – показатели измерений косвенным оперативным методом, r^2 – индекс детерминации.

На приведенных гистограммах (рис. 2) видно, что в 2 метрах от кромки проезжей части наблюдается меньшее попадание значений глубины шероховатости (h) в интервале от 1,08 до 1,32. Это свидетельствует о том, что происходит истирание пленки битума на поверхности в продольном направлении автомобильной дороги по площади равновеликой следу колеса.

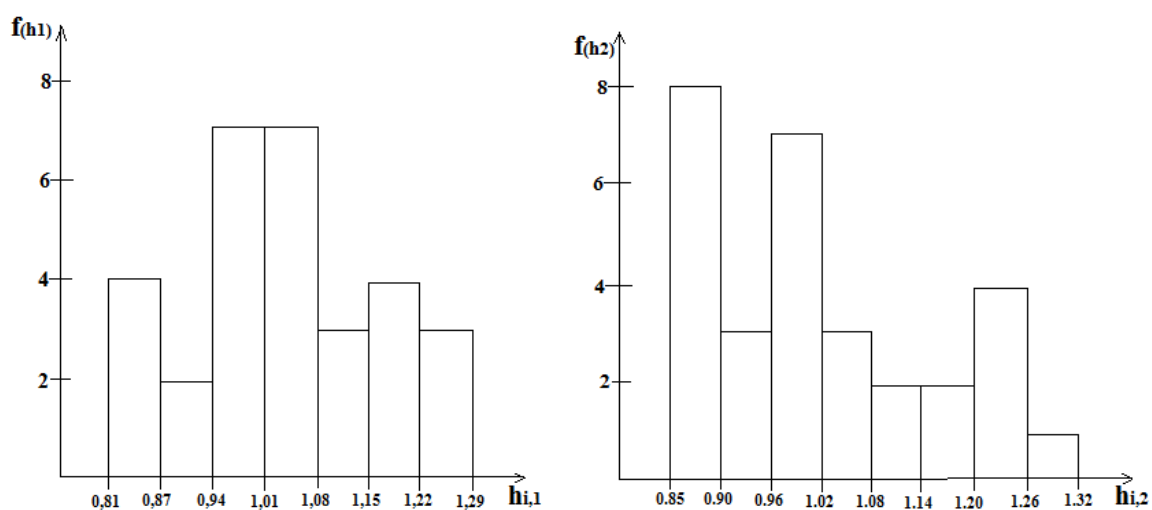


Рис. 2. Гистограммы распределения показателей шероховатости для дорожного покрытия из ЩМА-20:

$h_{i,1}$ – на поверхности в 1 метре от кромки покрытия;

$h_{i,2}$ – в 2 метрах от кромки; $f(h_{i,1})$,

$f(h_{i,2})$ – частоты попадания в данные интервалы

Исходя из этого можно полагать, что метод снятия линейных профиллограмм не дает достоверной информации по площади анализируемого покрытия.

Карта (h - R) свидетельствует о повышении R на площади покрытия из ЩМА-20 в 2 метрах от кромки, где наблюдается большой и неоднородный износ шероховатости под действием более интенсивного движения автомобилей (рис. 3).

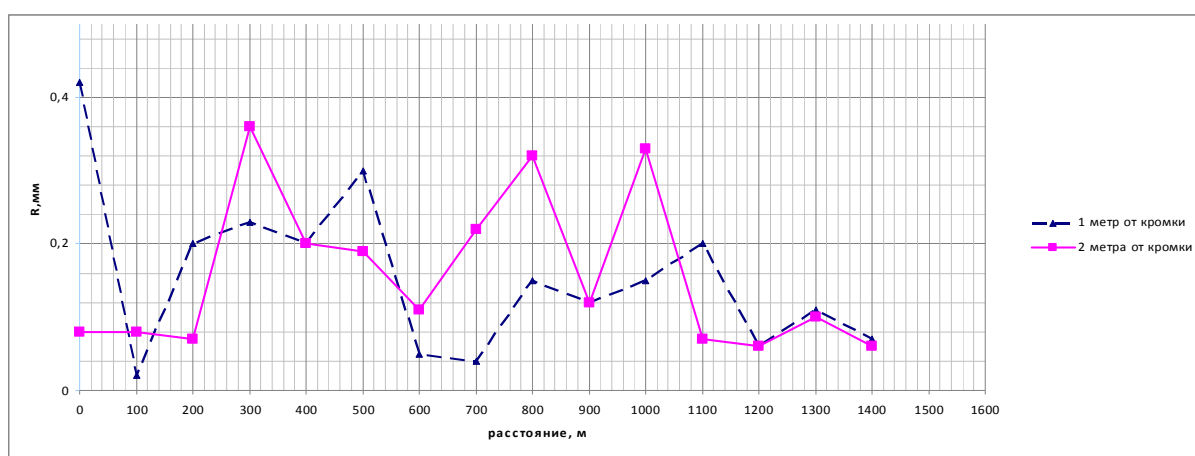
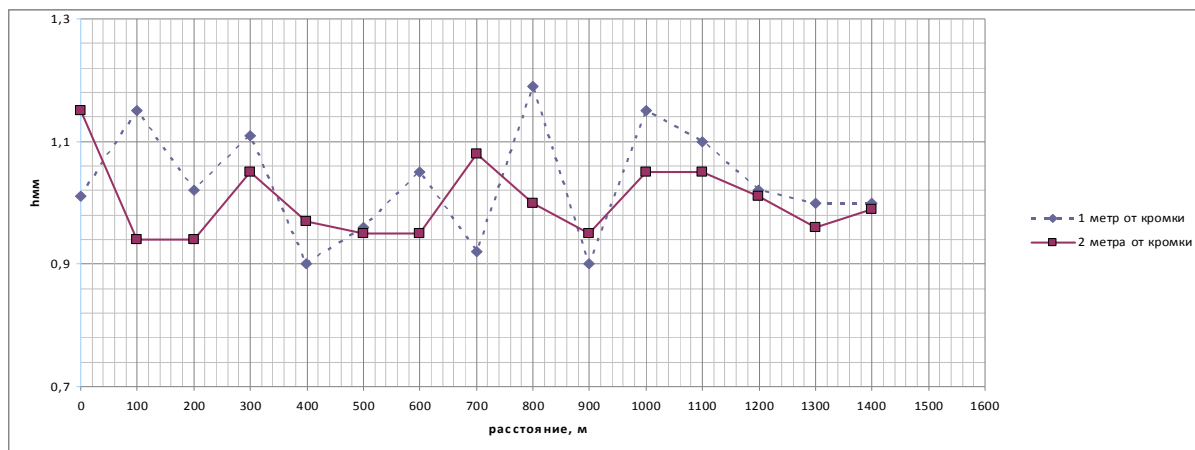


Рис. 3. Карта (h - R) для ЩМА-20

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд. Под редакцией А.Я. Тулаева. – М., 1985. — 224 с.
2. Статистические методы повышения качества: Пер. С 78 с англ./ Под ред. Х. Кумэ. М.: Финансы и статистика, 1990. — 304 с.
3. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. — 125 с.
4. Строительные Материалы. Научно-технический и производственный журнал, октябрь 2010 г .

А.Л. Слонов, Ю.А. Малкандуев, М.Х. Маришев, А.М. Маришева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОТВАЛЬНЫХ КЕКОВ
ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ –
МОДИФИКАТОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ**

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Приведены сравнительные показатели растворных смесей и растворов с различными минеральными добавками: из гидратной извести, местной глины и отвального кека гидрометаллургии.

Высокоподвижные растворные смеси марок подвижности Пк3 и Пк4 (ГОСТ 28013-98) находят широкое применение в строительстве. Это большинство кладочных, штукатурных и отделочных смесей, напольных и других выравнивающих покрытий, кладочных и заливочных смесей горных выработок и др., где высокая подвижность и способность растекаться, легко разравниваться и создавать однородный равномерный слой на различных поверхностях являются одними из основных качественных показателей таких смесей. Для регулирования этих свойств в требуемых пределах, помимо основных составляющих компонентов растворов – песка, вяжущего и воды, в их состав вводятся различные добавки – регуляторы и модификаторы, улучшающие структуру и свойства растворных смесей и затвердевшего раствора [1, 2].

Так, для улучшения удобнораскладываемости, повышения подвижности растворной смеси без признаков водоотделения и расслаивания в их состав вводят тонкодисперсные минеральные добавки, которые способствуют улучшению структуры и свойств растворных смесей. В качестве таких добавок широко используют известковое и глиняное тесто, тонкодисперсные отходы различных производств: золу-уноса, пыль электрофильтров и т.п. Установлена пригодность в качестве таких добавок и отвальных кеков нальчикского гидрометаллургического завода – НГМЗ [1, 2, 3].

Отвальные кеки НГМЗ представляют собой тестообразную глиноподобную массу, получаемую в ходе гидрометаллургического процесса производства вольфрама и молибдена. Это тонкодисперсные продукты разрушения вмещающей исходной, преимущественно карбонатной горной породы, механическими и химико-термическими методами воздействия, которые после извлечения металлов из них и последующей нейтрализации и промывки от химических реагентов сбрасываются в отвал в виде пульпы (шлама), которая в процессе

вылеживания со временем переходит в тестообразное, а затем, с последующим испарением влаги, – в порошкообразное состояние.

Содержание влаги в отвалах кеков переменено и колеблется от 18,5 до 25%. Минеральные частицы исходной породы имеют дисперсность до 96% класса менее 0,071 мм. Кеки не содержат вредных примесей, малореакционноспособны при обычных температурах и представляют собой тонкодисперсный полуфабрикат, наполнитель для различных материалов и составов [4].

В лаборатории строительных материалов КБГУ нами проведены сравнительные испытания пригодности отвальных кеков НГМЗ в качестве модификатора строительных растворных смесей.

Для сравнительных испытаний были приняты также широко используемые в регионе для этих целей природная глина Аушигерского месторождения и гашеная известь местного Белореченского производства.

Во избежание влияния на результаты опытов влажности и дисперсности компонентов, все добавки высушивались до постоянной массы, измельчались дополнительно до полного прохождения через сито №0,14 и использовались в сухом состоянии.

За исходный состав был принят широко используемый на практике цементно-песчаный раствор состава 1:0,5:3,5 (Ц:М.д.:П) (цемент : минеральная добавка : песок). В качестве песка использовался альтудский кварцевый песок с $\rho_n = 1480 \text{ кг/м}^3$ и $M_{кр} = 2,01$. В качестве вяжущего использовался портландцемент черкесского цементного завода ПЦ400Д-20 по ГОСТ 10178 активностью $R_c = 39,2 \text{ МПа}$. Вода – обычная водопроводная. Количество воды затворения – постоянное, из расчета $V/T = 0,23$.

Растворные смеси готовились вручную по единой методике. В ходе экспериментов определялись: подвижность растворной смеси по Суттарду, водоотделение – визуально и экспериментально, водоудерживающая способность по ГОСТ 5802-86.

Из опытных растворных смесей формовались образцы-цилиндры диаметром и высотой 50 мм в двух вариантах с учетом условий использования: одна партия на пористом основании, другая – на плотном (стекле). Образцы выдерживались трое суток в формах во влажных условиях, затем до 28 суток без форм в комнатно-сухих условиях, после чего осматривались и испытывались в одно и то же время. Результаты испытаний растворных смесей и образцов из них представлены в табл. 1 и на рис. 1.

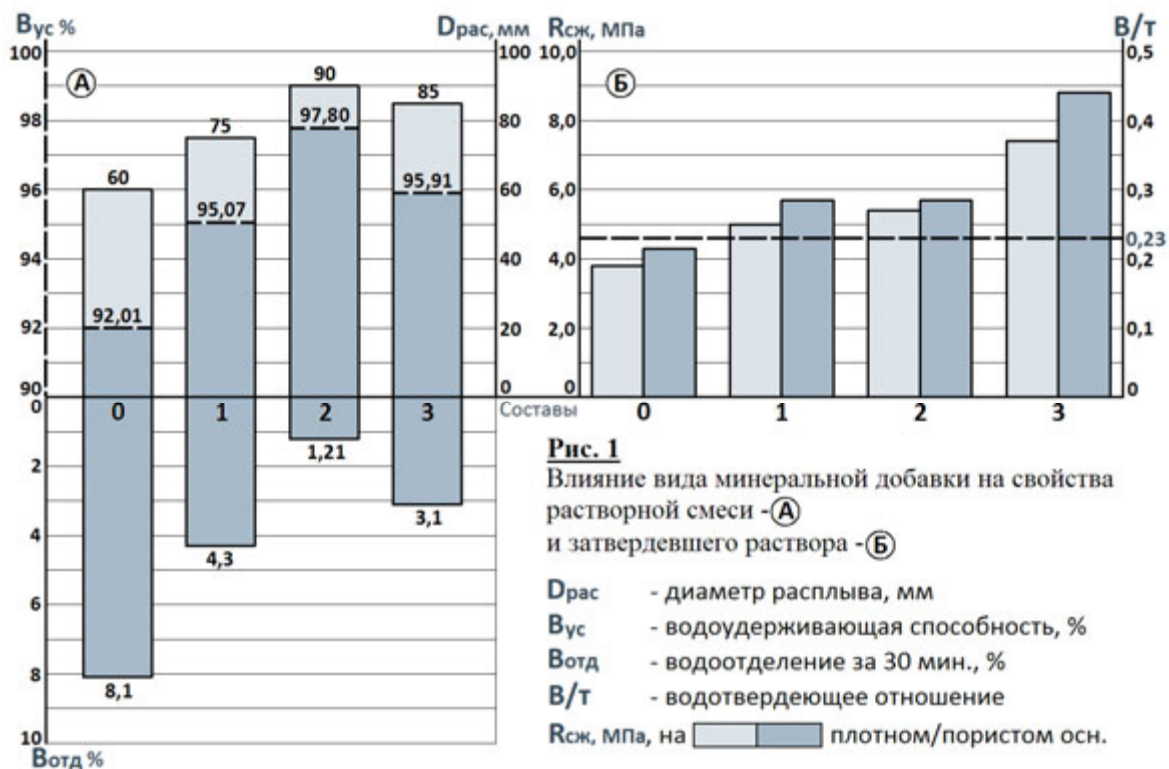
Как показали испытания, все использованные минеральные тонкодисперсные добавки в растворные смеси обладают пластифицирующими и водоудерживающими свойствами и способствуют улучшению структуры, технологических и физико-технических свойств растворных смесей и растворов. Более низкие показатели широко

используемой эффективной гидратной извести можно объяснить ее карбонизацией при сушке перед использованием и снижением активности.

Таблица 1

Влияние вида минеральной добавки на свойства растворной смеси и раствора

№ состава	0	1	2	3
Вид минеральной добавки	Без добавки	Известь-пушонка	Глина (Аушигер)	Отвальный кек НГМЗ
Состав раствора (Ц:Мд:П), об.	1:0:4,0	1:0,5:3,5	1:0,5:3,5	1:0,5:3,5
В/Т	0,23	0,23	0,23	0,23
Диаметр расплыва, мм	60	75	90	85
Водоудерживающая способность, ВУС, %	92,01	95,07	97,8	95,91
Водоотделение за 30 мин, %	8,1	4,3	1,21	3,1
Прочность на плотном основании, R ₂₈ , МПа	3,8	5,0	5,4	7,4
Прочность на пористом основании, R ₂₈ , МПа	4,3	5,7	5,7	8,8



Отвальные кеки НГМЗ пригодны в качестве структурообразующей и водоудерживающей минеральной добавки-модификатора в высокоподвижные растворные смеси различных назначений, вместо используемых ныне для этих целей известковых и глиняных тест и дорогостоящих модификаторов. Испытанные отвальные кеки по ряду технологических и физико-технических свойств не уступают, а в ряде случаев и превосходят их (табл. 1, рис. 1). Широкое использование их для этих целей будет иметь не только экономические, но и экологические преимущества, так как будет происходить утилизация техногенного отхода промышленного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Указания по приготовлению и применению строительных растворов. (СН 290)-М.: Стройиздат, 1965. — 56 с.
2. Юхневский П.И., Марковский М.Ф. и др. Смеси растворные и растворы строительные: приготовление и применение. П1-03 к СНиП 3.04.01-87. – Минск, 2003. — 39 с.
3. Айропетов Г.А. и др. Строительные материалы: Учебно-справочное пособие / под ред. Г.В. Несветаева. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. — С. 249–290.
4. Маришев М.Х., Малкандуев Ю.А. Утилизация отходов ОАО «Гидрометаллург» // Вестник Кабардино-Балкарского Государственного Университета. Серия «Химические науки», выпуск 5. – Нальчик: КБГУ, 2003. — С. 181–183.

П.В. Смирнова, Л.В. Моргун, В.Н. Моргун, К.И. Костыленко, О.В. Пушенко

О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ

Ростовский государственный строительный университет

Рассмотрена зависимость структуры и свойств воды от ее температуры. Показано влияние начальной температуры воды затворения на процесс структурообразования фибропенобетонных смесей.

Пенобетонные смеси – вязко-пластичные дисперсные системы, в которых плотность слагающих их компонентов различается более чем на два порядка. Сцепление между дисперсными частицами твердой и газовой фаз осуществляется поверхностными силами, развивающимися в дисперсионной среде – воде. Вода – та среда, в которой в результате химического взаимодействия между нею и клинкерными минералами цемента с течением времени образуется твердая фаза, обеспечивающая прочностные свойства пенобетона.

Для качества затвердевших бетонов особенно важны свойства воды в начальный период структурообразования, поскольку в пенобетонных смесях она является тем объединяющим компонентом, свойства которого управляют агрегативной устойчивостью смесей и определяют меру дефектности затвердевших бетонов.

Главные особенности воды проявляются в ее зависимости от температуры и давления, производных термодинамических функций. Плотность воды уменьшается при повышении и понижении температуры относительно $+4^{\circ}\text{C}$. При $+4^{\circ}\text{C}$ все водородные связи между тетрагидролями изогнуты. Изгиб связей уплотняет структуру воды. Эти свойства обеспечивают минимальный объем каркаса и максимальную плотность воды. Плотность воды проходит через максимум при температуре $3,98^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

Известно, что одним из условий получения фибропенобетона высокого качества является устойчивость пены в начальный момент структурообразования. В этот момент необходимо, чтобы пенные пленки были не только упругими, но и имели высокую поверхностную вязкость, которая, препятствовала бы истечению жидкости из пены по каналам Плато-Гиббса. Исследования, проведенные различными учеными, показали, что температура воды оказывает влияние на воздухововлекающие свойства [3] и устойчивость пленок ПАВ [4]. Чем ниже температура жидкой фазы, тем более устойчивыми оказываются пенные пленки. А это особенно важно в технологии пенобетонов, поскольку понижение температуры воды затвердения приведет к понижению первоначальной температуры фибропенобетонной смеси, что создаст благоприятные условия для повышения устойчивости пенных пленок и, как следствие повысит агрегативную устойчивость пеносмеси.

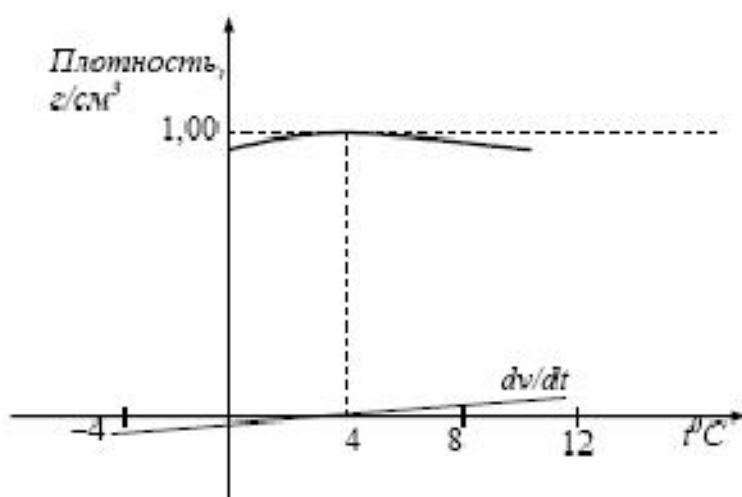


Рис. 1. Плотность воды в зависимости от температуры (dv/dt – изменение объема данного количества воды с температурой) [1, 2]

Киреев А.В. [5], считает, что понижение температуры воды уменьшает тепловое движение её молекул и, следовательно, увеличивает положительную адсорбцию, то есть способность ПАВ переходить из объема на поверхность раздела фаз «газ-жидкость», понижая поверхностное натяжение жидкости, тем самым уменьшая количество ПАВ во внутренних слоях фибропенобетонной смеси. Молекулы ПАВ, находящиеся в поверхностном слое жидкости, стремятся расположиться упорядоченно. Такая упорядоченность, по мнению А.В Киреева, зависит от температуры воды и от концентрации молекул ПАВ в поверхностном слое (адсорбции). Чем ниже температура воды, тем выше концентрация молекул ПАВ в поверхностном слое, и тем более упорядоченно они расположены. Молекулы ПАВ, расположенные в поверхностном слое жидкости, создают силовое поле, под действием которого происходит адсорбция молекул окружающего газа. Чем больше молекул ПАВ в поверхностном слое жидкости, тем выше значение силового поля.

Образованию устойчивых и механически прочных пен благоприятствует повышение поверхностного натяжения воды, увеличение её вязкости, и уменьшение её летучести (увеличение максимальной плотности) [5].

При нагревании любого вещества его теплоемкость повышается пропорционально увеличению температуры [1, 2]. Только у воды другой характер этой зависимости (рис. 2) [2].

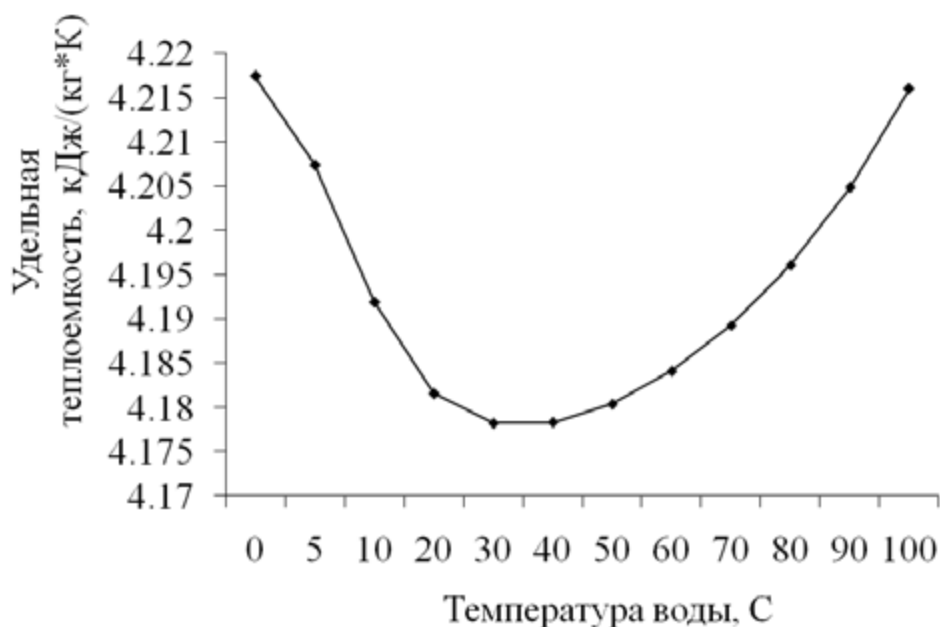


Рис. 2. Температурная зависимость удельной теплоемкости воды [2]

Изменение теплоемкости воды с повышением температуры аномально. От 0°C до +37°C теплоемкость падает, не смотря на то, что вода становится жидкостью и только после +37°C начинается повышение (рис. 2) [2].

Удельная теплоемкость веществ характеризует количество энергии, которую необходимо сообщить/отобрать, для того, чтобы увеличить/уменьшить температуру одного килограмма вещества на один градус Кельвина.

Таким образом, понижая температуру воды, мы увеличиваем ее теплоемкость, то есть способность аккумулировать тепло. В процессе твердения фибропенобетонов такая способность воды способствует более полному прохождению всех процессов взаимодействия между компонентами, так как рассеяние тепловой энергии в окружающую среду в таком случае минимальны.

В технологии пенобетонов чрезвычайно важно, чтобы жидкие кристаллы пленок ПАВ обладали достаточной устойчивостью в период преобладания вязких связей между компонентами твердой фазы и, таким образом способствовали понижению дефектности межпоровых перегородок пенобетона при переходе от вязких связей к упругим.

Поскольку пенобетонные смеси являются сильно обводненными и высокодисперсными системами, то параметры тепловыделения, выраженные через температуру отвердевающих смесей, позволят судить не только о скорости протекания гидратационных процессов, но и особенностях формирования структуры их межпоровых перегородок.

На рис. 3 представлены результаты контроля температуры пенобетонных смесей, уложенных в термоизолированные сосуды одинаковой емкости. Из данных графика следует, что смеси, полученные на воде с температурой $+4^{\circ}\text{C}$, имеют начальную температуру $16...17^{\circ}\text{C}$ и плавно разогреваются в течение $10...11$ часов до достижения ими температуры $+42^{\circ}\text{C}$. Смеси, затворенные водой с температурой $+20^{\circ}\text{C}$, имеют начальную температуру $30...32^{\circ}\text{C}$ и в течение первых $4,5...5,0$ часов их температура понижается до $+26^{\circ}\text{C}$. А только затем начинает повышаться, достигая своего максимума к 10 часам от момента затворения водой. Причем, величина этого максимума практически равна той начальной температуре, которую смеси имели в момент завершения процесса перемешивания.

Полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях, возникающих в процессах гидратации вяжущего и структурообразовании пенобетонных смесей при изменении термодинамических свойств воды. Полагаю, что понижение температуры смесей, затворенных водой с температурой $+20^{\circ}\text{C}$, свидетельствует о том, что в их структуре параллельно процессам адсорбции и гидратации протекают некие деструктивные процессы, способствующие поглощению энергии, выделяемой цементными минералами. Пенобетонные смеси, затворенные водой с температурой $+4^{\circ}\text{C}$, в течение $10...11$ часов увеличивают свою температуру, что свидетельствует о конструктивности, протекающих в них процессов. Следовательно, понижение температуры воды затворения положительно влияет на структурообразование пенобетонных смесей и позволяет получить высококачественный материал.

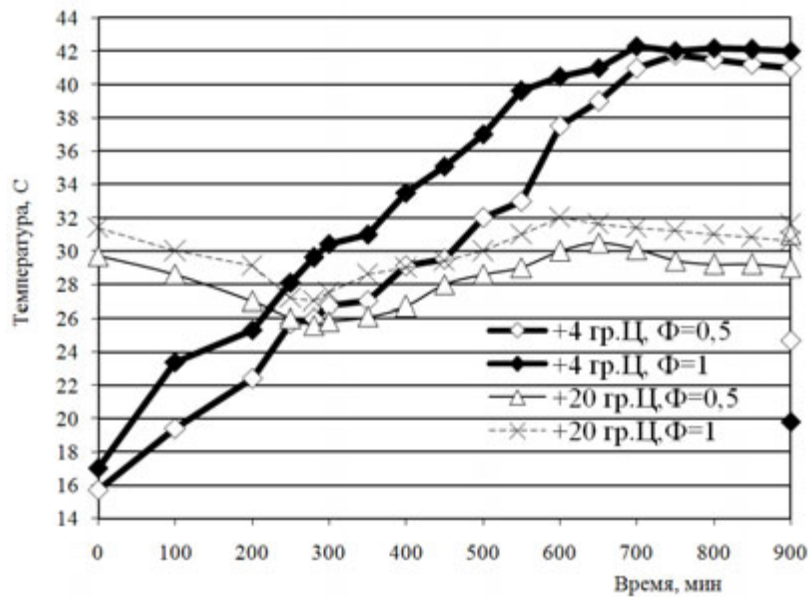


Рис. 3. Влияние начальной температуры водызатворения на температуру фибропенобетонных смесей при твердении

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрова Л.В., Калюкова Е.Н. Химия воды. Учебное пособие. – Ульяновск: Ул-ГТУ, 2004. – 48 с.
2. Зацепина Г.Н. Физические свойства и структура воды. М.: Издательство МГУ, 1987. – 171 с.
3. Перцев В.Т. Управление процессами раннего структурообразования бетонов / Дисс. На соиск. уч. ст. д.т.н. – Воронеж, Т.1, 2001. – 433 с.
4. Шароварников А.Ф., Шароварников С.А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. – М.: Пожнаука, 2005. – 335 с.
5. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. М.: Химия, 1970. – 638 с.

П.Э. Соколов, И.В. Стефаненко

ОЦЕНКА ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА В ФОРМИРОВАНИИ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ЗДАНИЙ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Человек, постигая законы природы, научился определять и дифференцировать целый ряд вредных факторов по их характеру и степени воздействия на различные системы организма, а также разработал и продолжает разрабатывать комплексы защитных и профилактических мероприятий, либо исключаящих, либо ослабляющих эти воздействия.

При разработке защитных мероприятий важно знать тот минимальный уровень воздействия, который не принесёт вреда данному индиви-

дууму, популяции в целом. Поэтому усилия учёных направлены не только на изучение механизма действия различных вредных факторов на живой организм, но и научное обоснование тех предельно допустимых уровней воздействия, которые не окажут неблагоприятного эффекта.

Вскоре после открытия рентгеновских лучей и явления радиоактивности было установлено, что радиация не безразлична для человека и при определённых условиях вызывает серьёзные необратимые процессы в организме, приводящие к летальному исходу. Естественно, эти факты привлекли внимание учёных в плане раскрытия механизма действия нового вредного фактора воздействия, установления закономерностей воздействия ионизирующих излучений на живой организм и определения допустимых лучевых нагрузок.

Учитывая недостаточность знаний в области воздействия малых доз радиации, Научный комитет ООН и Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) рекомендуют экстраполировать данные об отдалённых последствиях, обусловленных большими дозами, в области малых доз, предполагая линейную зависимость между дозой облучения и биологическим эффектом [1].

Предположение о наличии линейной зависимости «доза–эффект» в области малых уровней облучения приводит к выводу о беспороговом действии радиации, т.е. об отсутствии безвредных доз облучения, в том числе и обусловленных естественным фоном. Кроме того, при такой экстраполяции не учитывается зависимость радиационного эффекта от темпа облучения.

Одинаковый механизм взаимодействия с веществом ионизирующих излучений различной природы, будь то рентгеновское и γ -излучение, β - и α -частицы, позволяют утверждать, что эффекты облучения будут сопоставимыми, при этом не имеет значения расположение источника: внутри организма в виде поступивших туда радиоактивных веществ или вне организма. Главное, чтобы поглощённая энергия излучения в тканях была одинаковой не только за весь период воздействия, но и в каждый отрезок времени. Это значит, что не только суммарная доза, но и мощность дозы излучения должна быть одинаковой [2]. Следовательно, фактор времени является определяющим величины мощности дозы, в помещениях создаваемой строительными материалами.

Естественные радионуклиды, содержащиеся в строительных материалах и конструкциях, используемых для возведения зданий и сооружений, создают поле γ -излучения в помещении. Соотношение между мощно-

стью дозы в помещениях и удельной активностью радионуклидов в строительных материалах зависит от ряда факторов: спектра γ -излучения этих радионуклидов, размеров и формы помещения, толщины стен и перекрытий и т.д.[3].

Радиоактивность строительных материалов обусловлена природными долгоживущими радиоактивными семействами урана-238 (^{238}U), тория-232 (^{232}Th), а также калием-40 (^{40}K). Они присутствуют во всех горных породах [4, 5], которые используются в качестве сырьевых строительных материалов. Следует подчеркнуть, что радиоактивность горных пород рассматривается как источник природного радиационного фона лишь до того, как её использовал человек. Как только минеральное сырьё извлечено из недр и пущено, в какую либо технологию (изготовления строительных материалов, сооружение жилья и т.д.), природный источник радиации превращается в антропогенный. Это означает, что как наличие самого источника, так и уровни вызванного им облучения зависят от деятельности человека и, в частности, от выбранной им технологии. Поэтому очевидна необходимость тщательного контроля, как за радиоактивностью строительного сырья, материалов, так и за технологией их использования.

Естественные радиоактивные ряды имеют между собой большое сходство. Конечными стабильными продуктами в семействах урана, тория и актиноурана являются изотопы свинца. В средней части каждого из рядов находится один изотоп радона. Изотопы радона делят ряды на специфические части. Начальные отрезки содержат наиболее долгоживущие члены рядов – изотопы элементов, расположенных в периодической системе после радона (Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U). Конечные отрезки всех трёх семейств сходны даже по внешней конфигурации. В них находятся наиболее короткоживущие продукты - изотопы свинца, висмута, полония, таллия и астата. Самый долгоживущий продукт распада урана - радий ^{226}Ra . Его период полураспада равен 1600 лет. Основной вклад в мощность дозы γ - излучения, обусловленной радионуклидами уранового семейства создают дочерние продукты распада ^{222}Rn (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Po и ^{210}Pb). Они находятся в радиоактивном равновесии с ^{222}Rn , если эманирование материала мало. Вклад предшественников ^{226}Ra в мощность дозы, создаваемую равновесным урановым семейством составляет около 2%. Поэтому сдвиг радиоактивного равновесия между ураном и радием не может значительно изменить мощности дозы, если она определена по удельной активности ^{226}Ra .

В природных строительных материалах нарушение радиоактивного равновесия в урановом семействе встречается редко. Однако оно может

иметь место в материалах, прошедших переработку и используемых для производства строительных материалов и конструкций. В частности нарушение радиоактивного равновесия наблюдается при производстве строительных материалов с использованием тепловой обработки.

Так, накопленный нами к настоящему времени большой экспериментальный материал, а также данные полученные при натурных измерениях проб строительных материалов показывает, что при тепловой обработке и обжиге строительных материалов происходит изменение удельных активностей ряда естественных радионуклидов в материале.

В процессе тепловой обработки и обжига сырьевые строительные материалы претерпевают ряд последовательных физико-химических превращений, результатом которых является получение строительного материала с заданными свойствами.

С целью выявления закономерностей, определяющих изменение коэффициента эманирования под воздействием тепловой обработки, проводилось измерение радиационных характеристик ряда видов строительного сырья.

В процессе обжига (тепловой обработки) происходит изменение массы материала, коэффициента эманирования радона и эффективной удельной активности радия. Это объясняется тем, что обжиг при таких температурах приводит к разрушению первоначальной кристаллической решётки, появлению жидкой стеклофазы обжигаемого материала и перекристаллизации её в новообразования. Как следствие этого, происходит «герметизация» радия в новых агрегатах. Образование оплавленной поверхности препятствует выделению эманаций в поры материала и уменьшает коэффициент эманирования и эффективную удельную активность радия, т.е. в материале происходит перераспределение атомов ^{222}Rn и ^{226}Ra . Значительная часть ^{222}Rn удаляется из материалов совместно с отходящими газами. Уменьшение концентрации ^{222}Rn и ^{226}Ra приводит к сдвигу радиоактивного равновесия между двумя частями ряда урана: ^{238}U - ^{226}Ra и ^{222}Rn - ^{206}Pb . Следствием этого является нарушение радиоактивного равновесия между ^{226}Ra , ^{222}Rn , а также продуктами распада радона и существенное изменение изотопного состава природных радионуклидов.

Мощность дозы γ - излучения для излучений различных естественных радионуклидов близки между собой [6]. Более того, если их заменить функцией для монохроматического излучения с энергией 1 МэВ, то погрешность такой замены не превысит 5% расчётной мощности дозы. Вместе с тем это существенно облегчает процедуру расчётов.

Мощность дозы в современных каменных зданиях составляет [3]:

$$D_{\text{пом}} = 0,79 A_{\text{эф}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{эф}}$ – эффективная удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг.

Коэффициент перехода от поглощённой в воздухе дозы к эффективной эквивалентной дозе равен 0,72 Зв/Гр [7]. Оценить годовую эффективную эквивалентную дозу γ -излучения (мкЗв/год) для людей, проживающих в современных каменных зданиях можно по формуле:

$$H_{\text{пом}} = 4,74 A_{\text{эф}}. \quad (2)$$

Радон быстро претерпевает последующие радиоактивные превращения вплоть до ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22$ года). Согласно закону радиоактивного распада половинное количество ^{210}Pb и ^{210}Po образуется из ^{222}Rn только к исходу 22 лет. Как указывалось выше в спектрах излучения дочерних продуктов радона имеется составляющая жёсткого γ -излучения. Равновесие содержания с ^{222}Rn этих радиоизотопов может установиться только приблизительно за 140 лет. Поэтому вклад в суммарный радиационный фон строений будет экспоненциально возрастать в течение 140 лет.

Зависимость годовой эффективной эквивалентной дозы γ -излучения от времени можно учесть, введя в выражение (2) дополнительное слагаемое учитывающее изменение активностей дочерних продуктов радона. С учётом фактора времени и согласно закону радиоактивного распада выражение для расчёта годовой эффективной эквивалентной дозы γ -излучения примет вид:

$$H_{\text{пом}} = 4,74(A_{\text{эф}} + A_{\text{Rn}}(1 - e^{-\lambda t})), \quad (3)$$

где A_{Rn} - удельная активность радона, Бк/кг.

Т.е. доза γ -излучения в помещениях определяется в основном эффективной удельной активностью естественных радионуклидов и удельной активностью дочерних продуктов распада радона в используемых строительных материалах.

Необходимо отметить, что концентрации элементов составляющих радиоактивный ряд урана - 238 и отношение между ними в строительных материалах существенно отличается от соответствующих величин в горных породах. Расчёты показывают, что наступление полного радиоактивного равновесия в строительном материале возможно лишь через 10 периодов полураспада ^{226}Ra . Необходимость постоянного контроля мощности дозы в

помещениях, зданиях и сооружениях продиктована ростом удельной активности радиоактивных изотопов ряда урана-238.

Предотвращение повышенного облучения населения во вновь строящихся зданиях, обусловленного увеличением дозы γ -излучения естественных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах во времени, должно обеспечиваться нормированием этих показателей. Поэтому разработка теории и практики таких оценок вообще и применительно к данной задаче представляется весьма актуальной. Решение этих вопросов возможно только на основе анализа результатов широкомасштабных исследований мощности дозы γ -излучения в существующих зданиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Doffin G.W., Marley W.G.* Risk evaluation of the public on the event of accident at nuclear installations. Radiological protection Harwell, Didcot, Bereshire, 1969; Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации, 1962.

2. *Булдаков Л.А.* Радиоактивные вещества и человек. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.

3. *Крисюк Э.М.* Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.

4. *Рыбьева Т.Н.* Природные минералы и породы, применяемые в строительстве. – М.: Высшая школа, 1963. – 125 с.

5. *Перцов Л.А.* Природная радиоактивность биосферы. – М.: Атомиздат, 1964. – 144 с.

6. *Карпов В.И., Крисюк Э.М.* Фотонное излучение естественных радионуклидов: Препринт НКРЗ-79-44. М.: Атомиздат, 1979. – 148 с.

7. *Krisiuk E.M.* Airborn radioactivity in buildings// Health. Phys. 1980. Vol. 38. – P. 199–202.

В.А. Спири́н, С.В. Казначеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, В.Т. Ерофеев

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРКАСОВ НА ГРАНИТНОМ ЩЕБНЕ

Мордовский государственный университет

Одним из направлений совершенствования строительных композитов является получение материалов каркасной структуры. способствует получению эффективных композитов с улучшенными эксплуатационными показателями, снижению расхода связующего и трудоемкости изготовления изделий. Каркасная технология [1]. Технология их изготовления включает предварительное создание оптимальных смесей заполнителей и склеивание зерен друг с другом с помощью клеевых составов на основе различных связующих. Многие свойства как строительных композиций, так и затвердевших материалов можно улучшить за счет введения различных до-

бавляемых компонентов, которые делятся на пластифицирующие, уплотняющие, биоцидные и т.д. Настоящие исследования посвящены разработке каркасов, составленных на цементном клее, модифицированном биоцидными препаратами на основе гуанидина и гранитном щебне.

В качестве материала для исследования использовались цементные композиты на основе бездобавочного портландцемента М500 ОАО «Мордовцемент», удовлетворяющего требованиям ГОСТ 10178–88. В качестве крупных заполнителей применялся гранитный щебень фракции 5–10 мм, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8267–93. Готовились равноподвижные смеси с модифицирующими добавками, в качестве которых использовались препараты на основе гуанидина, выпускаемые в промышленном масштабе под марками «Тефлекс Антиплесень», «Тефлекс Антисоль смывка», «Тефлекс Реставратор» «Тефлекс Защита для металла», «Тефлекс дезинфицирующий» и «Тефлекс индустриальный». Данные добавки содержат полигексаметиленгуанидин и способствуют повышению биостойкости строительных композитов и позитивно влияющих на их физико-механические свойства. Модифицированные цементные составы имеют повышенную биостойкость (обладают грибостойкими и фунгицидными свойствами) и пригодны для применения в качестве клеевых композиций. [2, 3]. Следует отметить, что ведение всех рассмотренных добавок, содержащих гуанидин, оказывает пластифицирующее действие и оптимизирует соотношение жидкой фазы и сухих компонентов необходимое для создания равноподвижной смеси. При этом наибольший пластифицирующий эффект достигается при применении препаратов «Тефлекс Антиплесень» и «Тефлекс Антисоль смывка». Испытания проводились на образцах в виде призм размерами 40×40×160 мм.

Исследование заключалось в установлении основных физико-механических свойств каркасов и кинетики их изменения в процессе твердения. Результаты испытаний модифицированных композитов сравнивались с результатами испытаний образцов, не содержащих добавок, что также отображено на графиках. Полученные графические зависимости изменения прочности на сжатие и при изгибе, а также средней плотности каркасов на гранитном щебне и цементном клее, отвержденных в нормальных условиях в течение 3, 7 и 28 суток, от вида модифицирующих добавок приведены на рис. 1–3.

Максимальная средняя плотность каркасов отмечена при использовании клеевых составов, модифицированных препаратами «Тефлекс Реставратор» и «Тефлекс Защита для металла» (см. рис. 1).

Установлено, что по прочностным свойствам, как при сжатии, так и при изгибе ряд каркасов, склеенных составами, модифицированными биоцидными препаратами на основе гуанидина превосходит бездобавочные. Более высокие прочностные характеристики при испытании на сжа-

тие в ранние сроки твердения (3-и и 7-е сутки) выявлены при введении препаратов «Тефлекс Антиплесень», «Тефлекс Антисоль смывка» и «Тефлекс индустриальный», а на 28-е сутки максимальная прочность была у образцов, содержащих в качестве модификаторов «Тефлекс Реставратор», «Тефлекс дезинфицирующий», «Тефлекс Защита для металла». Их прочностные характеристики более чем на 40%, выше чем у контрольных бездобавочных (рис. 2).

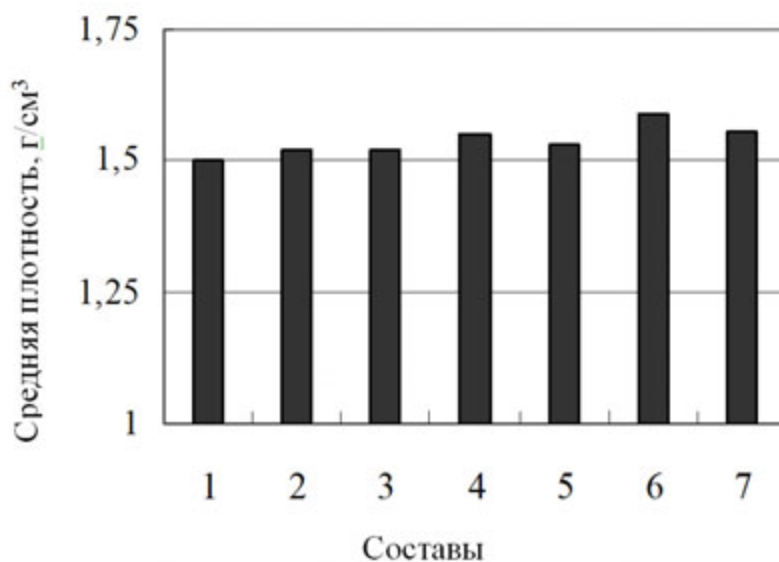


Рис. 1. Зависимость изменения средней плотности каркасов на гранитном щебне и цементном клею от вида биоцидных добавок: 1 – бездобавочный состав; 2 – «Тефлекс Антиплесень»; 3 – «Тефлекс Антисоль смывка»; 4 – «Тефлекс Реставратор»; 5 – «Тефлекс Защита для металла»; 6 – «Тефлекс дезинфицирующий»; 7 – «Тефлекс индустриальный»

При испытании на изгиб наблюдается сходная тенденция – на 28-е сутки все биостойкие материалы показали более высокую прочность по сравнению с бездобавочными. Высокая прочность установлена при введении модифицирующих препаратов «Тефлекс Реставратор», «Тефлекс дезинфицирующий», «Тефлекс Защита для металла». Прочностные характеристики композитов с указанными добавками выше до 40% чем, у контрольных бездобавочных материалов (см. рис. 3).

На примере каркасов, изготовленных на гранитном щебне и цементном вяжущем, подтверждена эффективность применения биоцидных клеевых составов, модифицированных препаратами на основе гуанидина. Показано, что на 28-е сутки все биостойкие материалы показали более высокую прочность по сравнению с бездобавочными. Таким образом, что использование разработанных составов позволяет не только повысить стойкость композитов в биологических и химических агрессивных средах, но и оптимизировать их физико-механические свойства.

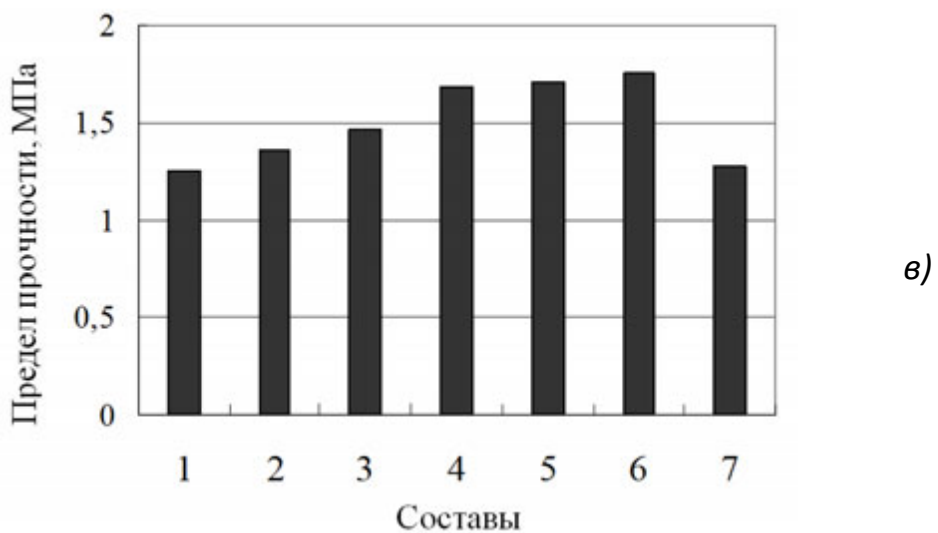
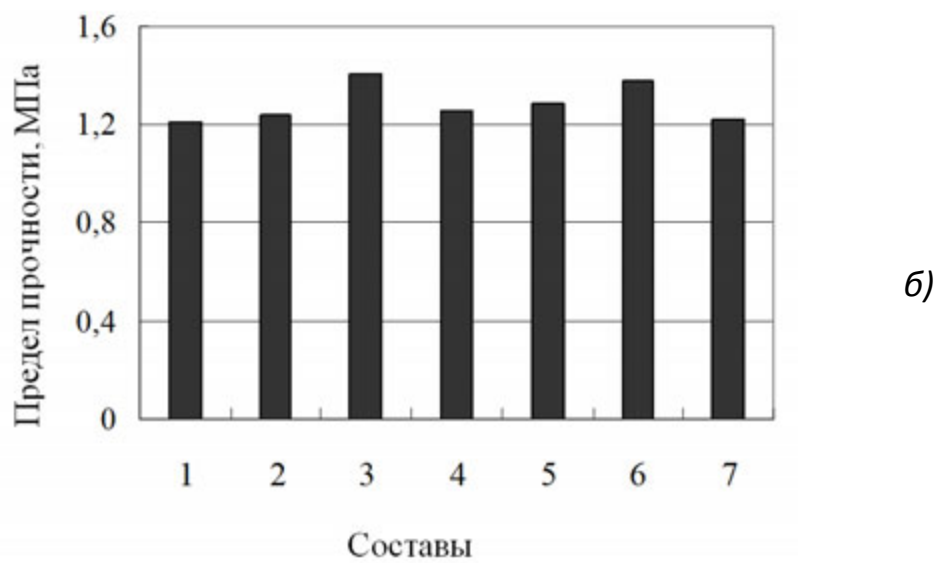
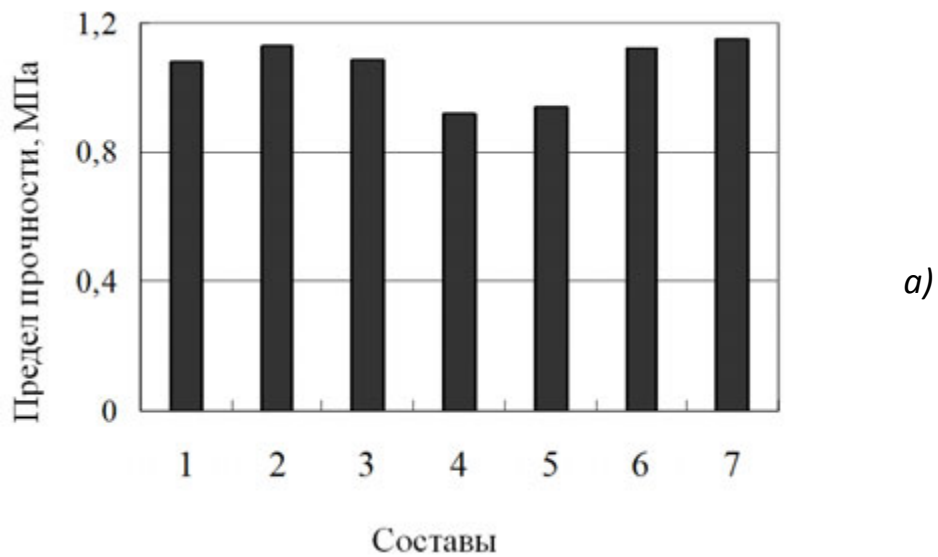
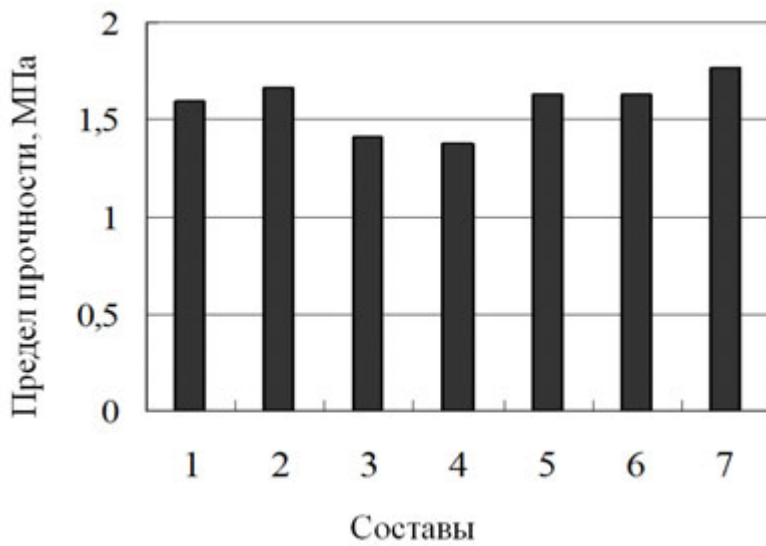
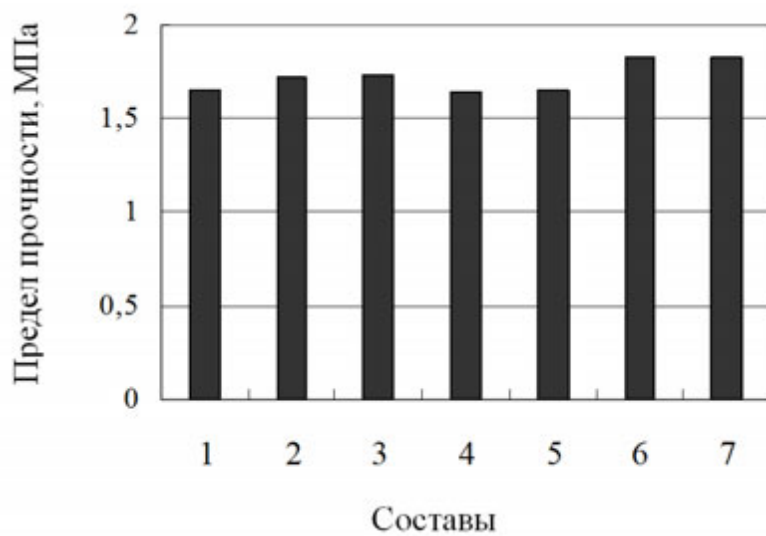


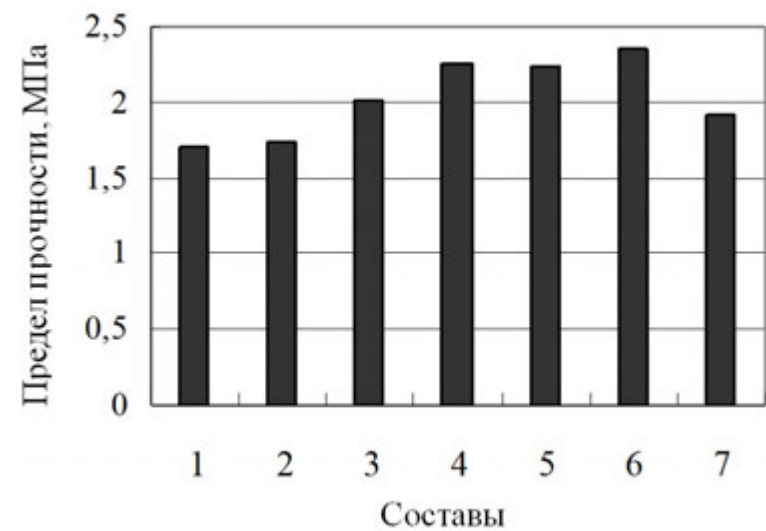
Рис. 2. Зависимость изменения прочности на сжатие каркасов на гранитном щебне и цементном клее, отвержденных в течение 3 (а), 7-и (б) и 28-и (в) суток, от вида биоцидных добавок (обозначения те же)



a)



б)



в)

Рис. 3. Зависимость изменения прочности при изгибе каркасов на гранитном щебне и цементном клее, отвержденных в течение 3 (а), 7-и (б) и 28-и (в) суток, от вида биоцидных добавок (обозначения те же)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ерофеев В.Т., Мищенко Н.И., Селяев В.П., Соломатов В.И.* Каркасные строительные композиты : в 2 ч. / под ред. акад. РААСН В.И. Соломатова. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1995. — 372 с.

2. *Светлов Д.А., Спиринов В.А., Казначеев С.В. и др.* Исследование физико-технических свойств цементных композитов с биоцидной добавкой «Текс» // Транспортное строительство, №2, 2008. — С. 21–23.

3. *Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Светлов Д.А. и др.* Защита зданий и сооружений биоцидными препаратами на основе гуанидина от микробиологических повреждений : учеб. пособие / под общ. ред. д-ра техн. наук проф., чл.-корр. РААСН В.Т. Ерофеева и канд. техн. наук доцента Д.А. Светлова. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. — 164 с.

С.А. Струлев, В.П. Ярцев, Д.В. Соломатин

ВЛИЯНИЕ БОЯ СТЕКЛА НА ТВЕРДОСТЬ ПОЛИЭФИРБЕТОНА

Тамбовский Государственный Технический Университет

Данная работа посвящена изучению влияния введения боя стекла на твердость полимербетона на основе полиэфирной смолы. Так как исследуемые составы используются в том числе и для устройства покрытий полов, то твердость является одним из важных эксплуатационных качеств. В том числе становится необходимо прогнозировать основные параметры работоспособности полиэфирбетонов при пенетрации в широком интервале эксплуатационных напряжений и температур.

В качестве связующего была использована полиэфирная смола марки ПН-1 КТ. Для снижения вязкости смолу предварительно подогрели до 60°C. После введения заполнителя, ускорителя и отвердителя заливали смесь в формы и выдерживали 24 часа. По истечении суток образцы извлекались из форм и помещались в электрическую печь, где выдерживались при температуре 80°C в течение 2-х часов, без учета времени разогрева и остывания образцов.

За исходный состав было принято следующее процентное соотношение компонентов композита по массе: полиэфирная смола ПН-1 КТ – 25%, заполнитель (щебень мелких фракций) – 25 %, наполнитель (песок мелкий Мк=1,08) – 49,25%, отвердитель Бутанокс М50 – 0,25%, ускоритель УНК (нафтенат кобальта) – 0,5%.

В полимербетон в качестве агента физико-химической модификации вводили бой стекла, измельченный до порошкообразного состояния, в различном процентном соотношении (2, 4, 6, 8 и 10%) взамен такого же по массе количества песка.

Твердость материала, при деформировании пенетрацией, определяли по формуле (1)

$$H_i = \frac{P_i}{\pi \cdot d \cdot h}, \quad (1)$$

где H – величина прикладываемого напряжения, МПа; P – величина прикладываемой нагрузки, Н; h – глубина погружения индентора (шарика), мм; d – диаметр отпечатка, м.

На рис. 1 представлен график зависимости твердости от процентного содержания боя стекла при температуре 18°C.

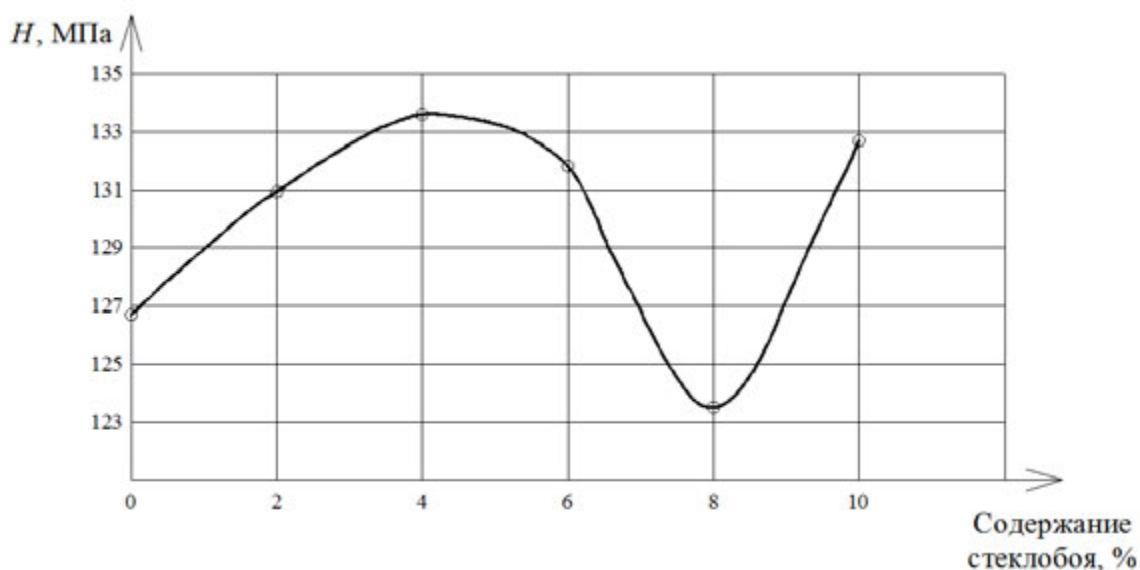


Рис. 1. Значение твердости полимербетона в зависимости от процентного содержания боя стекла

Рост твердости полимербетона объясняется, по-видимому, высокой удельной поверхностью вводимого материала, которая превышает удельную поверхность песка. Это в свою очередь приводит к переходу олигомера в пленочное состояние. Переход сопровождается ориентационными процессами в структуре полимера, что само по себе может привести к увеличению прочностных показателей отвержденной композиции. Кроме того увеличивается дисперсность заполнителя, что также приводит к росту твердости материала.

При дальнейшем увеличении количества вводимого наполнителя (бой стекла) прочность начинает падать. Это можно объяснить тем, что при введении слишком большого количества мелкодисперсного наполнителя наблюдается нехватка смолы для полного смачивания частиц наполнителя и заполнителя и сшивания их между собой. В таких случаях в материале появляется большое количество пор и других дефектов, нарушается сплошность материала.

Определение долговечности при испытаниях на твердость при пенетрации проводили по нижеследующей методике. До приложения нагрузки образцы термостатировали в течение часа. Затем при заданной температуре и напряжении, с помощью секундомера, фиксировали время погружения индентора (металлический шарик диаметром 6 мм) на заданную глубину (h). Для серии образцов фиксировали изменение величины деформации через определенные промежутки времени, с помощью индикатора часового типа. Эксперимент проводили при температурах (18, 30, 40 °С). Для получения одной точки в одинаковых условиях испытывали 6 образцов. За конечный результат принимали их среднее арифметическое значение.

По полученным результатам для различных составов полимербетона были построены прямые зависимости логарифма долговечности от напряжения для различных температур. На рисунке 1 представлена данная зависимость для исходного состава полимербетона (не содержащего боя стекла). Введение в состав полимерной композиции боя стекла не изменяет характера зависимости.

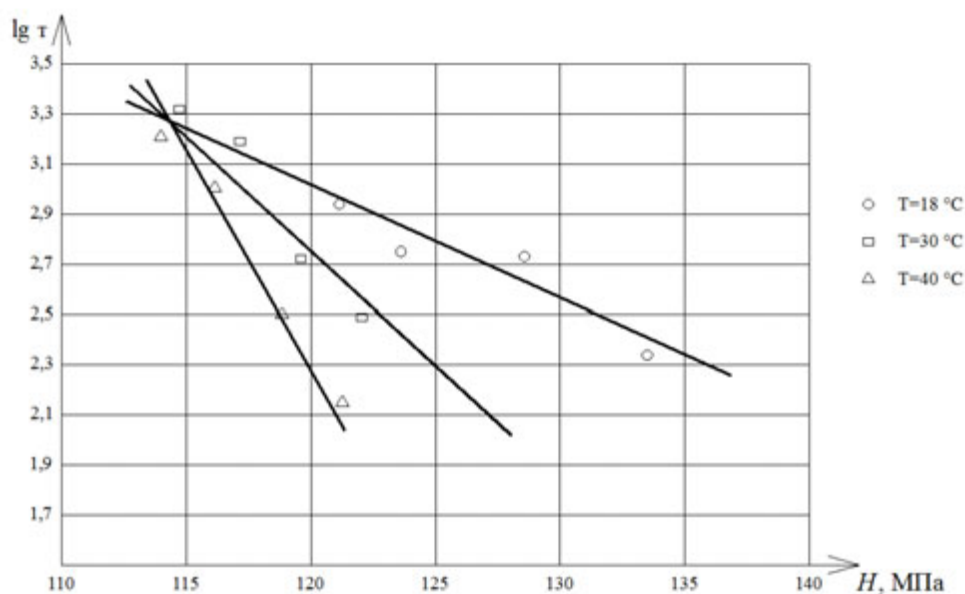


Рис. 2. Зависимость долговечности от напряжений при пенетрации для полимербетона не содержащего боя стекла

Из рисунка видно, что для материала получен «обратный» пучок. Обработка результатов эксперимента проводилась на основе кинетической концепции разрушения и деформирования твердого тела, согласно которой для определения долговечности материала в данном случае используется формула:

$$\lg \tau = \lg \tau_m^* + \frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{2,3RT} \left(\frac{T_m^*}{T} - 1 \right). \quad (2)$$

Эмпирические константы, входящие в уравнение (1), определялись графоаналитическим методом. Для исходного материала они имеют следующие значения: $\lg \tau_m^* = 3,22$ - период колебания кинетических частиц, $U_0 = 595$ кДж/моль – эффективная энергия активации, $\gamma = 53,71$ кДж/(моль×МПа) – структурно-механическая константа, $T_m = 351$ К – предельная температура существования полимера. Значения эмпирических констант для полиэфирбетона, модифицированного введением боя стекла, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения эмпирических констант полиэфирбетона при пенетрации

Бой стекла, %	τ_m , с	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль×МПа)	T_m , К
0	1659,59	595	53,71	351
2	1258,92	571,5	53,51	350,88
4	$6,61 \cdot 10^5$	581,8	53,59	348,43
6	1995,26	571,2	53,51	351
8	977,23	595	53,71	351
10	2951,21	571,5	53,51	351

Изменение значений констант незначительно, что свидетельствует об одинаковой физической структуре материалов. Повышение долговечности полиэфирбетона с использованием боя стекла можно объяснить ростом периода колебаний кинетических единиц, что свидетельствует о более высоком качестве формирования структуры материала.

Введение боя стекла в полимербетон на полиэфирном связующем значительно повышает его долговечность, снижает восприимчивость к повышенным температурам, не меняя, однако, природы материала, а лишь повышая качество его структуры. Для использования в строительстве можно рекомендовать состав полимербетона на основе полиэфирной смолы, содержащий 4% боя стекла по массе. Данный состав обладает повышенной твердостью (порядка 5..6%) и долговечностью по сравнению с исходным. Для предложенных составов получены эмпирические константы кинетической теории разрушения и деформирования твердого тела, что позволяет прогнозировать основные параметры работоспособности в широком интервале эксплуатационных напряжений и температур и более полно использовать ресурс материала.

Е.Н. Сураева

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТОВ

Мордовский государственный университет

Одними из наиболее актуальных вопросов строительного материаловедения являются исследования по биодеградации и биосопротивлению различных строительных материалов, которые в процессе эксплуатации подвергаются разрушающему действию биологически активных сред.

Для повышения долговечности и безопасности существующих строительных конструкций необходимо принимать меры, снижающие или исключающие агрессивное биологическое воздействие. Одним из наиболее эффективных методов борьбы против биопоражения зданий и сооружений, повышения биологического сопротивления строительных материалов и конструкций является введение в состав композитов различных биоцидных препаратов. В связи с тем, что при изготовлении материалов с биоцидными свойствами непосредственно на объекте строительства из-за целого ряда факторов не всегда возможно гарантировать приобретение ими требуемых свойств, мы предложили изготавливать данные материалы из биоцидных цементов и сухих смесей, обладающих биоцидными свойствами.

В проведенных исследованиях вяжущее получали путем совместного помола бездобавочного портландцемента завода ОАО «Мордовцемент» марок М500 и М400, а также модифицирующей добавки – натрия сернокислого безводного, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 4166-78.

За контрольные были приняты цементно-песчаные растворы состава Ц:П=1:3 при В/Ц=0,46 (расплыв по вискозиметру 90 мм) на портландцементе М400 Д0 и Ц:П=1:3 при В/Ц=0,63 (расплыв 92 мм) на портландцементе М500 Д0, приготовленные традиционным способом. Составы с добавкой изготавливались с соблюдением условия равной подвижности с контрольным составом для достижения одинаковой удобоукладываемости.

Введение в состав цементных композиций натрия сернокислого безводного при сохранении равной подвижности растворной смеси ведет к увеличению необходимого водоцементного отношения, причем для материалов на основе портландцемента М400 Д0 происходит существенно более значительное увеличение требуемого соотношения жидкой и твердой фаз, особенно резкий скачек наблюдается при введении 2,5 мас. ч. добавки – происходит увеличение В/Ц с 0,46 (бездобавочный состав) до 0,62.

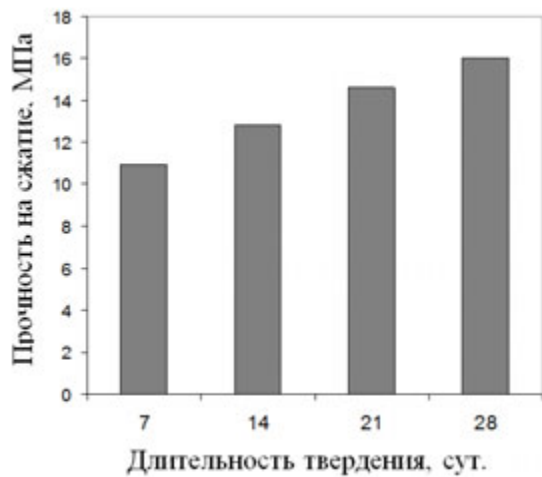
На первом этапе исследований нами были исследованы прочностные характеристики композитов. Для определения зависимостей изменения прочностных показателей и исследования кинетики роста прочности были изготовлены образцы с различным содержанием добавки, которые по истечению 7, 14, 21 и 28 суток подвергались испытанию на прочность при сжатии (рис. 1, 2).

Полученные результаты показывают, что при введении 2,5 и 5 мас. ч. натрия сернокислого увеличивается прочность цементных составов на величину от 18 до 35%. Введение добавки в количестве $\geq 7,5$ % от общей массы сухих компонентов приводит к резкому снижению прочностных показателей и развитию в структуре материалов микро и макротрещин.

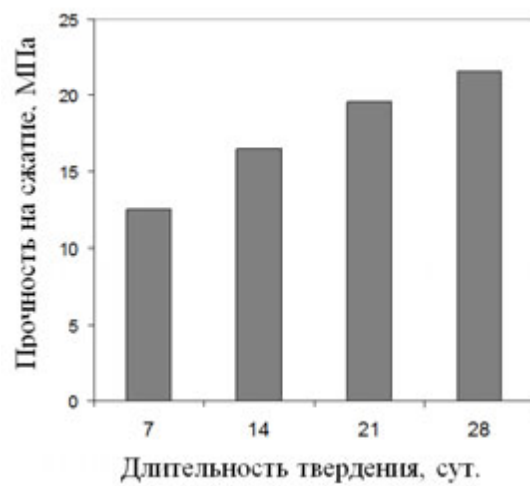
Водопоглощение является одним из основных свойств строительных материалов. Нами были проведены исследования зависимости изменения водопоглощения цементных составов на основе портландцементов М400 Д0 и М500 Д0 от содержания натрия сернокислого. Водопоглощение модифицированных цементных растворов оказалось существенно ниже, чем у бездобавочных. При этом минимальные значения получены для композитов, содержащих в своем составе 5 мас. ч. натрия сернокислого. Величина этого показателя по сравнению с контрольными составами снизилась на 35 и 21% для составов на основе цемента М400 Д0 и М500 Д0 соответственно.

Как показывает практика, одним из основных свойств строительных растворов, является их адгезия к различным поверхностям. В данной работе проведены исследования адгезии к бетонной и кирпичной поверхностям. Как следует из приведенных графических зависимостей (см. рис. 3 и 4), введение добавки в количестве 2,5–5 мас. ч. приводит к увеличению адгезии на величину до 32% по сравнению с бездобавочным составом, а при дальнейшем увеличении до 7,5–10 мас. ч. снижает адгезионную прочность цементных составов. Наибольшая прочность сцепления для обоих типов поверхностей достигнута при введении в рецептуру 5 мас. ч. добавки.

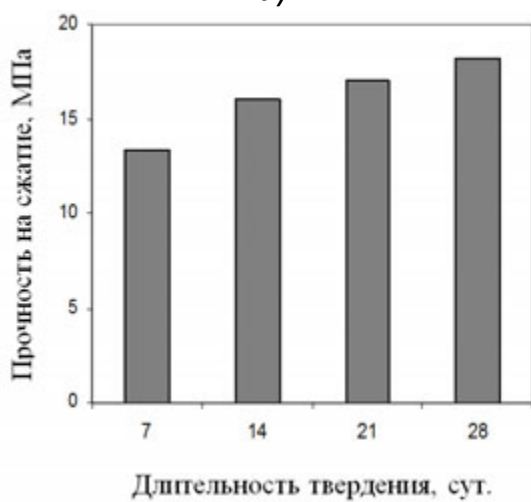
На втором этапе нами были проведены исследования, направленные на определение биологической стойкости цементно-песчаного раствора, изготовленного на основе полученного вяжущего. Исследование биологического сопротивления проводилось в соответствии с ГОСТ 9.049–91 (метод 1 и метод 3). Результаты испытаний приведены в табл. 1 и 2.



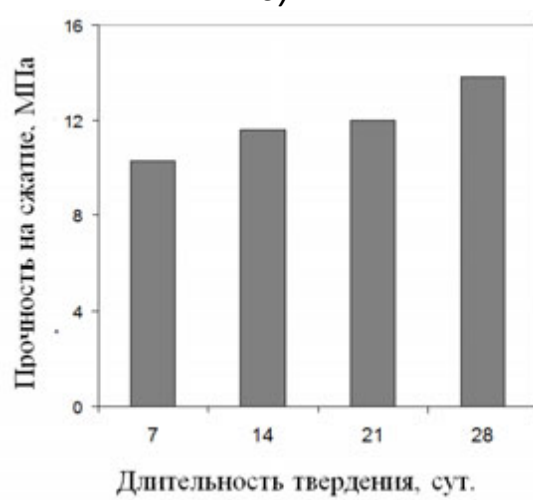
а)



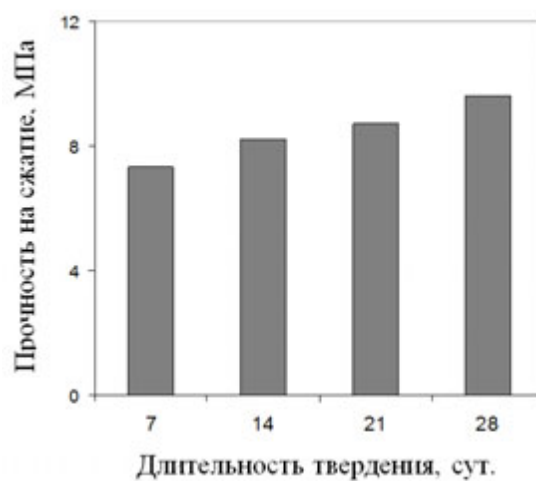
б)



в)

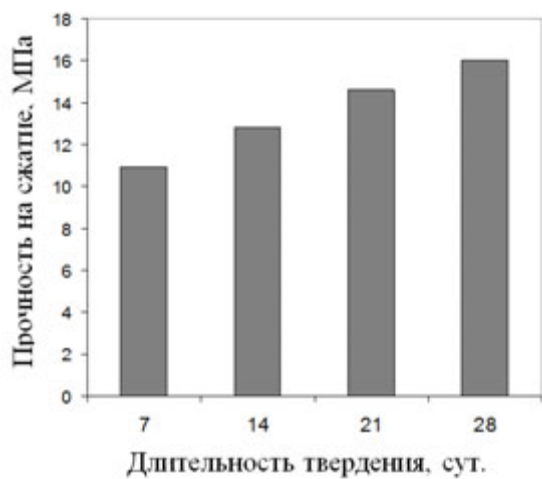


г)

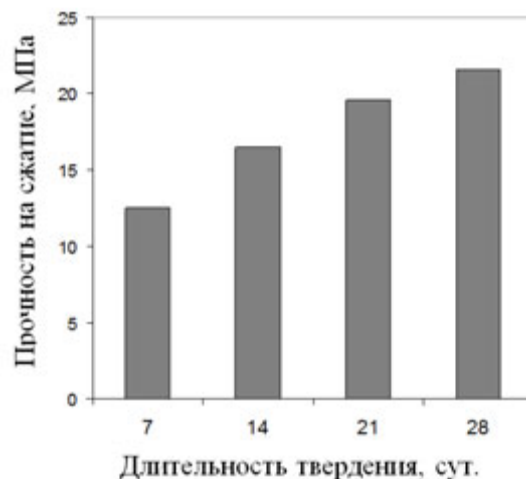


д)

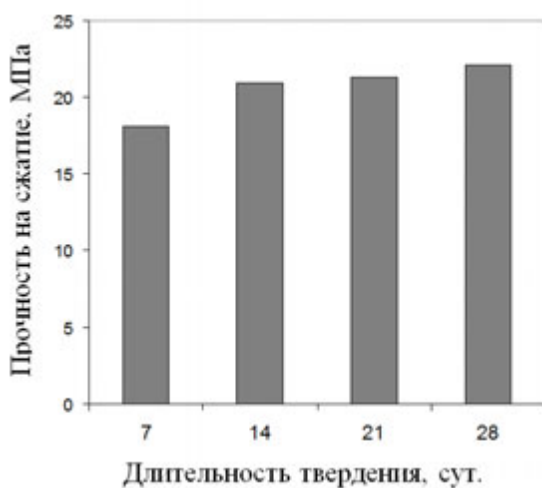
Рис. 1. Зависимость изменения прочности на сжатие составов на основе портландцемента М400 Д0 от длительности твердения и содержания добавки: а – контрольные составы без добавки; б – составы, содержащие 2,5 мас. ч. добавки, в – то же, 5 мас. ч., г – то же, 7,5 мас. ч., д – то же, 10 мас. ч.



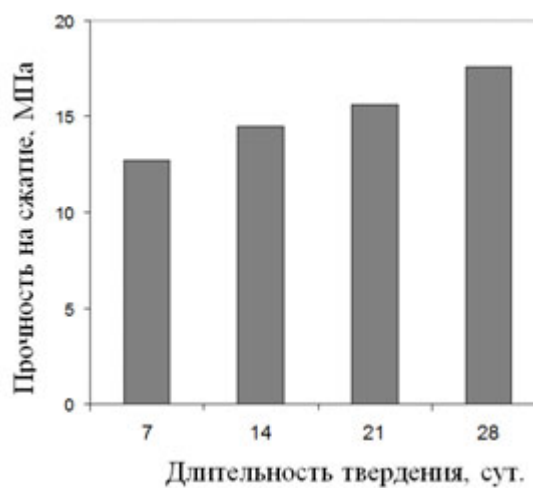
а)



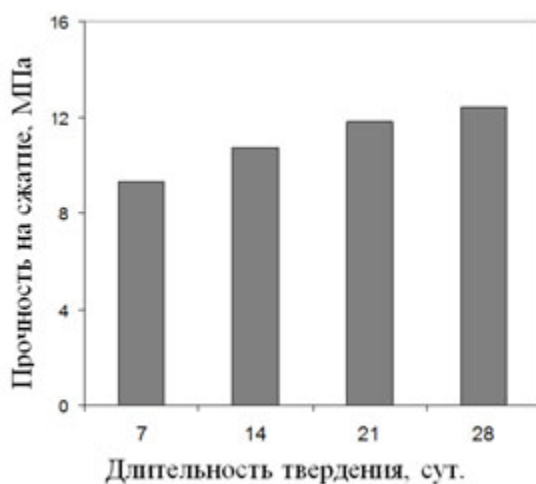
б)



в)



г)



д)

Рис. 2. Зависимость изменения прочности на сжатие составов на основе портландцемента М500 Д0 от длительности твердения и содержания добавки: а – контрольные составы без добавки; б – составы, содержащие 2,5 мас. ч. добавки, в – то же, 5 мас. ч., г – то же, 7,5 мас. ч., д – то же, 10 мас. ч.

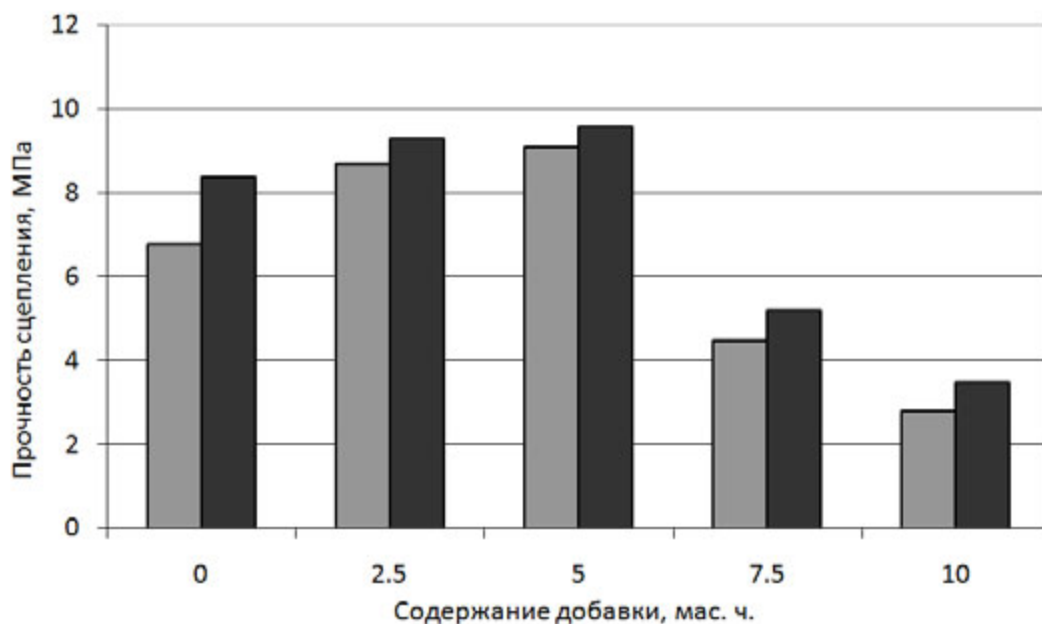


Рис. 3. Зависимость изменения адгезионной прочности цементных составов бетонной поверхности от содержания добавки натрия сернокислого:

- – состав на основе портландцемента М400 Д0,
- – состав на основе портландцемента М500 Д0.

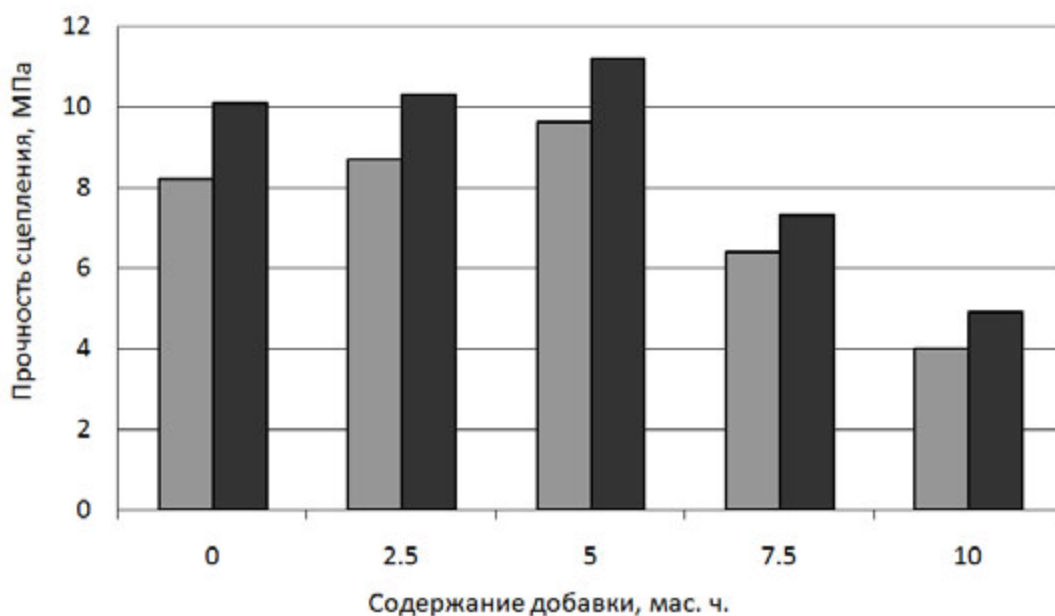


Рис. 4. Зависимость изменения адгезионной прочности цементных составов к кирпичной поверхности от содержания добавки натрия сернокислого (обозначения те же)

Таблица 1

Исследование биостойкости материалов на основе портландцемента
М400 Д0 модифицированного натрием сернокислым

Содержание добавки, мас. ч.	Устойчивость к действию грибов, баллы		Характеристика по ГОСТу
	Метод 1	Метод 3 (R^* , мм)	
0	3	5; (0)	Негрибостоек
2,5	1	2; (0)	Грибостоек
5	0	0; (18)	Фунгициден
7,5	0	0; (20)	Фунгициден

R^* – радиус зоны ингибирования роста грибов.

Таблица 2

Исследование биостойкости материалов на основе портландцемента
М500 Д0 модифицированного натрием сернокислым

Содержание добавки, мас. ч.	Устойчивость к действию грибов, баллы		Характеристика по ГОСТу
	Метод 1	Метод 3 (R^* , мм)	
0	3	4; (0)	Негрибостоек
2,5	3	0; (12)	Грибостоек
5	1	0; (12)	Фунгициден
7,5	0	0; (9)	Фунгициден

Анализ исследований биостойкости материалов на основе портландцемента М400 Д0 (см. табл. 1) показывает, что введение в состав натрия сернокислого в концентрации 2,5 мас. ч. придает композиту грибостойкость, а в концентрации 5 и 7,5 мас. ч. сообщает ему фунгицидные свойства, при этом зона ингибирования роста грибов составила 18 и 20 мм соответственно. Следует отметить, что у составов содержащих более 7,5 мас. ч. препарата была обнаружена интенсивная кристаллизация.

Исследование биостойкости композитов на основе портландцемента М500 Д0 (см. табл. 2) показывает, что введение в состав натрия сернокислого в концентрации 2,5 мас. ч. придает материалу грибостойкость, однако в отличие от составов на основе портландцемента М400 Д0 вокруг образца на питательной среде наблюдается зона отсутствия роста грибов. В концентрации 5 и 7,5 мас. ч. натрий сернокислый придает композитам фунгицидные свойства, при этом зона ингибирования роста грибов составила 12 и 9 мм соответственно, а, учитывая, что у составов содержащих более 7,5 мас. ч. препарата так же была отмечена интенсивная кристаллизация, столь высокое содержание добавки не целесообразно.

В результате проведенных экспериментов установлено, что введение натрия сернокислого увеличивает биологическую стойкость цементных композитов и оказывает существенное влияние на их физико-механические свойства. Так введение в рецептуру 5 мас. ч. данной добавки приводит к увеличению адгезии на величину до 32% по сравнению с бездобавочным составом. При введении 2,5 и 5 мас. ч. препарата увеличивается прочность цементных составов на величину от 18 до 35%.

Д.К. Тимохин, Г.Е. Вербин

БЕТОНЫ С КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА ФЕНОЛА

Саратовский государственный технический университет

В современных условиях производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций широкое использование пластификаторов с различной эффективностью объясняется большим техническим и экономическим эффектами. Применение комплексных химических модификаторов для цементных бетонов с использованием суперпластифицирующих веществ обеспечивает реализацию следующих основных направлений:

- 1) производство высокоподвижных бетонных смесей с сокращением энергозатрат и трудозатрат на приготовление и уплотнение бетонных смесей;
- 2) максимальное повышение прочностных характеристик бетона;
- 3) создание условий сокращения тепловых затрат на тепловлажностную обработку, при этом достигается условие повышения производительности технологических линий;
- 4) достигается реальный эффект экономии бетона, арматурной стали при конструировании конструкций.

Экспериментально установлено, что интенсификация структурообразования цементного камня в присутствии органических добавок и ускорителя твердения оказывает влияние на рост прочности на ранних сроках твердения. Для сопоставимости результатов во всех сериях экспериментов применялся портландцемент марки ПЦ 500 Д-0 ОАО «Вольскцемент» ГОСТ 10178-85 одной партии.

Применение ускорителя твердения в комплексе с добавкой на основе алкилзамещенных фенолов (пКФ) компенсирует блокирующий эффект пластифицирующей добавки на ранней стадии твердения. Из рис. 1 видно, что добавка пКФ с ускорителем твердения (сульфатом натрия) обладает наибольшей эффективностью при твердении бетона в 3-х суточном возрасте, прирост прочности по сравнению с контрольным составил 48,5%. В

проектном возрасте (28 суток) прочность бетона с добавкой ПКФ и ускоритель твердения превышает контрольную на 19,7% и сравнимо с показателями суперпластификатора С-3.

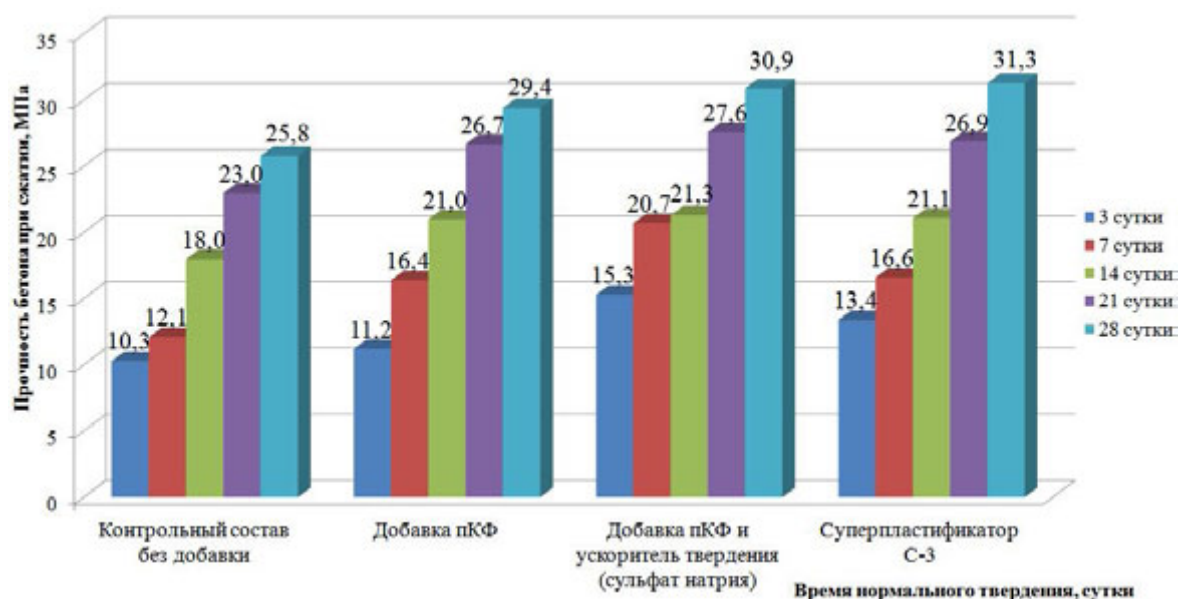


Рис. 1. Влияние добавок на прочность при сжатии бетона класса В20 во времени (ПЦ 500 Д-0, количество добавки 0,5% от массы цемента)

В ходе проведения исследований влияния комплексной добавки ПКФ и ускоритель твердения (сульфат натрия) был осуществлен подбор оптимальной дозировки для бетонов различных классов табл. 1. В качестве вяжущего использовался портландцемент марки М500Д-0 ОАО «Вольскцемент». Количество воды в составе цементного теста при экспериментальных исследованиях оставалось постоянным, контрольный состав цементного теста без добавки назначался с учетом показателя нормальной плотности цементного теста.

Из представленной табл. 1 видно, что наиболее эффективным процентным содержанием добавки можно считать 0,3÷0,5% от массы цемента для получения наибольшей прочности при постоянном содержании воды. При установленной дозировке прочностные показатели наибольшие для всех составов бетонов. Следует отметить, что комплексная добавка позволяет получить бетон на один класс выше контрольного состава без добавки.

Прочность бетона с пластифицирующими добавками в основном зависит от тех же факторов, что и для обычного бетона [1, 2]. Добавки ПАВ вносят дополнительный вклад в синтез прочности в той мере, в какой они влияют на пористость цементного камня и контактной зоны, а также в целом в морфологию микроструктуры [3]. Поэтому, исходя из особенностей, вносимых добавкой на основе ПКФ в процесс структурообразования цементного камня и бетона, нами изучено изменения прочности в зависимо-

сти от водосодержания, вида и количества добавки, расхода цемента и отношения песка к щебню.

Таблица 1

Прочность бетона при сжатии с добавкой на основе пКФ и ускорителя твердения (28 суток нормального твердения)

Класс бетона контрольного состава	Прочность при сжатии контрольного состава без добавки, МПа	Прочность бетона при сжатии при содержании добавки (в % от массы цемента), МПа			
		0,1	0,3	0,5	0,7
B27,5	35,1	36,7	41,0	41,8	42,1
B22,5	28,9	29,2	33,0	34,0	34,2
B20	25,8	26,3	29,6	30,9	31,3
B15	23,3	24,4	26,4	27,2	27,9
B12,5	17,3	18,0	19,7	20,3	20,9

С целью исключения случайных факторов, ниже приведены результаты исследований прочности образцов цементного бетона с комплексной добавкой на основе пКФ и сульфата натрия; суперпластификатора С-3, твердевших при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности 80÷90%.

Таблица 2

Влияние добавок на свойства бетонных смесей и бетонов при постоянной осадке конуса (контрольные составы с маркой по удобоукладываемости П2; классы бетона В30 и В40)

№ п/п	Составы бетонов				Вид добавки	Кол-во добавки, %	В/Ц	ОК, см	Снижение водопо-требности, %	Предел прочности при сжатии (R_{28}/R_7), МПа
	Цемент, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Щебень, кг/м ³	Вода, л/м ³						
1	500	610	1140	231	-	-	0,462	9	-	41,0/27,5
2	500	610	1140	187	С-3	0,5	0,374	9	19,0	49,2/34,7
3	500	610	1140	176	пКФ + Na ₂ SO ₄	0,5	0,352	9	23,8	52,0/37,7
4	560	590	1130	244	-	-	0,435	9	-	52,5/36,5
5	560	590	1130	202	С-3	0,3	0,361	9	17,0	60,1/42,0
6	560	590	1130	196	пКФ + Na ₂ SO ₄	0,3	0,350	9	19,5	63,5/43,8

Из табл. 2 следует, что для равноподвижных бетонных смесей комплексная добавка на основе пКФ и ускорителя твердения (сульфата натрия) позволяет получать бетоны сравнимые по прочности с бетонами с добавлением суперпластификатором С-3 при сокращении водопотребности. Снижение водопотребности бетонных смесей при введении добавки в рациональных пределах дозировок (0,3÷0,5%) на основе пКФ и сульфата натрия и связанное с этим повышение прочности бетона позволяет уменьшать, как соотношение цемента и заполнителей, так и использовать заполнители более низкого качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во АСВ, 2006. — 368 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. Изд. 2-е. М., 1998. — 768 с.
3. Соломатов В.И., Тахиров Н.К. Интенсивная технология бетона. М.: Стройиздат, 1989. — 284 с.

В.Д. Тухарели, Т.Ф. Чередниченко, Т.К. Акчурин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Рассмотрена возможность использования отходов переработки нефти в технологии цементных бетонов в качестве минеральной добавки. Показано, что введение различных добавок обеспечивает ресурсосбережение, является одним из универсальных способов регулирования свойств бетонов и повышения эффективности его производства.

Рациональное использование техногенного сырья Нижне-Волжского региона является одним из основных направлений решения ресурсосберегающих, экологических и экономических проблем. В свою очередь применение техногенных отходов в производстве строительных материалов и изделий значительно расширяет сырьевую базу строительной отрасли, и существенно повышает эффективность капиталовложений [1].

Предприятия нефтеперерабатывающей промышленности являются источниками массированного загрязнения объектов окружающей среды различными твердыми и жидкими отходами, содержащими разнообразные вредные химические вещества неорганического и органического происхождения, обусловленные спецификой производственного процесса.

Большинство отходов производства могут быть переработаны в местные строительные материалы. К таким отходам относятся шлаки, золы, различные виды шламов, осадков и т. п., содержащих всевозможные загрязнители, в том числе нефтепродукты.

Нефтешламы многие годы накапливаются на полигонах и создают огромную экологическую нагрузку на окружающую среду. Они влияют на грунтовые воды, почву и влекут за собой вторичное загрязнение атмосферы. Нефтешламы представляют собой многокомпонентные физико-химические системы, состоящие главным образом, из нефтепродуктов, воды и минеральных добавок. Разнообразный состав нефтешламов позволяет достаточно эффективно их использовать в различных отраслях промышленности, в том числе строительной. Однако степень утилизации их невысока, что приводит к накоплению нефтеотходов на полигонах и шламонакопителях. На нефтеперерабатывающих заводах нашей страны уже накоплено более 95 млн. т отходов, утилизация которых может дать существенный экономический эффект [2].

На Волгоградском нефтеперерабатывающем заводе при производстве присадок для масел образуется отход, который после сушки представляет мелкодисперсный алюмосиликатный порошок с низкой насыпной плотностью и очень развитой активированной углеродом поверхностью. Минеральная часть отхода представлена преимущественно оксидами кремния (более 70 масс. %) и алюминия (до 15 масс.%), а органическая часть – смолообразными продуктами (до 40%). По составу рассматриваемый отход близок к угольно-минеральным материалам с алюмосиликатной матрицей в качестве минеральной части [3].

Анализ технической литературы [4, 5, 6] показал возможность использования данного отхода в качестве минеральной добавки при производстве раствора и бетона, которая заключается в следующем. Кальциевые силикаты, алюминаты и алюмоферриты, составляющие клинкер, при взаимодействии с водой образуют различные кристаллогидраты, устойчивые в воздействию окружающей среды. Основным компонентом цементного камня являются волокнистые, чешуйчатые или мелкозернистые гидросиликаты кальция, имеющие общую формулу геля C-S-H. Чем меньше основность гидросиликатов, тем более полно использован химический потенциал клинкера, а следовательно, прочнее сформировавшийся цементный камень. При гидратации силикатов кальция образуется также гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – наиболее растворимый, а значит уязвимый компонент цементного камня. Поэтому весьма важным является связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в труднорастворимые и стойкие соединения. Наиболее пригодные для этой цели оксиды кремния SiO_2 и алюминия Al_2O_3 , обладающие способностью к кислотно-основному взаимодействию с гидроксидом кальция, образуя практически нерастворимые гидраты. В результате реакции меж-

ду гидроксидом кальция и веществом активной добавки в твердеющем цементном камне увеличивается количество гидросиликатов и понижается их основность. Благодаря этим процессам цемент, содержащий в своем составе кроме клинкера и гипса еще и активную минеральную добавку, постепенно сравнивается по прочности с портландцементом на основе того же клинкера, а затем и превосходит его. В цементном камне активная добавка также препятствует и накоплению щелочей в контактной зоне у поверхности заполнителя, тем самым предотвращая возникновение в этих зонах осмотического давления, а следовательно, и уменьшается опасность щелочного разрушения бетона.

Применение добавок является наиболее эффективным способом, повышающим качество бетонов, не требующим больших капитальных затрат. Грамотное применение целевых комплексных добавок позволяет решить любые проблемы, связанные с получением бетонов с заданными свойствами. Высокая прочность, низкая проницаемость, повышенная долговечность и морозостойкость могут быть достигнуты с применением высокоподвижных бетонных смесей, содержащих современные добавки.

Для регулирования свойств бетона и экономии цемента применяют различные добавки. Их подразделяют на два вида: химические добавки, вводимые в бетон в небольшом количестве (0,1–2% от массы цемента) и изменяющие в нужном направлении свойства бетонной смеси и бетона, и тонкомолотые добавки (5–20% и более), используемые для экономии цемента, получения плотного бетона при малых расходах цемента и повышения стойкости бетона. Применение химических добавок является одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов управления технологией бетона и регулирования его свойств. Если ранее наиболее широко в строительстве использовались в виде добавок отдельные химические продукты и модифицированные отходы промышленности, то в настоящее время преобладают добавки, специально приготовленные для бетона (суперпластификаторы, органо-минеральные и другие).

Развитие строительной индустрии предусматривает значительное расширение производства бетонных смесей с использованием эффективных добавок, применение новых видов добавок. Активные минеральные добавки не только обеспечивают ресурсосбережение, но и существенно воздействуют на свойства бетонов, повышая долговечность сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тухарели В.Д., Чередниченко Т.Ф. Акчурин Т.К. Технологии бетонов специального назначения с использованием техногенных отходов// Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: Материалы Международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области, 6—10 сентября 2010 г., Волгоград / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. — С. 334–336.

2. *Абросимов А.А., Мкртычев К.А., Полищук А.В.* Проблемы защиты окружающей среды и промышленной безопасности в нефтяной отрасли // Химическая технология-2001, №6. — С. 13–18.

3. *Москвичева Е.В., Юрко А.В. и др.* Нанотехнологии получения сорбентов / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. — 80 с.

4. *Попов К.Н., Каддо М.Б.* Строительные материалы и изделия: Учебник. – М.: Высш. школа, 2006. — 440 с.

5. *Карапетьянц М.Х., Дракин С.И.* Общая и неорганическая химия. – М: Химия, 1981. — С. 632.

6. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1988. — 464 с.

А.М. Филипов

АНАЛИЗ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВО ВРЕМЕНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Одной из характеристик материалов является ползучесть - изменение с течением времени деформации твёрдого тела под воздействием постоянной нагрузки или механического напряжения. Для бетона ползучесть – это процесс малой непрерывной пластической деформации, протекающей в условиях длительного статического нагружения.

Склонность бетона к пластическим деформациям начинает проявляться вслед за мгновенным приложением нагрузки, ползучесть бетона возрастает прямо пропорционально времени. При более высоких нагрузках ползучесть начинает заметно прогрессировать и линейность пластической деформации бетона по времени нарушается. Если же учесть, что со временем бетон закономерно упрочняется, то также закономерно должна уменьшаться со временем и ползучесть его. Разрушение материалов от ползучести, имея в виду соответствие качества их техническим условиям, происходит далеко за пределами окончания службы материала. Однако, имея в виду строительные конструкции, ползучесть даже в период только начального ее проявления, еще весьма задолго до разрушения бетона от этого явления, может вызвать разрушение конструкции.

Причина этого заключается в том, что вследствие ползучести необратимо появляются и все более увеличиваются прогибы бетонных конструкций, происходит потеря устойчивости в результате перемещения и концентрации напряжений при этом на отдельных участках. Особенно опасна ползучесть бетона в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. Даже самая незначительная пластическая деформация бетона

под действием упругих сил растянутой арматуры приводит к снижению предварительного напряжения бетона и вызывает впоследствии разрушение конструкции. Однако ползучесть иногда и положительно проявляет себя, уменьшая растягивающие напряжения, возникающие в бетоне при усадке и температурных перепадах, способствует уменьшению напряжений в бетоне железобетонных конструкций за счет передачи части их на стальную арматуру.

Различные нормы предоставляют свои возможности учета ползучести: от значения на окончание срока эксплуатации конструкции или сооружения (СНиП / СП) до возможности получения значений в заданный промежуток времени (Еврокод, «Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций» (в дальнейшем Рекомендации), и др.).

Для расчета и анализа состояния сложных конструкций и узлов логичнее было бы использовать модели, учитывающие ползучесть материала во времени. Что нам предлагают общедоступные программные комплексы (ПК), рассчитанные на пользователя со средней теоретической подготовкой: использование энергетического закона Дорна (Dorn Power Law) (1)[1] и использование закона Гарофало (Garofalo Hyperbolic Sine Law) (2)[2].

$$\dot{\varepsilon} = A\sigma^n \exp\left(-\frac{Q}{TR}\right), \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon} = C[\sinh(\alpha\sigma)]^n \exp\left(-\frac{Q}{TR}\right), \quad (2)$$

где $\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$, R – универсальная газовая постоянная, T – температура (К), Q – энергия активации ползучести, σ – приложенное напряжение, A , C , n , α – константы, зависящие от материала.

Подведем промежуточный итог: мы имеем достаточно сложные формулировки, описывающие ползучесть бетона и отличную от них общую формулировку ползучести, требуемую в качестве исходных данных для ПК.

Для дальнейшего рассмотрения выберем: закон Дорна, формулировки ползучести по Еврокоду и Рекомендациям, в качестве материала бетон В30. Анализ проводится с использованием ПК Autodesk Simulation Multiphysics 2012 (он же ALGOR). Для моделирования примем призму с размерами 150×150×600 мм (рис. 1).

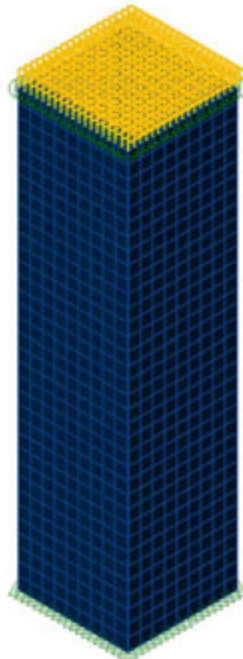


Рис. 1

Согласно Еврокоду и Рекомендациям зависимость деформации ползучести от времени имеет вид, приведенный на рис. 2, что с минимальной погрешностью можно описать функцией

$$y = a \cdot x^b. \quad (3)$$

Для составления функции зависимости деформации от времени можно воспользоваться формулой 3.5 [3] и [4]

$$\varepsilon_{cc}(\infty, t) = \frac{\varphi(\infty, t)^{\sigma_c}}{E_{c0}}.$$

Или воспользоваться Рекомендациями [5].

Согласно документации на ПК ALGOR [6], исходными данными для расчета ползучести по закону Дорна являются к-нты C1, C2, C3 из уравнения $\dot{\varepsilon}^{cr} = C_1 \times \bar{\sigma}^{C2} \times t^{C3}$. В этом уравнении C2 отвечает за изменение ползучести в зависимости от нагружения – был принят равным «0». C3 – зависит только от температуры (Т), соответственно, при расчете с постоянной температурой C3 является константой (в противном случае для каждого значения Т должно быть вычислено своё значение C3). C1 и C3 вычисляются на основании уравнения (3) константы а и b соответственно.

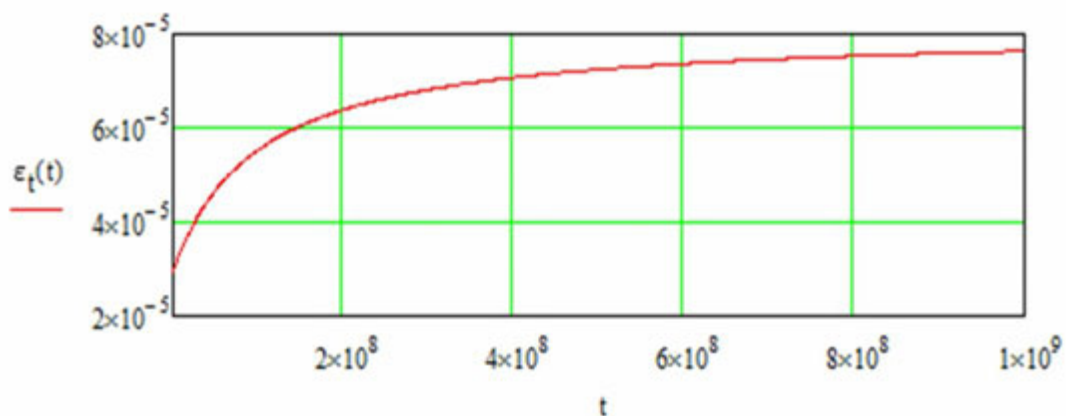


Рис. 2

Итак, имеются зависимость значения модуля упругости бетона от времени, зависимость исходных данных, необходимых для расчета. С1 и С3 можно вычислить на основании уравнения (3):

$$\begin{cases} C4 \times t_1^{C3} = \varepsilon_{t1}, \\ C4 \times t_2^{C3} = \varepsilon_{t2} \end{cases} \quad (4)$$

При этом возникают некоторые ограничения точности расчета. Т.е. при постановке задачи нужно выбирать интервал, на котором будет полное соответствие требованиям нормативных документов, а, соответственно, значение ползучести на всех остальных интервалах времени будут вычисляться с некоторой погрешностью

Исходными данными для расчета будут $C1=C4 \times A$ и, соответственно $C3$. Коэффициент A вычислен экспериментально и находится в пределах 0,85–0,75.

В рассматриваемом расчете принято: интервал времени 10^9 сек (приблизительно 31.5 года), рассматривается весь интервал времени.

После проведения расчетов были получены изменения по времени для различных значений загрузки перемещения (рис. 4), изменение напряжения в рассматриваемом образце (рис. 5) и деформации (рис. 6), которые согласуются с аналитическим расчетом, проведенным на основании нормативных документов [3] максимальное расхождение на рассматриваемом участке составило 0,3%.

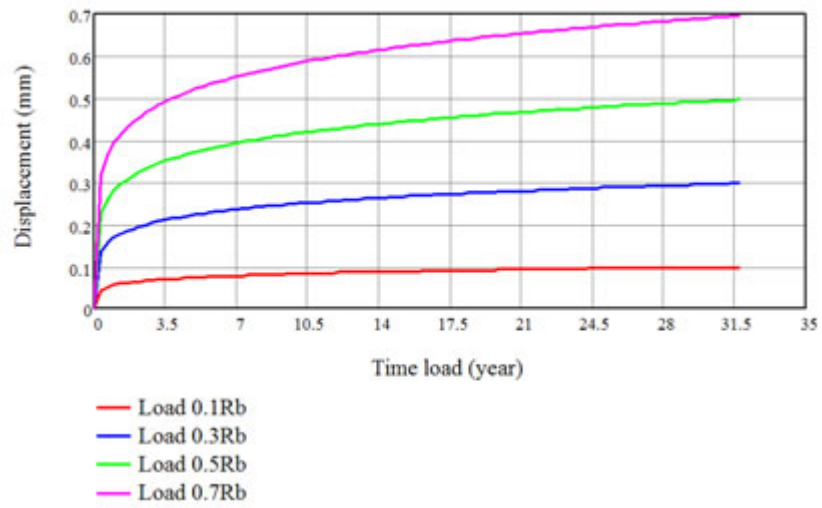


Рис. 4

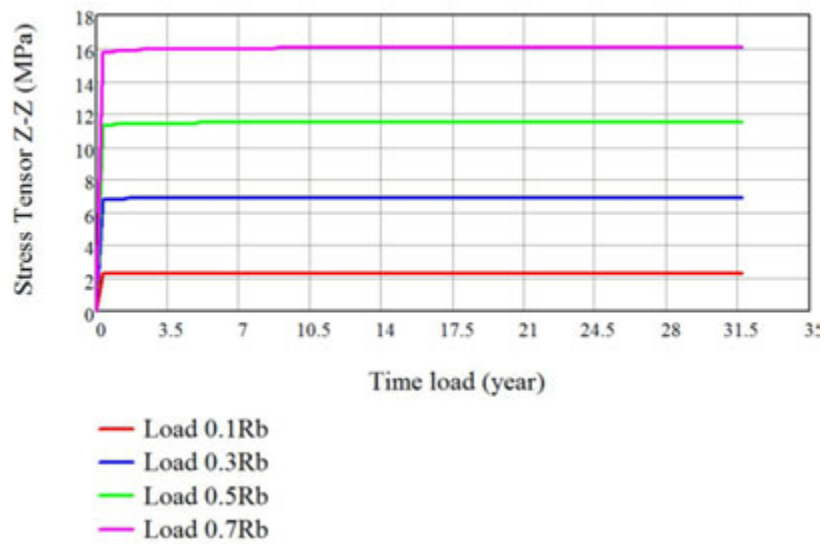


Рис. 5

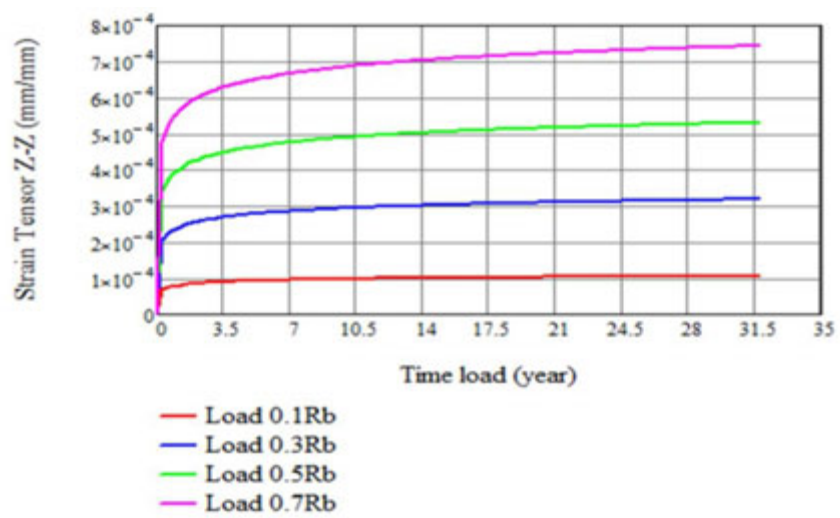


Рис. 6

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trans Am Soc Met 62:155 / auth. Mukherjee AK Bird JE, Dorn JE. — 1969.
2. Deformation and fracture mechanics of engineering materials, 4th edn. / auth. RW Hertzberg. — NY : John Wiley & Sons Inc., 1996.
3. EN1992-1.Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for building.
4. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчёта и конструирования // Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под ред. проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. – Брест, БГТУ, 2003. — 380 с.
5. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. НИИЖБ Госстроя СССР, Москва Стройиздат, 1988.
6. Autodesk Simulation Multiphysics 2012 Help.

А.А. Хихловская

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

Одной из перспективных технологий, упрощающих строительство в сложных условиях, является технология армирования грунтов и слабых оснований геосинтетическими материалами, в том числе геосетками.

Геосетка — плоский полимерный рулонный материал с сетчатой структурой, образованный эластичными ребрами из высокопрочных пучков нитей, скрепленными в узлах прошивочной нитью, переплетением, склеиванием, сплавлением или иным способом, с образованием ячеек, размеры которых больше образующих сетку ребер, обработанных специальными составами для улучшения свойств и повышения их стабильности. Она выполняет функцию армирования – перенаправляет вертикальные нагрузки в горизонтальную плоскость, перераспределяет горизонтальные напряжения в слое и снижает активные местные напряжения, поглощая их. В строительстве они применяются в следующих *направлениях*:

– армирование автомобильных дорог. Геосетки распределяют высокие нагрузки автодорог, что снижает образование дорожной колеи. Армированное покрытие выдерживает более высокие динамические нагрузки и эффективно противостоит развитию усталостных деформаций;

– создание подпорных конструкций и обеспечение общей устойчивости откосов и насыпей. При укреплении откосов Геосетки укладываются между слоями т.е. по возможной поверхности скольжения верхнего слоя. Уплотнение верхнего слоя делает конструкцию более прочной за счет по-

вышения коэффициента трения. В данном случае геосетка воспринимает скатывающее усилие массы верхнего слоя, обеспечивая тем самым местную устойчивость откоса;

– использование неосвоенных территорий, отводимых под строительство. Необходима подготовка грунта – устройство дренажа и повышение несущей способности для нового строительства. В этом случае несущую функцию выполняют геосетки, которые при правильном расположении могут распределять нагрузки и создавать эффект противоскользкого армирующего слоя поверх гидроизоляции;

– армирование бетонных покрытий. Геосетки увеличивают прочность покрытия на разрыв и обеспечивают равномерное распределение горизонтальных сил на большой площади. Трещины ликвидируются, а появление отражённых трещин в значительной степени замедляется. При их правильной укладке, а также обеспечивают значительное увеличение срока службы покрытий;

– ремонт дорожного полотна. Возможно армирование геосетками, как по всей площади, так и локально по предполагаемым источникам трещин, например по швам плит, лежащих в основании покрытия, и по сопряжению старого и нового полотна;

– армирование несвязного грунта основания. С целью повышения его несущей способности наиболее эффективно использование геосеток. Наличие армирующего элемента на слабом основании дает возможность избежать неравномерных осадок и обрушения откосов за счет равномерного распределения геосетками вертикальной нагрузки по всей площади основания.

С каждым годом объемы и сферы применения геосеток расширяются благодаря накопленному положительному опыту их использования в различных условиях. Применение геосеток позволяет:

– повысить надежность в эксплуатации и сроки службы дорожных конструкций;

– улучшить условия выполнения и качество производимых работ;

– упростить технологию строительства;

– сократить сроки строительства;

– снизить расход традиционных дорожно-строительных материалов и объемы земляных работ;

– использовать местные материалы [2].

Геосетка производится различными способами: литьём, переплетением нитей, соединением узлами. Классифицируются они следующим образом: по области применения: геосетки для грунта и геосетки для асфальтобетона; по материалу: полиэфирные, полиэтиленовые, полиамидные, полипропиленовые, из стекловолокна, из полиэстера; по способу форми-

рования геосетки: двуосные (двойного ориентирования) и одноосные (моноориентированные).

Геосетки и геокомпозиты для асфальтобетона. Геосетки отличаются высокими механическими характеристиками и применяются для создания армирующих прослоек. Стеклянными геосетками армируют верхние слои дорожных одежд из разного вида асфальтобетонов. Они изготавливаются из стекловолокна и состоят из двух систем ровингов или комплексных нитей, прошитых или склеенных между собой и пропитанные высокопрочным полимерным составом, имеющих хорошую адгезию с битумосодержащими материалами (асфальтобетонами). Геосетки обычно имеют ячейки с линейными размерами от 5 до 50 мм. Наличие и размер ячеек, толщина элементов определяют механические характеристики материалов и степень их связи с материалами контактирующих слоев. Используется для повышения транспортно-эксплуатационных показателей дороги, продления межремонтных сроков работ, замедления процесса появления на покрытии различных дефектов (трещин, выбоин, колеиности).

Геокомпозиты из нетканого геотекстильного полотна и объединенной с ним геосетки из стекло- или базальтового волокна применяются для армирования покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Наличие нетканого полотна обеспечивает лучшие условия по контакту с материалами окружающих слоев и лучшее выполнение функций по исключению (снижению) процесса проявления «отраженных» трещин, а наличие геосетки обеспечивает армирование вышележащего слоя асфальтобетонного покрытия.

Геосетки для грунта. Использование геосетки для грунта по сравнению с традиционным строительством дорожного полотна при помощи бетонных плит или используя только насыпные материалы, например, песок и щебень, уменьшает расход гранулированного материала до 40 %. При этом соблюдаются параметры конструкции, заложенные в проекте.

Геосетки двуосные. Это плоские сетки с ячейками прямоугольной формы, разработанные для строительства на слабых грунтах, а также для повышения способности конструкций переносить высокие динамические и статические нагрузки. Область применения их разнообразна:

- строительство новых и ремонт уже существующих дорог;
- строительство временных, а также технологических дорог, например дороги для проезда техники при строительстве магистральных трубопроводов;
- строительство подъезда техники к объекту строительства;
- возведение площадок, подвергаемых высоким нагрузкам;
- повышение прочности подбалластного и балластного слоя при строительстве железнодорожного полотна или капитальном ремонте;
- армирование бетона;

– организация защиты от камнепадов.

Геосетки одноосные. Это сетки с длинными вытянутыми ячейками, ориентированными в одном направлении для создания высокой прочности на растяжение. Основными функциями материала являются армирование и разделение слоев. Область применения:

– строительство подпорных стен, устоев мостов, крутых откосов, земляных дамб;

– возведение насыпей на слабых грунтах;

– восстановление оползневых склонов;

– контроль эрозии;

– укрепление мест для захоронения отходов.

В России геосетки производятся следующими производителями: ООО «ГеоЛайн», ООО «СТЕКЛОНИТ Менеджмент», ООО «Дорстройматериалы», ЗАО «Новополимер». Помимо этого применяются материалы иностранных производителей, например, геосетки немецких фирм HUESKER Synthetic и NAUE GmbH & Co. KG.

Эффективность использования геосеток признана ведущими проектными и научно-исследовательскими институтами России. Получены положительные отзывы о материале и технологии применения, а также рекомендации на использование от организаций-заказчиков и предприятий-подрядчиков из различных регионов Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. www.road-market.ru.

2. www.polymer.ru.

С.В. Хуторской

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ СИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ

Мордовский государственный университет

Обеспечение эффективного противодействия биокоррозии различных строительных конструкций становится все более острой научной и практической проблемой в области строительства и эксплуатации жилых и промышленных зданий и сооружений. На предприятиях пищевой химической, медицинской промышленности, а также в сельскохозяйственных, транспортных, гидротехнических зданиях и сооружениях значительную роль в разрушении играют микроскопические организмы: бактерии, грибы, актиномицеты, для развития и размножения которых здесь создаются благоприятные условия. Биоповреждениям подвержены все материалы.

В настоящее время около 40–50% общего объема регистрируемых в мире повреждений связано с деятельностью микроорганизмов.

Микроскопические грибы резко ухудшают эксплуатационные характеристики тех материалов, на которых размножаются, вызывая биоповреждения и биоразрушения. Следствием этого является не только частичное повреждение элементов зданий, но и полное разрушение конструкций. Кроме этого, микро-мицеты способны вызывать микогенные аллергии, микозы, микотоксикозы и другие заболевания. Все это грозит большой опасностью для здоровья и жизни человека в целом.

Заселение и развитие на материалах грибов и их биоразрушение зависит от многих факторов: структуры и химического состава материала и его составляющих компонентов, технологии изготовления материала, степени старения материала, климатических условий, наличие в материале минеральных и органических загрязнений, наличие в материале биозащитных компонентов.

Микроорганизмы запускают процессы биоповреждения в различных материалах посредством своих продуктов жизнедеятельности (кислот, щелочей, ферментов и других агрессивных веществ), которые, взаимодействуя с веществами, входящими в строительные материалы, разрушают связующие, растворы, кирпич, бетон, и другие элементы строительных конструкций. Микроскопические организмы разрушают каменные материалы не только химически, воздействуя продуктами метаболизма, но и непосредственно, механическим путем. Рост биомассы микроорганизмов, внедрившихся в поры и микротрещины, способствует и расширению трещин. Например, периодическое увлажнение и высыхание лишайников, сопровождающееся значительным изменением объема клеток, приводят к циклическому давлению на стенки трещин и разрушению каменных материалов. Композиты на основе известки находят широкое применение в строительстве. В промышленности строительных материалов известку в большом количестве используют в производстве силикатного кирпича и силикатобетонных изделий.

Стойкость силикатных бетонов в условиях воздействия биологических сред во многом определяются пористостью материала, при увеличении которой повышается его проницаемость для микроорганизмов. При воздействии на известковые бетоны продуктов метаболизма микроорганизмов происходит разрушение известковых компонентов и образующихся в процессе упрочнения гидросиликатов кальция.

Процессы коррозии известковых композитов во времени можно условно разделить на три этапа [2]. *Первый этап* – взаимодействие цементирующих веществ известковых материалов и ионов агрессивных сред. Этот процесс происходит в кинетической области и контролируется скоростью гетерогенных химических реакций на границе фаз, которая в свою

очередь зависит от степени поражения композита микроорганизмами, концентрации агрессивной среды и свойств реагирующей поверхности материала. Этот этап продолжается около 7–10 суток. На *втором этапе*, который длится до 45–50 суток скорость коррозии лимитируется диффузионным процессом. Диффузия ионов зависит от свойств продуктов коррозии, которые покрывают реакционные поверхности и тормозят скорость движения ионов к месту реакции. На *третьем этапе* концентрация ионов стабилизируется, реакция между ионами агрессивной среды и составляющими композита достигает равновесия. Скорость всех этих процессов в основном определяется фазовым составом цементирующих веществ в известковом композите, структурой, формой, дефектами кристаллов, плотностью материала.

Благодаря высокой основности извести и высокому рН ее водных растворов она обладает бактерицидными свойствами [1]. На первом этапе, когда скорость коррозии значительная, рН среды быстро растет, что негативно отражается на росте и развитие микроорганизмов, с замедлением процесса коррозии происходят обратные явления. Скорость коррозии композитов на известковом вяжущем при длительном действии на них продуктов метаболизма микроорганизмов будет различна в зависимости от продуктов жизнедеятельности и особенностей композита. Критерием, характеризующим скорость коррозии, также является накопление в материале продуктов реакции.

Проблема борьбы с микробной и грибковой биокоррозией зданий и сооружений может технически и методологически успешно решаться. Но она должна быть системной, комплексной и базироваться на научно-обоснованных, эффективных технологиях воздействия непосредственно на сам биовредитель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бойнтон Р.С.* Химия и технология извести. – М., 1972. — 239 с.
2. *Куатбаев К.К.* Силикатные бетоны из побочных продуктов промышленности. – М., 1981. — 246 с.

Е.В. Цветкова, А.Ю. Фролов

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОИСТЫХ НАГРУЖЕННЫХ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

В настоящее время задачи оценки и прогноза устойчивости слоистых откосов и склонов приобретают все большее значение. Основными причинами этого являются постоянно расширяющееся освоение оползневых территорий под строительство, вызванное дефицитом свободных земельных площадей, а также активизация имеющихся и появление новых оползней, обусловленных вмешательством человека в геологическую среду.

Построение наиболее вероятных поверхностей разрушения (НВПР), вдоль которых $K = K_{\min}$, вычисление коэффициентов устойчивости проводится по методике [1] с использованием МКЭ и программы для ПК, разработанной в ВолгГАСУ [2].

Математико-механическая модель представлена на рис. 1. Расчетная схема разбита на 17600 треугольных элементов и содержит 9001 узел.

Граничные условия заданы следующим образом: вдоль вертикальных границ расчетной схемы отсутствуют перемещения в горизонтальном направлении; вдоль нижней горизонтальной границы отсутствуют вертикальные перемещения; на перемещения других точек ограничения не наложены.

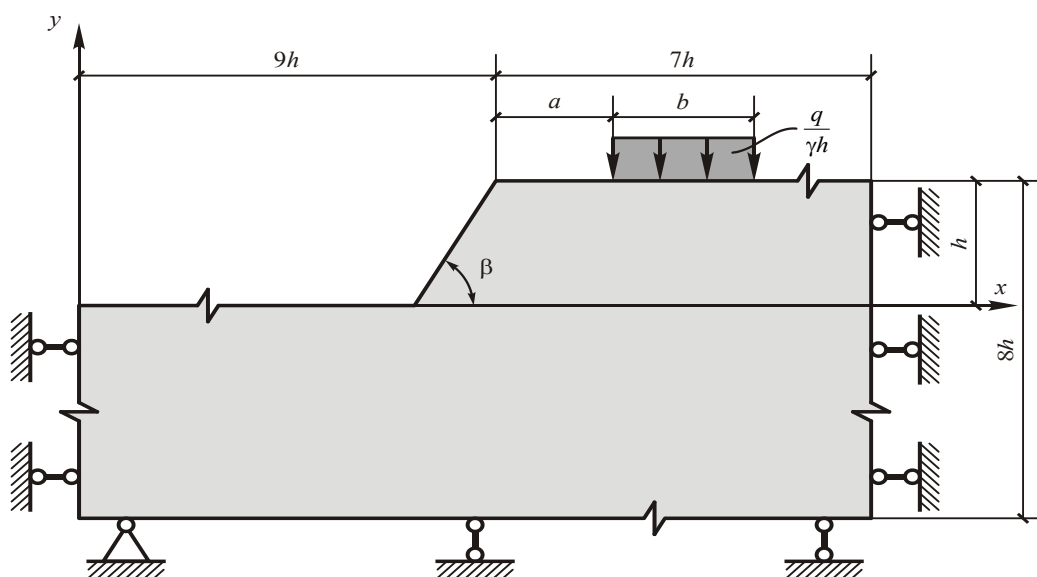


Рис. 1. Расчетная схема

Исходные данные для решения рассматриваемой задачи содержат свойства элементов (плотность, коэффициент бокового давления, сцепление и угол внутреннего трения грунта), поверхностную равномерно распределенную нагрузку (интенсивность, ширину и расположение на откосе), геометрию откоса (угол и высоту) и граничные условия.

При расчетах ширина нагрузки b принята равной h , так как при $b/h \geq 1$ коэффициент устойчивости откоса практически не изменяется.

Расчеты выполнялись для откоса с параметром устойчивости

$$\lambda = \frac{2c}{\gamma h \operatorname{tg} \varphi},$$

где γ – плотность; c – сцепление; φ – угол внутреннего трения грунта.

Величина коэффициента устойчивости слоистого нагруженного откоса (с учетом физико-механических свойств каждого слоя) как минимум зависит от 15 параметров (для двухслойного откоса).

Поэтому рассмотрим случай, когда НВПР пересекает контакты слоев.

Рассмотрим откос, например, с горизонтальным расположением слоев рис. 2. Примем $h=1$, $\beta=30^\circ$, плотность слоев $\gamma=1$, $a=0$, $q/\gamma h=1$, коэффициенты бокового давления $\mu=0,75; 0,65; 0,50; 0,40$. Параметры устойчивости $\lambda=0,4; 0,8; 1,2; 2$, а углы внутреннего трения $\varphi=18, 22, 30$ и 35° .

Пусть в первом варианте отношение модулей деформации слоев $E_1:E_2:E_3:E_4=4:3:2:1$ (слабое основание). Тогда $K=1,36$, а НВПР изображена на рис. 2. пунктирной линией, пересекающей слабое основание.

Во втором варианте $E_1:E_2:E_3:E_4=1:2:3:4$ (перестановка слоев, прочное основание) $K=1,02$, а НВПР проходит в верхнем наиболее слабом слое (рис. 2, сплошная линия).

Вычислим теперь коэффициент устойчивости рассматриваемого откоса как однородного с использованием средневзвешенных прочностных характеристик слоев. В нашем случае, как это принято для ненагруженных откосов, учитывая характеристики верхних трех слоев, имеем: 1) для прочного основания

$\varphi_{cp} = \frac{1}{3}(18+22+30) = 23,3^\circ$, $\lambda_{cp} = 0,8$; 2) для слабого основания

$\varphi_{cp} = \frac{1}{3}(35+30+22) = 29^\circ$, $\lambda_{cp} = 1,3$.

Коэффициент бокового давления принимаем равным $0,75$, а $E_1 = E_2 = E_3 = E_4$.

Получены следующие результаты расчетов. В случае прочного основания $K=1,41$; в случае слабого – $K=2,23$, т.е. на 28 и 39% больше их фактических значений (1,02 и 1,36).

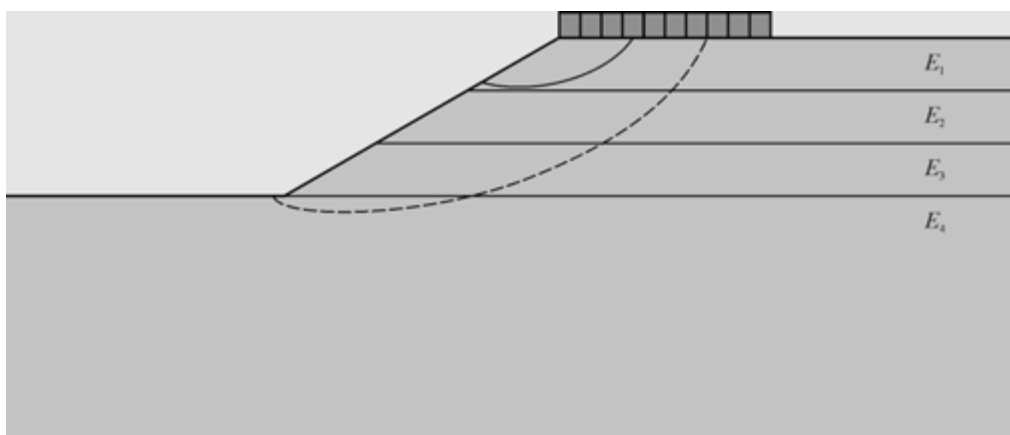


Рис. 2. Расположение наиболее вероятных поверхностей разрушения в слоистом нагруженном откосе

Следовательно, в отличие от ненагруженных слоистых откосов обычный способ использования средневзвешенных характеристик грунтов неприемлем. В связи с этим предлагается следующий прием.

При прочном основании, когда НВПР проходит в слабом слое, при расчетах принимать прочностные характеристики этого слоя, т.е. в рассматриваемом случае $\varphi = 18^\circ$, $\lambda = 0,4$.

При слабом основании, когда НВПР частично проходит в нем, при определении средневзвешенных характеристик учитывать характеристики основания, принимая условно его толщину равной высоте откоса h . То есть в нашем случае

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{2} \left[(35 + 30 + 22) \frac{1}{3} + 18 \cdot 1 \right] = 23,5^\circ,$$

$$\lambda_{cp} = \frac{1}{2} \left[(2 + 1,2 + 0,8) \frac{1}{3} + 0,4 \cdot 1 \right] = 0,87.$$

Коэффициенты устойчивости, вычисленные при указанных физико-механических свойствах слоев получились равными: для прочного основания $K = 0,93$ (отличие от фактического коэффициента – 8,8%); для слабого основания – $K = 1,43$ (отличие 6,8%).

Исследования показали, что в случае падения слоев в сторону грунтового массива или откоса при условии, что НВПР пересекает контакты слоев (т.е. ни частично, ни полностью не совпадает с контактами), качественная картина при определении коэффициента устойчивости изменяется незначительно.

Поэтому при расчете устойчивости слоистых нагруженных откосов и склонов можно использовать результаты, полученные для соответствующих однородных откосов, но, в отличие от ненагруженных откосов, в случае прочного основания следует использовать характеристики наиболее

слабого слоя, а в случае слабого основания при определении средневзвешенных физико-механических свойств пород – использовать характеристики основания, условно приняв его толщину равной h .

При частичном или полном совпадении НВПР с контактами слоев при оценке устойчивости слоистых нагруженных откосов и склонов следует использовать вышеупомянутую программу для ПК [2].

В заключение отметим, что при застройке приоткосных территорий зданиями различной этажности имеем дело со ступенчатой нагрузкой, которую следует заменять равномерно распределенной. При этом, если нагрузка возрастает с удалением от вершины откоса, то интенсивность равномерно распределенной определяется как «средневзвешенная» (аналогично средневзвешенным характеристикам грунтов). Если максимум нагрузки соответствует ее середине или убывает с удалением от вершины откоса, то при расчетах средневзвешенную нагрузку следует увеличивать соответственно на 10 и 20%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цветков В.К. Расчет рациональных параметров горных выработок: Справочное пособие. М.: Недра, 1993. — 251 с.

2. Богомолов А.Н., Ушаков А.Н., Редин А.В. Программа «Устойчивость» для ПЭВМ // Информационный листок о научно-техническом достижении №312-96, Волгоград, ЦНТИ, 1996.

В.П. Чирков, М.А. Раздубев

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛКАХ

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

Рассмотрены вопросы определения несущей способности многоэлементной арматуры с точки зрения теории вероятности. Предложена методика определения расчетных сопротивлений многоэлементной арматуры. Приведены результаты расчета железобетонной балки по предложенной методике.

В гражданском, промышленном и транспортном строительстве широко применяют железобетонные конструкции, в которых растягивающие усилия от нагрузок воспринимаются многоэлементной арматурой, состоящей из большого количества элементов (стержней, проволок). Это многпустотные плиты перекрытий, балки и плиты покрытий, подкрановые балки, растянутые элементы железобетонных ферм, сваи, фундаменты, затяжки арок, железобетонные шпалы и др. Так, например, двускатная балка покрытия пролетом 18 м армируется 64 проволоками класса В_p1400 диаметром 5 мм.

В настоящее время необходимую площадь рабочей арматуры подбирают по расчетным сопротивлениям R_s , которые определяются по правилу трех стандартов независимо от числа стержней в сечении. В то же время прочностные и деформативные свойства стальной арматуры неоднозначны и носят случайный характер. Вполне вероятно попадание в железобетонную конструкцию арматурных стержней различной прочности (рис. 1), превышающей расчетное сопротивление R_s . Согласно правилу трех стандартов, расчетное сопротивление равно минимальному значению предела текучести (условного предела текучести $\sigma_{0,2}^{\min}$), и при разрыве одного стержня предполагается, что прочность остальных стержней будет одинаковой и также равной минимальной. Если считать, что прочность всех арматурных элементов одинакова, то становится неизбежным отрицание факта существования кривой статистического распределения прочности арматуры, что противоречит физической природе материала и экспериментальным данным с доведением до разрушения как лабораторных образцов, так и натуральных железобетонных конструкций.

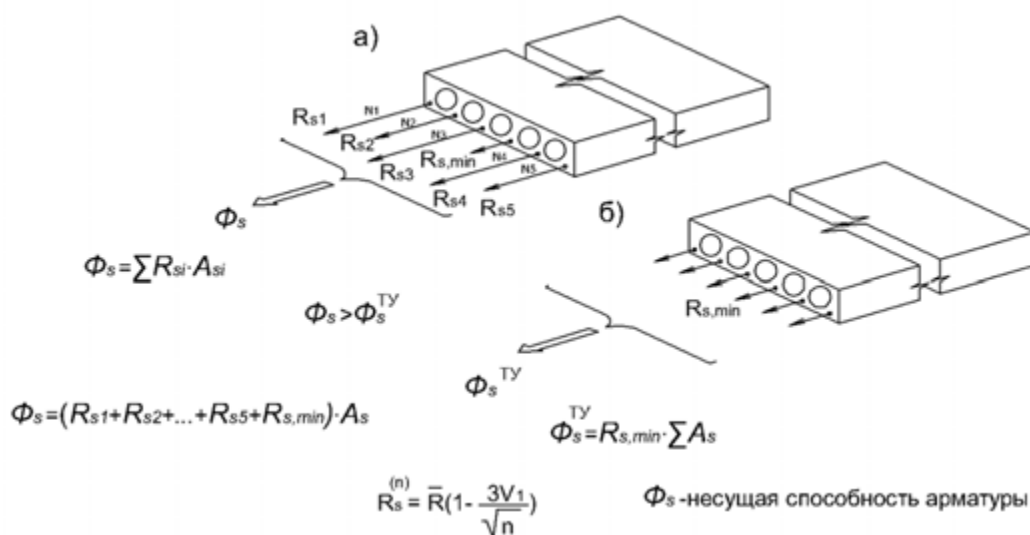


Рис. 1. Напряжения в арматурных стержнях в предельном состоянии:
 а – фактические, б – принимаемые по техническим условиям

С точки зрения теории надежности, многоэлементная арматура представляет собой систему с параллельным соединением звеньев. При параллельном соединении звеньев надежность системы повышается по сравнению с надежностью одного звена.

Плотность распределения случайных напряжений $\tilde{\sigma}_s$ в стержнях многоэлементной арматуры как суммы случайных величин описывается нормальным законом распределения. С увеличением прочности напряжения в многоэлементной высокопрочной арматуре при $\epsilon_s = \epsilon_{s0}^{\min}$ не достигают условного предела текучести при $\epsilon_s = \epsilon_{s0}^{\min}$ и в некоторых случаях стержни могут находиться в упругой стадии работы. Целесообразно увязать опре-

деление расчетного сопротивления многоэлементной арматуры со значением расчетного сопротивления $R_s^{(1)}$, полученного на основе стандартных испытаний при $n=1$. В результате получим следующие рекомендации для определения расчетных сопротивлений многоэлементной арматуры.

Расчетные сопротивления $R_s^{(n)}$ многоэлементной арматуры со случайными свойствами на прочность устанавливаются с учетом протекания деформаций в стержнях в предельном состоянии:

$$R_s^{(n)} = R_s^{(1)} \cdot f(n), \quad (1)$$

где $R_s^{(1)}$ – расчетное сопротивление арматуры растяжению по первому предельному состоянию при числе стержней $n=1$; $f(n)$ – функция, учитывающая повышение расчетных сопротивлений многоэлементной арматуры в зависимости от числа стержней (проволок) и расчетного коэффициента вариации арматурной стали.

$$f(n) = \frac{1 - \frac{\gamma \cdot V_{расч}}{\sqrt{n}}}{1 - \gamma \cdot V_{расч}},$$

где n – число стержней(проволок); $\gamma=3$ – характеристика безопасности; $V_{расч} = V_1 \cdot \alpha_{0,2}$ – расчетный коэффициент вариации, в частности, для арматурной стали класса В_p1400. V_1 – партионный коэффициент вариации для одиночных стержней(проволок), получаемый при стандартных испытаниях образцов для железобетонных конструкций, его значение принимается в соответствии с ГОСТ 5781; $\alpha_{0,2}$ – коэффициент условий работы, учитывающий влияние характеристик механических свойств арматуры на статистический разброс напряжений в многоэлементной арматуре в предельном состоянии.

Расчетные сопротивления согласно (1) устанавливаются на уровне вероятностного обеспечения 0,999 с характеристикой безопасности $\gamma=3$ и не должны превышать браковочных минимумов согласно ГОСТ 5791 и ГОСТ 7348, гарантированных потребителю в каждой партии плавки на основе обязательных испытаний. Расчетные сопротивления растяжению для арматуры класса В_p1400 приведены в табл. 1.

Предложения по учету совместной работы арматурных стержней включены в Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52751-2007 «Плиты из сталефибробетона для пролетных строений мостов», утвержденный и введенный в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сентября 2007 г. №253-ст. Национальный стандарт ГОСТ Р 52751 разработан ОАО ЦНИИС и другими организациями. Основные результаты исследований по многоэлементной арматуре опубликованы в источниках [1÷9].

Таблица 1

Расчетные сопротивления арматуры класса Вр1400.

№ п/п	Наименование показателей	Число стержней							
		1	2	3	4	5	10	30	50 и более
$V_1=0,05, V_{расч}=0,0385$									
1	Функция $f(n)$	1	1,038	1,055	1,065	1,072	1,089	1,106	1,112
2	Расчетное сопротивление $R_s^{(n)}$, МПа	1170	1215	1234	1246	1254	1274	1295	1301

Примечание. V_1 – партионный коэффициент вариации условного предела текучести, $V_{расч}$ – расчетный коэффициент вариации напряжений в предельном состоянии арматуры с учетом ее деформативных свойств.

В качестве примера выполнен расчет площади сечения продольной рабочей арматуры по указанной методике для предварительно напряженной подкрановой балки промышленного здания.

Размеры поперечного сечения балки: $b'_f=650$ мм, $h'_f=160$ мм, $b=140$ мм, $h_f=250$ мм, $b_f=340$ мм, $h=1200$ мм (рис. 2). Пролет $L=12$ м. Величина a_s с учетом толщины защитного слоя принимается равной 40 мм.

Механические характеристики бетона и арматуры: бетон тяжелый В30 с $R_b=17$ МПа, $\gamma_{b1}=1$; класс напрягаемой арматуры – $\phi 5$ Вр1400 с $R_s=1170$ МПа. Габариты крана грузоподъемностью 32/5 и пролетом 18 м: база $A_K=5,1$ м, ширина $B_K=6,3$ м. Максимальное давление колеса крана определяется по формуле:

$$P=P_{max,n} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \psi = 235 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 0,85 = 208,74 \text{ кН.}$$

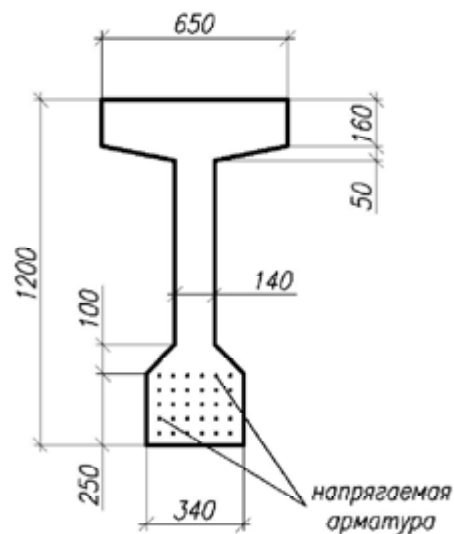


Рис. 2. Поперечное сечение подкрановой балки

Согласно правилу Винклера максимальный изгибающий момент в балке возникает, когда равнодействующая всех сил (в данном случае $3P$) и ближайшая к ней сила P равноудалены от середины пролета (рис. 3).

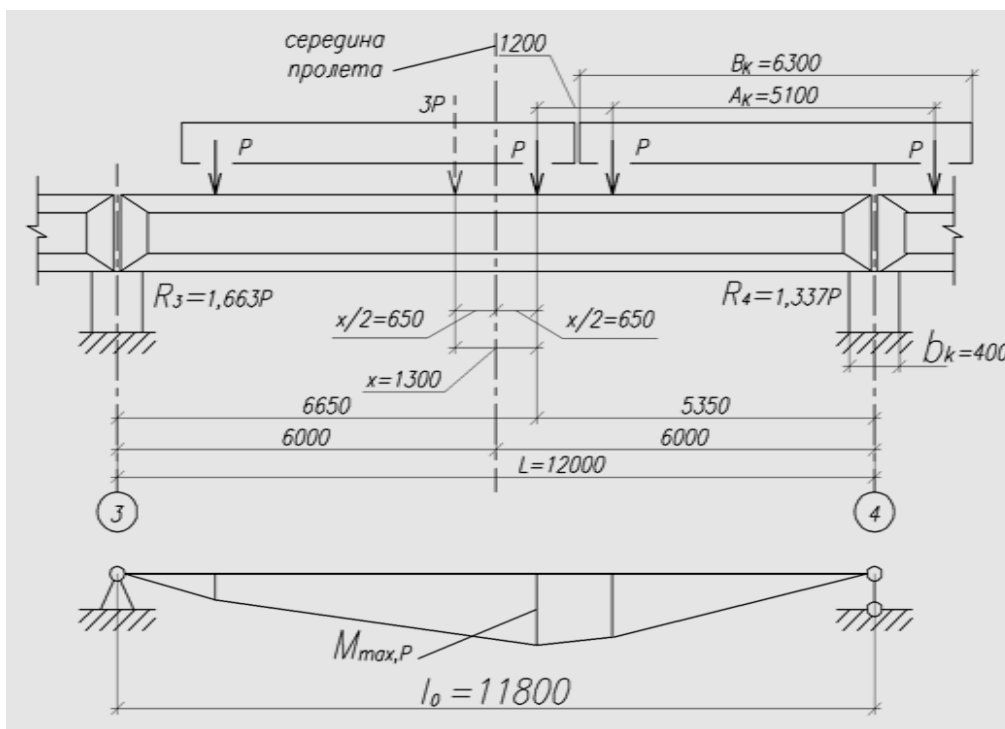


Рис. 3. Определение максимального изгибающего момента

Расстояние x определяется из уравнения равновесия относительно оси 3:

$$3P \cdot \left(6 - \frac{x}{2}\right) = P \cdot \left(6 - \left(A_K - \frac{x}{2}\right)\right) + P \cdot \left(6 + \frac{x}{2}\right) + P \cdot \left(6 + \frac{x}{2} + 1,2\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3x = A_K - 1,2 \Rightarrow x = 1,3 \text{ м.}$$

Наибольший изгибающий момент от вертикальных крановых нагрузок возникает в сечении балки под колесом, ближайшим к середине пролета балки. Из уравнения равновесия $M_{\max,P} = 1,337P \cdot 5,35 - P \cdot 1,2 = 5,95P = 5,95 \cdot 208,74 = 1242$ кН·м. Расчетный момент с учетом собственного веса равен:

$$M_{\max} = M_{\max,P} + \frac{ql_0}{2} \left(\frac{l_0}{2} - \frac{x}{2}\right) - \frac{q \left(\frac{l_0}{2} - \frac{x}{2}\right)^2}{2} = 1242 + 144 = 1386 \text{ кН·м,}$$

где $q = m \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 8 \cdot 1,1 \cdot 0,95 = 8,36$ кН/м – расчетный погонный собственный вес подкрановой балки; $l_0 = L - 0,5b_K = 12 - 0,2 = 11,8$ м – расчетный пролет балки; m – масса балки; b_K – ширина поперечного сечения колонны.

Площадь поперечного сечения многоэлементной арматуры определяется при $f(n) = 1,0$. Предполагается, что сжатой ненапрягаемой арматуры не требуется. Рабочая высота сечения $h_0 = h - a_s = 1200 - 40 = 1160$ мм.

$M_{\max}=1386 \text{ кНм} \leq R_b \cdot b_f' \cdot h_f' \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h_f') = 17 \cdot (1000) \cdot 0,65 \cdot 0,16 (1,16 - 0,5 \cdot 0,16) = 1909 \text{ кНм}$, граница сжатой зоны проходит в полке, расчет производится как для прямоугольного сечения шириной $b=b_f'=650 \text{ мм}$ согласно п. 3.14 [10].

Как показали расчеты, относительная высота сжатой зоны

$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,09} = 0,094 < 0,6\xi_R = 0,216$, отсюда согласно п. 3.9 [10] $\gamma_{s3}=1,1$.

При $A_s=0$

$$A_{sp} = \frac{\xi \cdot R_b \cdot b \cdot h_0}{\gamma_{s3} \cdot R_s} = \frac{0,094 \cdot 17 \cdot 650 \cdot 1160}{1,1 \cdot 1170} = 936,2 \text{ мм}^2.$$

При площади одного поперечного сечения стержня $\phi 5 f=19,6 \text{ мм}^2$ требуемое число стержней $n=936,2/19,6=47,7$. Принимаем $48\phi 5 \text{ Вр}1400$ с $A_{sp}=940,8 \text{ мм}^2$. Расположение арматуры показано на рис. 4, а.

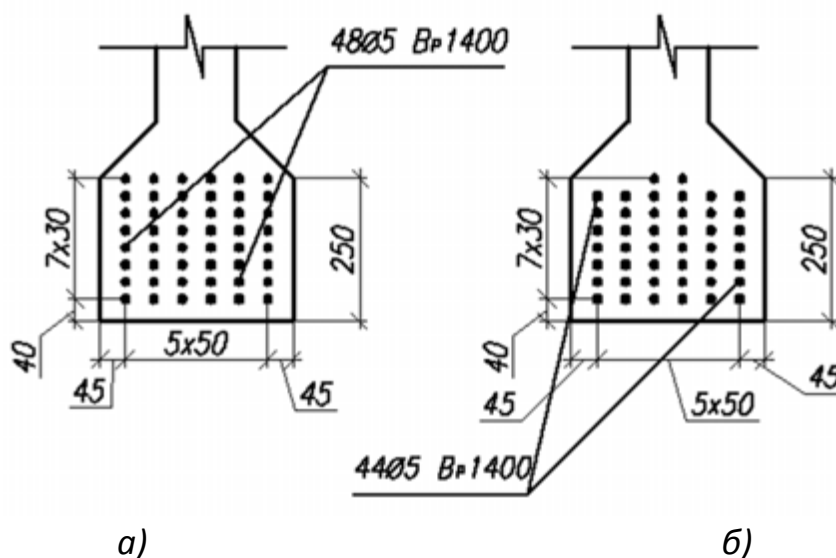


Рис. 4. К подбору продольной предварительно напрягаемой арматуры

Согласно (2) и табл.1 при $n=48$, $V_{\text{расч}}=0,0385$

$$f(n) = \frac{1 - 3 \cdot 0,0385 / \sqrt{48}}{1 - 3 \cdot 0,0385} = 1,112, \text{ тогда}$$

$$A_{sp} = \frac{\xi \cdot R_b \cdot b \cdot h_0}{\gamma_{s3} \cdot f(n) \cdot R_s} = \frac{0,094 \cdot 17 \cdot 650 \cdot 1160}{1,1 \cdot 1,112 \cdot 1170} = 841,9 \text{ мм}^2.$$

Требуемое число стержней в этом случае $n=841,9/19,6=42,95$. Принимаем $44\phi 5 \text{ Вр}1400$ с $A_{sp}=862,4 \text{ мм}^2$. Расположение арматуры показано на рис. 4, б.

Таблица 2

Расход рабочей арматуры на подкрановую балку

Тип конструкции	Принятая площадь арматуры в мм ²		Снижение расхода арматуры в %
	по СП 52-102-2004	по предложенной методике	
Подкрановая балка	940,8	862,4	8,3

Выводы:

1. В конструкциях с многоэлементной высокопрочной арматурой напряжения в стержнях в предельном состоянии различны. Их величины колеблются от минимума до максимума в каждой партии.

2. В предельном состоянии суммарное усилие в многоэлементной арматуре, в которой возникают неодинаковые напряжения, превышает усилие, принимаемое согласно нормативным документам при минимальном значении условного предела текучести во всех стержнях.

3. Применение многоэлементной арматуры в железобетонных балках позволяет снизить расход арматурной стали на 510%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чирков В.П. Результаты экспериментов по оценке сопротивления многоэлементной арматуры со случайными свойствами. Сб. «Вопросы надежности железобетонных конструкций». Тезисы докладов. Куйбышев, 1974. — С. 133–136.

2. Чирков В.П. К определению расчетных сопротивлений арматуры в предельном состоянии // «Транспортное строительство», №1, 1974. — С. 44–45.

3. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций. — М.: «Транспорт», 1980. — 134 с.

4. Чирков В.П., Иосилевский Л.И., Антропова Е.А. Расчетные сопротивления многоэлементной арматуры со случайными свойствами // «Транспортное строительство», №9, 2001. — С. 19–20.

5. Методические рекомендации по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов при пропуске сверхнормативной нагрузки вероятностным методом / СоюзДорНИИ. — М., 1989. — 40 с.

6. Чирков В.П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций. — М.: «Маршрут», 2006. — 620 с.

7. Чирков В.П., Антропова Е.А. Многоэлементная арматура железобетонных конструкций. — Белгород. Вестник отделения строительных наук РААСН, 2008. — С. 219–229.

8. Чирков В.П., Шавыкина М.В., Мухин С.В. Многоэлементная арматура – резерв расчетной надежности железобетонных конструкций // «Промышленное и гражданское строительство». №9, 2007.

9. Чирков В.П., Мухин С.В. Надежность железобетонных конструкций при многостержневом армировании // «Транспортное строительство». №8, 2007.

10. Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СП 52-102-2004).

А.В. Шайбадуллина, Г.И. Яковлев, И.С. Маева, Т.А. Редькина

ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА, МОДИФИЦИРОВАННОЕ МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Ижевский государственный технический университет

Основным методом защиты человека от электромагнитного излучения является экранирование. Экранирование также является методом защиты в различных областях техники – электромагнитной совместимости технических средств, защиты от мощных электромагнитных полей, защиты средств и систем обработки информации для исключения утечки информации по техническим каналам.

Современные требования к эффективности экранирования помещений составляют значения не менее 60 дБ, что обеспечивает устойчивую работу технических средств и эффективную защиту информации [1]. Перечень строительных материалов, эффективно экранирующих электромагнитные поля широкого диапазона частот, ограничен.

В современных исследованиях по разработке строительных материалов для поглощения энергии электромагнитных волн используются в основном традиционные электропроводящие дисперсные (сажи, графит, металлические частицы), волокнистые (углеродные, металлические, металлизированные полимерные) и магнитные (спечённые ферритовые пластины, порошки ферритов, карбонильное железо и др.) наполнители, применяемые как по отдельности, так и совместно, образуя сложные композиционные структуры.

Экранирующие защитные штукатурные покрытия изготавливаются с применением специальных проводящих наполнителей для создания экранов, защищающих от электромагнитных излучений. Такие экраны защищают от электростатических полей и сверхвысокочастотных электромагнитных полей антенн базовых станций мобильной связи, радиолокационных станций, промышленного оборудования, физиотерапевтической аппаратуры и неблагоприятных факторов геоактивных зон [2].

Экранирование традиционными строительными материалами громоздко, при их использовании трудно обеспечить герметичность экрана. Поэтому актуальной является задача разработки экологически чистого и эффективного в применении покрытия на основе силикатной краски. Основной состав разрабатываемого покрытия для поглощения электромагнитного излучения служит известное цементно-силикатное покрытие, при-

веденное в статье [3] и включающее жидкое натриевое стекло, портландцемент, замедлитель коагуляции. Для обеспечения поглощения электромагнитного излучения в состав дополнительно вводилась водная дисперсия многослойных углеродных нанотрубок.

Для приготовления отделочного состава использовалось в качестве связующего жидкое натриевое стекло (силикатный модуль 2,7...2,9; средняя плотность 1,45 г/см³). Учитывая его низкую водостойкость при эксплуатации в условиях воздействия окружающей среды, в состав композиции вводился в качестве отвердителя белый портландцемент, способный повысить долговечность покрытия в условиях повышенной влажности. Для предотвращения мгновенного твердения композиции вводился замедлитель, который способен временно нейтрализовать влияние портландцемента за счет образования труднорастворимой пленки на поверхности частиц портландцемента.

Для улучшения физико-технических характеристик силикатной композиции и повышения плотности структуры и прочности покрытия использовался тонкомолотый известняк «Пугачевского месторождения» (средний диаметр частиц составлял 45 мкм).

Мгновенную коагуляцию жидкого стекла при введении портландцемента предотвращали замедлителями, которые способны временно нейтрализовать активную поверхность цемента за счет поглощения первичных продуктов гидратации цемента анионами некоторых кислот. Учитывая важность управления условиями формирования структуры покрытия на самых ранних сроках гидратации портландцемента с целью обеспечения необходимой жизнестойкости краски изучалось воздействие замедлителей, способных сразу же после затворения композиции нейтрализовать образующийся в результате гидратации гидроксил кальция. При исчерпании введенного объема замедлителя наступает коагуляция и отверждение жидкого стекла. Вследствие наличия в составе отделочной композиции портландцемента со временем происходит нарастание прочности покрытия за счет гидратации минералов цемента. При этом из коллоидов, образовавшихся при коагуляции жидкого стекла, активно отводится вода на гидратацию цемента, а образующаяся поровая среда заполняется новообразованиями портландцемента, что приводит к повышению прочности контактов между всеми составляющими композиции и, соответственно, плотности пленки отделочного состава. Необходимо также учитывать роль карбонизации новообразований углекислым газом воздуха и образование сульфатов вследствие воздействия на покрытие промышленных газов в виде сернистых оксидов. Их совместное проникновение в тонкие слои покрытия приводит к образованию сульфо-карбосиликатной фазы, уплотняющей структуру цементно-силикатного состава [4].

В то же время замедлитель не должен вызывать высолообразование на поверхности нанесенного покрытия, не должен вызывать коррозию оборудования, используемого при приготовлении и нанесения покрытия, должен обладать хорошей растворимостью и быть безопасным в контакте с человеком. Подбор эффективного замедлителя являлся одной из основных проблем модификации силикатной краски.

Выбор белого портландцемента в качестве отвердителя связан с необходимостью достижения необходимых цвета и оттенков разрабатываемого красочного состава. Обычный портландцемент серого цвета усложняет получение ярких красочных составов.

Для колерования отделочной композиции использовались универсальные пигментные концентраты (ООО «Новый дом», г. Ижевск). Высокий уровень дисперсности пигментов обеспечивает высокую красящую способность и, соответственно, низкий расход концентратов на единицу массы лакокрасочного материала. Для модификации силикатной композиции с целью придания экранирующих свойств применялись многослойные углеродные наноструктуры «Graphistrength™» корпорации «Arkema» (Франция) [5], которые имеют от 10 до 15 слоев трубок с внешним диаметром от 10 до 15 нм, длиной от 1 до 15 мкм со средней плотностью 50–150 кг/м³. В зависимости от своей внутренней конфигурации нанотрубки могут быть проводниками металлического типа или полупроводниками.

Анализ литературы дает разброс в измеренных значениях электрического сопротивления углеродных нанотрубок при комнатной температуре в диапазоне от 1,5 до 104 кОм для индивидуальных нанотрубок, от 1,5 до 14 кОм для жгутов из нанотрубок и от 3 до 12 Ом для тканевого материала из нанотрубок [6].

Для изучения экранирующих свойств были изготовлены образцы с подложкой из силикатного стекла толщиной 3,2 мм размером 150–150 мм, на которые было нанесено исследуемое силикатное покрытие.

Экранирующие свойства материала исследовали с помощью измерительной установки ПЭВ-1 с генератором, смонтированным на отражательном клистроне, являющемся генератором СВЧ колебаний.

Установка в 3х сантиметровом диапазоне позволяла исследовать практически все свойства электромагнитных волн (отражение, преломление, фокусировки, интерференции, дифракции и т.д.).

Схема применяемой установки представлена на рис. 1.

Излучение колебаний сверхвысокой частоты, полученных в отражательном клистроне, обеспечивается пирамидальной рупорной антенной. Колебания от клистрона к антенне передаются по прямоугольному волноводу. В целях согласования антенны и волновода используется металлический поршень, перемещающийся по волноводу.

Были проведены исследования с использованием готовой 7% суспензии углеродных нанотрубок CW2-45. Установлено повышение поглощения электромагнитного излучения с 20 до 69% при содержании углеродных нанотрубок до шести процентов от массы силикатного покрытия (рис 2). Последующее увеличение концентрации углеродных нанотрубок негативно сказывается на внешнем виде поверхности, а также приведет к повышению стоимости продукта, не оказывая значительного влияния на улучшение поглощающих характеристик.

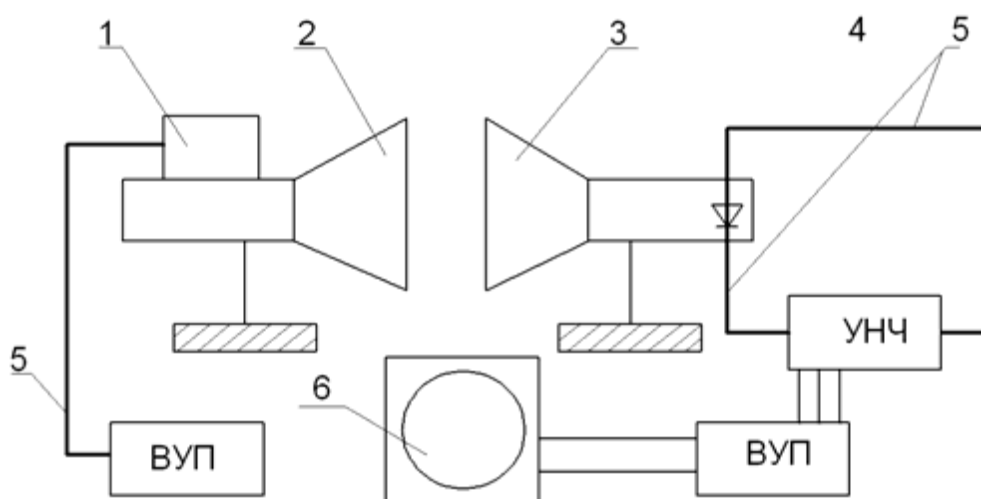


Рис. 1. Блок схема измерительной установки:

ВУП – выпрямитель универсальный полупроводниковый;

УНЧ – усилитель низкой частоты; 1 – генератор СВЧ, выполненный на

клинтроне типа К-19 и радиолампе 6Н7С.; 2 – передающая рупорная антенна;

3 – приемная рупорная антенна; 4 – детекторная секция с кремниевым диодом

типа ДК-С7М; 5 – экранированный жильный шнур; 6 – громкоговоритель

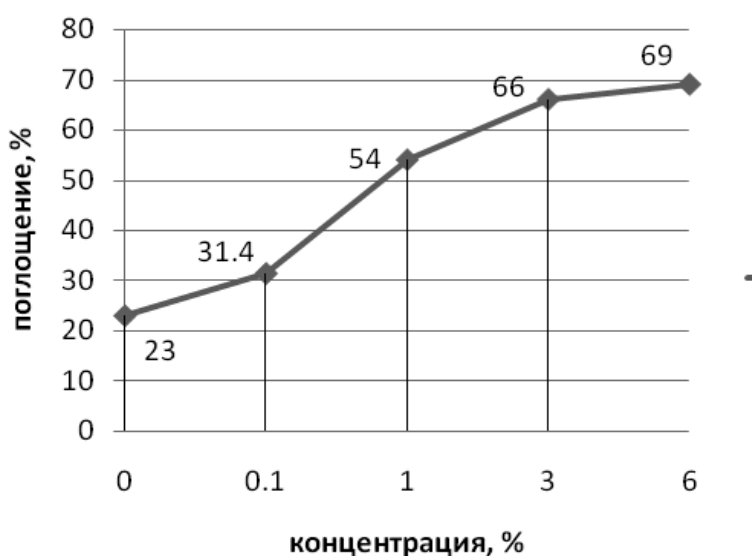


Рис. 2. Зависимость поглощения электромагнитного излучения от содержания наноструктур

При модификации силикатной композиции углеродными наноструктурами приводит к изменению микроструктуры с повышением плотности покрытия за счет увеличения межкристаллитных контактов в композиции. Как видно из рис. 3, микроструктура силикатной композиции с добавлением нанотрубок имеет более плотную и однородную структуру с включениями нанодисперсных закругленных чешуек (рис. 3, б), идентифицированных в литературе [7, 8], как тоберморитовые пластинки.

Таким образом, введение в силикатную композицию дисперсии многослойных углеродных нанотрубок позволяет стимулировать структурообразование композиций и улучшать ее физико-технические свойства.

Физико-химические исследования структуры силикатного покрытия показали возможность регулирования морфологии кристаллогидратных фаз и увеличение контактной поверхности между ними за счет формирования структуры повышенной прочности и водостойкости.

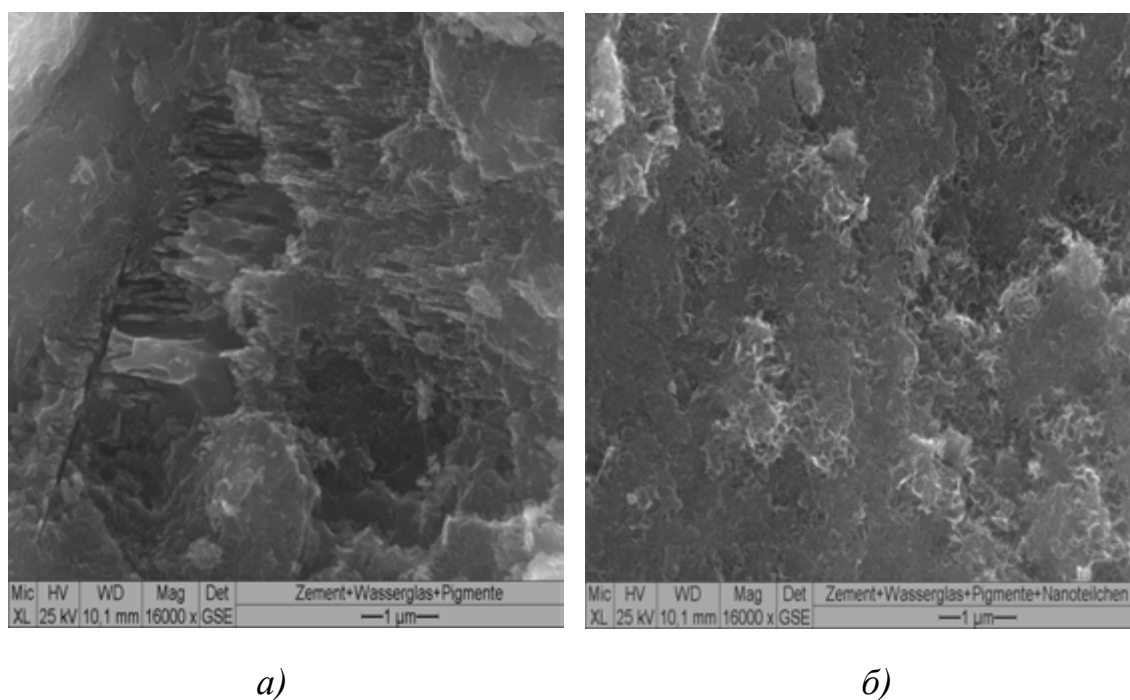


Рис. 3. Микроструктура отделочного состава при 1600-кратном увеличении:
а – контрольный, *б* – с дисперсией углеродных нанотрубок «Graphistrength™» корпорации «Arkema»

По данным рентгенофазового анализа разработанной композиции отмечается [9] образование в структуре покрытия кристаллической фазы в виде оксида кремния в сочетании с аморфной вяжущей матрицей, обеспечивающей получение композиционного материала повышенной водостойкости.

Анализ силикатной экранирующей композиции с использованием дифференциальной термографии (рис. 4) показал, что в общей потере

массы образца при нагревании до 600°C, на долю свободной и кристаллогидратной приходится 78,5%. Кривая ДТА, кроме эндотермических эффектов связанных с удалением воды и декарбонизации имеет два ярко выраженных экзотермических эффекта. Первые пики при температуре 285 и 320°C вызваны дегидратацией ортофосфатов кальция с переходом в пирофосфаты, протекающее с отщеплением воды.

ИК-спектральный анализ (рис. 5) подтвердил образование ортофосфатов на поверхности частиц цемента (599; 930; 1140 см⁻¹), которые блокируют гидратацию цемента, обеспечивая необходимую жизнестойкость силикатного покрытия до его схватывания.

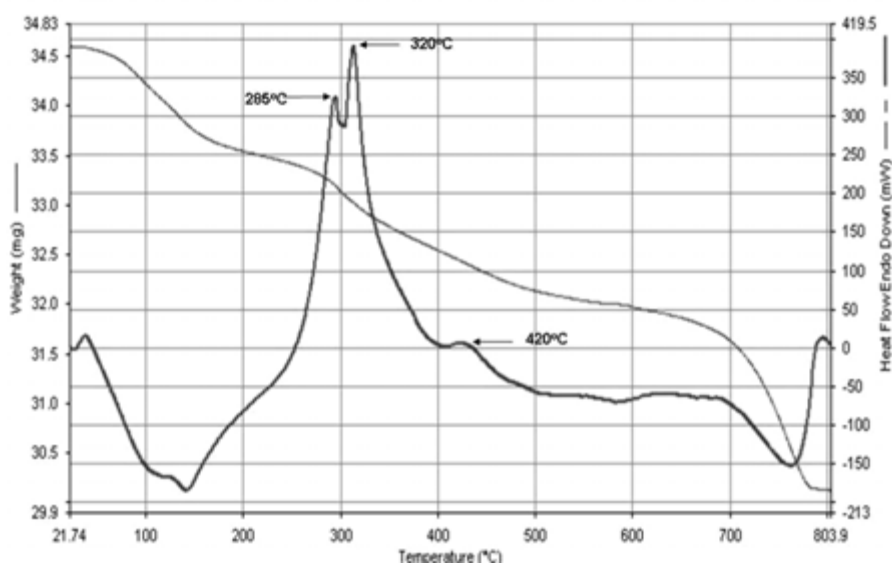


Рис. 4. Дериватограмма модифицированной силикатной композиции

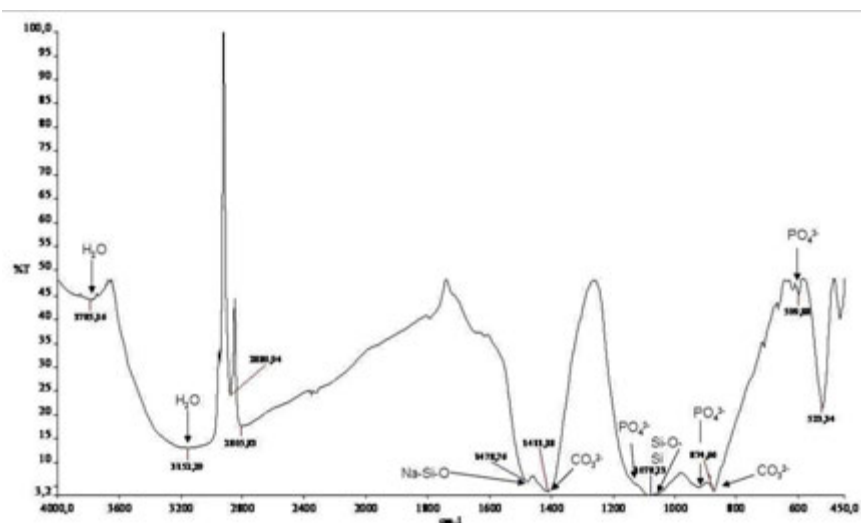


Рис. 5. ИК- спектр модифицированной силикатной композиции

Заключение

Введение в силикатную композицию нанодисперсных структур типа углеродных многослойных нанотрубок позволяет стимулировать структурообразование композиций и улучшать ее физико-технические свойства. Физико-химические исследования структуры силикатного покрытия показали возможность регулирования морфологии кристаллогидратных фаз и увеличение контактной поверхности между ними за счет формирования структуры повышенной прочности и водостойкости.

Добавление в состав композиционного материала 7% суспензии дисперсии углеродных нанотрубок CW2-45 приводит к росту поглощения электромагнитного излучения до 46%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кечиев Л.Н., Степанов П.В. «ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций». Издательский дом «Технологии». М., 2005. — С. 216.
2. Никитина В.Н., Калинина Н.И., Ляшко Г.Г. Магнезиально-шунгитовые строительные материалы как средство защиты от радона и электромагнитных полей // Безопасность жизнедеятельности. №12, 2005. — С. 34–36.
3. Яковлев Г.И., Гайлюс А. Солевая коррозия керамических материалов // Стекло и керамика, №10, 2005. — С. 20–22.
4. Яковлев Г.И., Керене Я., Пислегина А.В., Бурьянов А.Ф. Отделочная композиция на основе жидкого стекла // Сухие строительные смеси, №4, 2009.
5. Bordere S., Corpart J.M., Bounia N.E.El, Gaillard P., Passade_Boupat N., Piccione P.M., Plée D. Industrial production and applications of carbon nanotubes/ Arkema, Groupement de Recherches de Lacq, www.graphistrength.com.
6. Елецкий А.В. УФН, 2009, т. 179, N3. — С. 225.
7. Горшков В.С., Савельев В.Г., Абакумов А.В. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: Структура и свойства: Справочное пособие / — М.: Стройиздат, 1994. — 584 с.
8. Тэйлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. — М.: Мир, 1996. — 560 с.
9. Pislegina (Shajbadullina) A.V., Yakovlev G., Pustovgar A., Mostafa K. Facade finishing coating of increased durability / Proceedings The 10th International conference «Modern building materials, Structures and Techniques». Vol. 1, 2010. — P. 259–263.

К.С. Шинтемиров, К.Ж. Досов, А.А. Бакушев

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АРМОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

Приводятся сведения о коррозионной стойкости арматуры армоцементных конструкций и необходимость её защиты от коррозии. Показано, что наиболее эффективной является защита тканей арматуры порошковыми антикоррозионными покрытиями, ингибированной порошковым ингибитором коррозии ВНХ-Л-20. При этом порошковое покрытие наполнено активированным цементом и наносится в ионизированном кипящем слое. Перед нанесением покрытия арматура очищается (обезжиривается) водным раствором «Райнигер» и высушивается сжатым воздухом.

Армоцементные конструкции находят все большее применение в строительстве спортивных сооружений и торгово-развлекательных комплексов. Объясняется это тем, что они обладают повышенными физико-механическими свойствами и малым сечением, по сравнению с обычным железобетоном [1].

Из практики применения армоцементных конструкций известно, что защитный слой бетона и расстояние между армирующими сетками должны составлять в оптимальном варианте 2–3 мм [2, 3]. Увеличение защитного слоя бетона значительно ухудшает физико-механические свойства армоцемента. Поэтому столь малая толщина защитного слоя, при средней толщине армоцементных конструкций 15–30 мм, выдвигает на первый план решение задачи обеспечения коррозионной стойкости арматуры в тонкостенных армоцементных конструкциях.

Известно, что процесс коррозии стальной арматуры в бетоне является электрохимическим процессом, которая является результатом работы множества микрогальванических короткозамкнутых элементов, возникающих на поверхности металла при контакте его с электролитом, т.е. жидкой фазой бетона [4, 5].

Возникновение микрогальванических элементов обуславливается различием в значениях потенциалов отдельных участков поверхности металла, находящегося в электролите. Что является следствием наличия примесей в металле, неоднородности структуры как самого металла, так и контактирующего с ним бетона и др. На величину потенциала металла влияют также состав электролита, концентрация и вид растворенных ионов, скорость их движения, влажность конструкции, проницаемость для кислорода воздуха и множество других факторов.

При работе короткозамкнутого гальванического элемента возникает электрический ток, называемый током коррозии. При этом на участках поверхности металла, имеющих меньшее значение потенциалов (анодные участки), происходит переход металла в ионное состояние. Следствием этого является разрушение кристаллической решетки, т.е. в конечном итоге потеря металла. Освободившиеся при этом электроны переходят на катодные участки, где ассимилируются деполяризатором – атомом или ионом, способным восстанавливаться, т.е. поглощать освобожденные электроны. Коррозия металла происходит лишь при совместном протекании катодного и анодного процессов, причем интенсивность этих процессов будет определяться скоростью более медленно протекающего в данных условиях процесса.

При коррозии металла в нейтральных и щелочных средах таким определяющим фактором чаще всего является поступление кислорода (деполяризатора) к корродирующей поверхности металла.

Таким образом, чтобы затормозить или прекратить коррозию металла достаточно создать условия, при которых будет затрудняться переход металла в ионное состояние, или ограничиваться доступ деполяризатора к поверхности металла. На этом принципе и основаны многие существующие методы защиты арматуры железобетонных изделий от коррозии.

Продукты коррозии металла имеют различный состав, который зависит от условий протекания коррозионных процессов. Наиболее часто встречаются такие соединения как $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{Fe}(\text{OH})_3$; Fe_2O_3 ; $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. При этом ржавчина занимает в 2–3 раза больший объем, чем объем прокорродировавшего металла, которые способны вызывать значительные напряжения, приводящие к образованию трещин и отслоению бетона. Поэтому арматура в тонкостенных конструкциях нуждается в защите.

Одним из таких приемов, используемым в железобетонных конструкциях, является введение в состав бетона ингибиторов коррозии [6, 7]. Однако при недостаточном количестве введенного ингибитора или снижении его концентрации в процессе эксплуатации армоцементных конструкций, существует опасность неполной пассивации поверхности стали, и как следствие, развитие локальной коррозии арматуры.

Известен способ защиты арматуры от коррозии нанесением на ее поверхность фосфатных покрытий. Способ заключается в образовании на поверхности арматуры труднорастворимых солей фосфорной кислоты, что достигается обработкой металла в растворе цинкфосфата и последующим пассивированием в растворе наполнителя ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) с целью уменьшения пористости фосфатной пленки. С целью предотвращения повреждений тонкой фосфатной пленки во время транспортирования и производства работ, фосфатированная арматура дополнительно покрывается слоем органического лака, что усложняет общий технологический процесс, и удлиняет его во времени.

В задачу наших исследований входит разработка порошковых покрытий для защиты арматуры армоцементных конструкций, которые надежно защищали бы их от коррозии в агрессивных газовых средах, вызывающих карбонизацию бетона и нейтрализацию защитного слоя, таких как CO_2 , а также высокой влажности среды, свойственных для большепролетных покрытий, где влажность бетона армоцементных конструкций может достигать от 80 до 90%.

Существующие в настоящее время различные лакокрасочные покрытия на основе различных эмалей и масляных красок не могут обеспечить полной защиты армоцементных конструкций в указанных средах, и разрушаются в течение 3–5 лет от действия давления продуктов коррозии на металле. В результате на металлических конструкциях протекает интенсивная питтинговая и язвенная коррозия, которая резко снижает несущую способность конструкций.

Нами разработаны составы антикоррозионных покрытий на основе порошкового поливинилбутираля, с добавкой порошкового ингибитора коррозии марки ВХ-Л-20 и активированного цемента при следующем соотношении компонентов, масс. %:

порошковый поливинилбутираль:	58,5–60,9
порошковый ингибитор коррозии ВХ-Л-20:	0,1–0,5
активированный портландцемент М400:	41–39.

Приготовление порошкового покрытия проводили в шаровой мельнице с целью равномерного распределения ингибитора (ВХ-Л-20) в объеме порошковой смеси поливинилбутираля и активированного цемента в течение 10–15 мин.

Активирование портландцемента М400 проводили в мельнице ударно-импульсного действия конструкции д.т.н. Билалова М.А., обеспечивающего получение частиц цемента с размерами 5...25 мкм.

Технология нанесения разработанного антикоррозионного покрытия следующая: поверхность металлического изделия перед нанесением антикоррозионного покрытия обезжиривается водным раствором «Райнигер» (ТУ 2381-001-44296384-98). Концентрация водного раствора «Райнигер» составляет 20–30 г/л (в зависимости от степени загрязнения). Затем металлические изделия (арматурная сетка) просушивают сжатым воздухом, после чего она готова для нанесения на него антикоррозионного покрытия.

Антикоррозионное порошковое покрытие наносится в ионизированном кипящем слое, способе, хорошо зарекомендовавшем себя на практике и получившем широкое распространение за рубежом.

Краткая техническая характеристика экспериментальной установки (ванны ионизированного кипящего слоя) для нанесения покрытий приведена ниже:

Производительность, м ² /час	60
Максимальная ширина защищаемой сетки, мм	1000
Скорость перемещения сетки, м/мин	1,0
Установленная мощность, кВт	10
Напряжение, В	380/220
Напряженность электрического поля в ванне, кВ	не более 70
Давление сжатого воздуха, кгс/см ²	не более 6
Расход воздуха, м ³ /мин	2,1
Температура нагрева изделия, °С	не выше 300

Полученное покрытие отличается высокой плотностью, однородностью и хорошей эластичностью.

Для испытаний защитных свойств покрытий были приняты образцы армоцемента размерами 50×50×3 см., выпиленные из плит армоцементных изделий шириной 1 м и длиной 3 м. Торцы образцов, где после выпиливания оголяются прилегающие к алмазной пиле грани с выступающей проволочной арматурой, были покрыты парафино-канифольной мастикой или эпоксидной смолой.

Толщина покрытий составляла 100–150 мкм. В качестве контрольных образцов были приняты такие же образцы армоцемента, где арматурная сетка не имела защитного покрытия.

Подготовленные образцы помещали в герметичную камеру, где поддерживалась относительная влажность воздуха 80, 85 и 90%.

Другая серия образцов хранилась в герметичных камерах, куда закачивался газ СО₂, при этом относительная влажность воздуха поддерживалась в пределах 50%. Концентрация углекислого газа составляла 0,6 мг/м³, т.е. имитировались условия, характерные для предприятий металлургической, химической и других отраслей промышленности.

Длительность указанных видов испытаний 3 года.

Испытания показали, что защитный эффект предлагаемого антикоррозионного покрытия на основе порошкового поливинилбутирала с добавкой ингибитора коррозии ВНХ-Л-20, наполненного активированным цементом, находится в пределах от 98,2 до 100% (в зависимости от вида агрессивной среды и относительной влажности воздуха). Арматура в образцах армоцемента без защитных покрытий в этих условиях испытаний была поражена коррозией язвенного вида.

Таким образом, учитывая малое количество компонентов и простоту технологии приготовления и нанесения разработанного антикоррозионного покрытия на поверхность тканой арматурной сетки, а также доступность применяемых материалов, можно с полной уверенностью рекомендовать эти покрытия для широкого применения в производстве для защиты арматуры армоцементных конструкций от коррозии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сборник трудов Ленфилиала АС и А СССР «Армоцемент и армоцементные конструкции». – Стройиздат, 1962. – 227 с.
2. Состояние и дальнейшие перспективы развития армоцементных конструкций. – Л.: «Знание», 1971. – 45 с.
3. *Томашов Н.Д.* Теория коррозии и защиты металлов. – М.: Metallurgy, 1962. – 586 с.
4. *Тодт Ф.* Коррозия и защита от коррозии. М.: «Химия», 1966. – 545 с.
5. *Алексеев С.Н.* Коррозия и защита арматуры в бетоне. 2-е издание. – М.: Стройиздат, 1968. – 231 с.
6. *Антропов Л.И., Макушин Е.М., Панасенко В.Ф.* / Ингибиторы коррозии металлов /. – К.: Техніка, 1981. – 183 с.
7. *Розенфельд И.Л.* Ингибиторы коррозии. – М.: «Химия», 1977. – 352 с.

С.И. Шиян, Е.В. Щекочихина, С.А. Чарыкова, Т.М. Тихонова

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САРМАТСКИХ ГЛИН ЮЖНОЙ ОКРАИНЫ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Сарматские отложения широко распространены на территории России и в сопредельных странах и часто залегают в пределах глубин активной зоны фундаментов инженерных сооружений на территории от Карпат до Прикаспия. Наибольшую проблему для строительства представляют сарматские глины, относящиеся к структурно-неустойчивым грунтам.

Изучались два опорных региона: Северное Причерноморье (в пределах Молдовы) и Центральное Предкавказье (в пределах Ставропольской возвышенности). В соответствии с исследованиями Н.И. Андрусова [1], первый в сарматское время, был приурочен к акватории Галицийского залива, а второй – Ставропольского пролива Сарматского морского бассейна.

В настоящее время эти два региона представляют собой Центрально-Молдавскую возвышенность и Ставропольскую возвышенность с прилегающими возвышенными равнинами. Отметки поверхности составляют: 300–400 м в Молдове и около 700 м – в Центральной Предкавказье. Климат обеих регионов умеренно-континентальный, однако вся территория Молдовы относится к зоне недостаточного увлажнения с коэффициентом увлажнения 0,72–0,80, а более высокая территория Центрального Предкавказья – к увлажнённой зоне и зоне избыточного увлажнения, коэффициент увлажнения здесь изменяется от 1,0 до 1,1.

Сарматские глины в обоих районах обнажаются на поверхности либо перекрыты маломощной толщей покровных грунтов. Проанализированы: литологический состав, степень засоления и физико-механические свойства глин.

Результаты гранулометрического анализа позволяют отнести глины из обоих регионов к группе высокодисперсных грунтов, содержащих более 50% глинистых частиц [2]. По этому показателю сарматские глины из обоих регионов почти не различаются. Это свидетельствует о том, что снос терригенного материала в Сарматский морской бассейн проходил в основном из одного региона – Русской платформы.

Результаты микроагрегатного состава глин указывают на существенное их различие. Глины из Центрального Предкавказья менее дисперсные, содержание глинистой фракции у них 15–50%. Глины Северного Причерноморья более дисперсные, глинистой фракции у них в среднем 25–50% [3]. Коэффициенты агрегированности (частиц менее 0,005 мм): у первых составляет в среднем 4,45, а у вторых 1,73.

Минеральный состав дисперсной фракции глин обоих регионов существенно отличен. В целом у глин обоих регионов дисперсная фракция состоит в основном из двух минералов: гидрослюда и монтмориллонита. Но у глин Центрального Предкавказья монтмориллонита больше на 10–20% [4]. Это может служить доказательством более высокой вулканической активности в сарматские время Кавказских гор – на востоке, чем Добруджской горной системы – на западе. Однако, более высокое содержание монтмориллонита может быть следствием более влажного климата в послесарматское время. Известно, что в таких условиях гидрослюда может преобразовываться в монтмориллонит.

Степень засоления глин определялась по данным водных и солянокислых вытяжек (табл. 1). Результаты свидетельствуют, что засоленность глин обоих регионов существенно различна. Глины из Центрального Предкавказья на 1,5 порядка более засолены (по сухому остатку), чем глины из Северного Предчерноморья. Объяснение этому факту мы находим в фундаментальном труде Н.И. Андрусов «Южнорусские неогеновые отложения» [1]. Анализируя фауну и флору Сарматского моря, Н.И. Андрусов пришел к выводу, что вода в восточной части Сарматского морского бассейна была более соленая, чем в западной, где она опреснялась речным стоком с Русской платформы.

Анализ показателей физических свойств глин (табл. 2) свидетельствует о различии их для обоих регионов. Глины из Центрального Предкавказья, характеризующиеся повышенным содержанием монтмориллонита, более влажные, в среднем 0,33 и 0,36, невысокой плотности 1,74 и 1,89 г/см³. Глины из Северного Причерноморья менее влажные в среднем 0,23 и 0,24 и более плотные, в среднем 2,00 и 2,03 г/см³ [3]. Причина это-

му, на наш взгляд, кроется в постгенетических факторах, воздействующих на сарматские глины, главным из которых является степень увлажнения территории в послесарматское время. Сарматские глины по определению являются «сенсорными» породами, свойства которых тесно связаны с влажностью природной среды: более высокой в Центральном Предкавказье и меньшей в Северном Причерноморье. Не последнюю роль играет и содержание в глинах монтмориллонита. Там где его больше – глины более влажные, что обусловлено свойствами этого минерала.

Таблица 1

Показатели засоления сарматских глин

Показатели	Центральное Предкавказье	Северное Причерноморье
Сухой остаток, г/100 г сух. пор.	<u>5,14</u>	<u>0,12</u>
	4,39	0,20
Карбонатность, %	<u>11,61</u>	<u>12,47</u>
	8,64	9,10
Содержание гипса, %	<u>0,13</u>	<u>0,13</u>
	0,07	0,08
Органический углерод, %	<u>1,40</u>	<u>0,62</u>
	1,19	0,43

Примечание: в числителе среднее значение для глин среднего сармата; в знаменателе – для глин нижнего сармата (Центральное Предкавказье) и верхнего сармата (Северное Причерноморье).

Анализ показателей механических свойств показывает, что существенные различия в составе, состоянии и физических свойствах глин нашли свое отображение в показателях механических свойств и набухаемости. Глины из Северного Причерноморья более набухающие, чем одновозрастные отложения Центрального Предкавказья. Их давление набухания в 3–10 раз больше и составляет: в 0,20–0,421 МПа [3]. Прочность первых в 2,5–3,0 раза больше удельному сцеплению и в 1,5–3,0 раза меньше углу внутреннего трения.

Анализировались показатели общей и остаточной прочности глин из обеих регионов. У глин Центрального Предкавказья остаточная прочность составляет 50–80% от общей, а у глин Северного Причерноморья – 20–25%, соответственно по удельному сцеплению и углу внутреннего трения [5]. Факт вполне объясним, если вспомнить, что у первых более высокое содержание монтмориллонита и большая влажность, а следовательно у них большая доля водно-коллоидных связей в общем объеме структурного сцепления.

Таблица 2

Физико-механические характеристика сарматских глин

Показатели	Центральное Предкавказье	Северное Причерноморье
Плотность ρ , г/см ³	<u>1,74</u>	<u>2,03</u>
	1,89	2,00
Природная влажность, w	<u>0,36</u>	<u>0,24</u>
	0,33	0,23
Предел текучести w_L	<u>0,65</u>	<u>0,55</u>
	0,67	0,48
Предел раскатывания w_p	<u>0,35</u>	<u>0,27</u>
	0,37	0,24
Число пластичности J_p	<u>0,27</u>	<u>0,28</u>
	0,29	0,24
Пористость n , %	<u>50,50</u>	<u>40,20</u>
	48,50	40,50
Коэффициент естественной уплотненности, k_d	<u>1,31</u>	<u>1,11</u>
	1,08	1,04
Величина свободного набухания ε_{sw}	<u>0,12</u>	<u>0,33</u>
	0,26	0,20
Давление набухания $P_{sw} \cdot 10^5$ Па	<u>0,36</u>	<u>4,29</u>
	0,70	2,00
Удельное сцепление, $c \cdot 10^5$ Па	0,50	<u>1,39</u>
		1,34
Угол внутреннего трения ϕ , град	30,50	<u>9,4</u>
		20,3

Примечание: одно значение показателя – в целом для сарматской толщи, другие – см. табл. 1.

Выводы

1. Сарматские глины в краевых прогибах юга Русской платформы служат основанием инженерных сооружений на значительной территории Северного Причерноморья и Центрального Предкавказья, и часто являются причиной образования на склонах оползней.

2. Глинистые породы сармата накапливались в Сарматском морском бассейне, восточная часть которого характеризовалась повышенной соленостью воды, по сравнению с западной, где происходило разбавление речным стоком с Русской платформы. Вследствие этого, на востоке сфор-

мировались глинистые породы с более высокой минерализацией порового раствора, чем на западе.

3. Различия в химическом составе поровых вод обусловили разную степень агрегатизации грунтовых частиц: на востоке - более высокую, чем на западе, что нашло свое отражение в существенном различии микроагрегатного состава глин обеих регионов при достаточно одинаковом их гранулометрическом составе. Последний свидетельствует об одной площади сноса терригенного материала-Русской платформы.

4. Постгенетические преобразования глинистых пород, вследствие залегания их в различных по степени увлажнения климатических зонах, совместно с разными условиями осадконакопления обусловили различия в показателях физических свойств глин обеих регионов: на востоке это более влажные, менее плотные сильнопористые отложения, а на западе – прямо наоборот.

5. Все различия в составе и физических свойствах глин обеих регионов нашли свое отражение в их набухаемости и прочности. Более засоленные глины Центрального Предкавказья, отличающиеся повышенной влажностью, набухают меньше, чем одновозрастные отложения из Северного Причерноморья. Давление набухания первых в 3–10 раз меньше, чем вторых. Такая же закономерность имеет место и с прочностью, но различия в показателях прочности несколько меньше.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрусов Н.И. Южнорусские неогеновые отложения, ч. II, III (Сарматский ярус) / В кн. Академик Н.И. Андрусов. Избранные труды. Изд. АН СССР, 1961. Т.1 — С. 149–358.
2. Горькова И.М. Теоретические основы оценки осадочных пород в инженерно-геологических целях. Изд. Наука, 1966. — 136 с.
3. Монюшко А.М., Олянский Ю.И. Инженерно-геологические особенности сарматско-молдавских глин Молдовы // Кишинев изд. Штиинца, 1991. — 172 с.
4. Монюшко А.М. Инженерно-геологическая оценка сарматских глин. М.: Наука, 1974. — 135 с.
5. Олянский Ю.И., Быкодеров М.В., Щекочихина Е.В. Оценка прочности сарматских глин на оползневых склонах // Сергеевские чтения, вып. 10. М.: ГЕОС, 2008. — С. 23–24.

Г.Г. Шкода

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПРИ СЖАТИИ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Экспериментально и теоретически показано, что оптимальный результат по прочности сталефибробетона на сжатие может быть получен только при определенных соотношениях водоцементного фактора и объемного процента армирования.

По работе сталефибробетона (в дальнейшем фибробетона) на сжатие за последние десятилетия накоплен большой экспериментальный материал, как в СССР, в России, так и за рубежом. Теоретические же исследования этого вопроса почти отсутствуют. Предлагаемые формулы, оценивающие прочность, основываются на экспериментальных данных како-то ограниченного характера и весьма разноречивы.

В ЛенЗНИИЭП предложена формула, связывающая прочность фибробетона с прочностью бетонной матрицы, с объемным процентом армирования и характером распределения фибр в бетоне. Формула была получена на основании экспериментов при бетонах высокой прочности и малых водоцементных отношениях (В/Ц – 0,4 и ниже). Эффективность фибрового армирования составила 20–30%, что и отражено в формуле числовым коэффициентом.

В Рижском институте инженеров гражданской авиации [1] эффективность фибробетона по экспериментальным данным оказалась равной $2,19 \div 2,24$, что также оценивается в формуле числовым коэффициентом, лишь фиксирующим полученные результаты. Сами опыты проводились при одних и тех же параметрах армирования (процент армирования фибрами – 3%, отношение длины к ее диаметру $\ell/d = 50 \div 100$, марка бетона 300, В/Ц не указано).

В Киевском инженерно-строительном институте [2] в опытах эффективность фибрового армирования по сравнению с чистым бетоном составила 10% при В/Ц = 0,39, проценте армирования – 2%, $\ell/d = 100$, прочности бетонной матрицы 49-60 МПа, а при $\ell/d = 20$ наблюдалось снижение прочности фибробетона по сравнению с обычным бетоном.

В Липецком политехническом институте [3] при В/Ц = 0,5 и 0,47, $\ell/d = 100$, проценте армирования 3–5% эффективность фибробетона по сравнению с чистым бетоном составила 18–31,4%.

В опытах НИИЖБ Госстроя СССР [4] при $V/C = 0,4$, проценте армирования — 2%, $l/d = 100$ наибольшая эффективность фибрового армирования составила 52% и колебалась от 3 до 52% при проценте армирования от 0,5 до 3%.

В Липецком государственном техническом университете [5] исследовалось влияние компонентов на прочность фибробетона при варьировании расхода цемента (650, 700, 750 кг/м³), V/C (0,4; 0,45; 0,5) и степени дисперсного армирования по объему (2,5% и 5,0%) при $l/d = 90$. Использовался так же пластификатор для увеличения подвижности бетона. При 5%-м содержании фибр кубиковая прочность увеличивалась в 1,6 раза.

В США Snyder M. и Lankard D. [6] установили, что при 2%-м содержании фибр достаточным является $V/C = 0,45$, а при том же V/C и при содержании фибр в объеме 3–4% прочность ниже, чем в образцах, содержащих фибры в объеме 2%. Осмотр таких образцов после испытания обнаружил неравномерность распределения фибр, наличие пустот в матрице и фибровых комков. При увеличении V/C эти недостатки устранялись и прочность повышалась.

При сопоставлении результатов экспериментальных исследований, описанных выше, обращает на себя внимание, что эффективность фибрового армирования, как правило, снижается при повышенных процентах армирования и при малых V/C отношениях. Очевидно, что между этими двумя характеристиками имеется определенная зависимость, предопределяющая получение конечных результатов по прочности.

Автором для выяснения этой зависимости проведен эксперимент, в котором при постоянных V/C и технологии укладки, а также двух характеристиках (диаметр фибры $d=0,20$ мм при $l/d = 125$, фибры стальные с пределом прочности стали при разрушении 1760 МПа, профилированные с глубиной вмятин $0,2d$ и расстоянием между вмятинами $(3\div 4)d$, цемент марки 400, песок с максимальной крупностью зерен 5 мм с предварительной промывкой) испытывались образцы с различным процентом армирования. Применялась марки бетона 300 при $V/C = 0,55$. Раствор приготавливался сначала без фибр, а затем в него постепенно вводились отожденные фибры. Бетонирование проводилось на вибростоле с частотой колебаний 3000 об/мин до появления цементного молока сверху (менее 50 с). Следует отметить, что после введения фибр в раствор смесь становилась значительно менее подвижной, и при проценте армирования 3% укладка была затруднительна. Испытания на сжатия проводились на кубиках с ребром 10 см, формируемых в сборно-разборных металлических формах, обеспечивающих соблюдение точности размеров. Образцы хранились в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 28-ми суток. Всего испытывалось 5 серий образцов по пять-шесть кубиков в серии, а также контрольная серия из чистого бетона. За разрушающую принималась максимальная нагрузка

по показаниям стрелки манометра. По достижении этой нагрузки стрелка начинала двигаться в обратную сторону, но не спускалась до нуля, а до величины, соответствующей 30–40% от максимальной нагрузки, после чего сопротивление кубиков сжатию снова возрастало и доходило до весьма больших значений (испытания приостанавливались, так как была опасность повредить пресс). Разрушение кубиков сопровождалось возникновением и развитием вертикальных трещин. Возникновение трещин начиналось при нагрузках, близких к первоначальному максимуму. После достижения его, высота кубика постепенно уменьшалась и могла быть доведена до 0,4÷0,5 от первоначальной без разделения кубика на части. Поперечные размеры кубика увеличивались с пропорциональным этому увеличению раскрытия трещин. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Шифр серии	Объемный процент армирования, %	Предельная нагрузка, кН	Предел прочности на сжатие, МПа	Средний Коэффициент эффективности по прочности
I-0	-	348,78*	28,6*	-
II-1,0	1,0	533,0	42,6	1,43
	1,0	520,0	41,5	
	1,0	511,0	40,9	
	1,0	481,0	38,5	
	1,0	499,0	39,9	
II-1,3	1,3	575,0	46,0	1,56
	1,3	558,0	44,6	
	1,3	571,0	45,7	
	1,3	536,0	42,9	
	1,3	564,0	45,1	
	1,3	549,0	43,9	
II-2,0	2,0	680,0	54,4	1,87
	2,0	659,0	52,7	
	2,0	655,0	52,4	
	2,0	689,5	55,2	
	2,0	667,0	53,4	
	2,0	667,5	53,4	
II-2,3	2,3	721,0	57,6	2,0
	2,3	709,0	56,7	
	2,3	699,0	55,9	
	2,3	742,0	59,4	
	2,3	715,0	57,2	
II-3,0	3,0	540,0	43,2	1,5
	3,0	526,0	42,1	
	3,0	551,0	44,1	

* Средние величины, полученные из испытаний шести бетонных образцов

В дальнейшем была сделана попытка дать теоретическую оценку прочности фибробетона на сжатие. Предполагалось, что она зависит от объемного содержания фибр μ , от l/d , прочности бетонной матрицы, а также от консистенции бетона и технологии укладки. Предельное состояние фибробетона при сжатии определяется работой бетона, прямой работой фибр в направлении действия нагрузки и косвенной работой фибр, помогающих работе бетона в поперечных направлениях. В поперечное сечение в расчете на 1 см^2 попадает $n_1=0,5\mu/f$ фибр [7], где f – площадь поперечного сечения одной фибры; μ – объемный коэффициент армирования. В направлении действия силы с учетом коэффициента ориентации $K_0=0,5$ [7] приходится: $\mu_\phi = n_1 f K_0 = 0,25\mu$. Таким образом, четвертая часть фибр работает непосредственно в поперечном направлении, а остальные – косвенно. В предельном состоянии, вводя коэффициент упругости бетона на сжатие ν_c и коэффициент косвенного армирования K_c , можно записать несущую способность фибробетона на сжатие:

$$N_n \leq R_{np}^H F_b \left[1 + (n/\nu_c) \{ \mu_\phi + K_c (\mu - \mu_\phi) \} \right]. \quad (1)$$

С учетом μ_ϕ : $R_\phi^H = R_{np}^H \left[1 + 0,25(n/\nu_c) \mu (1 + 3K_c) \right]$.

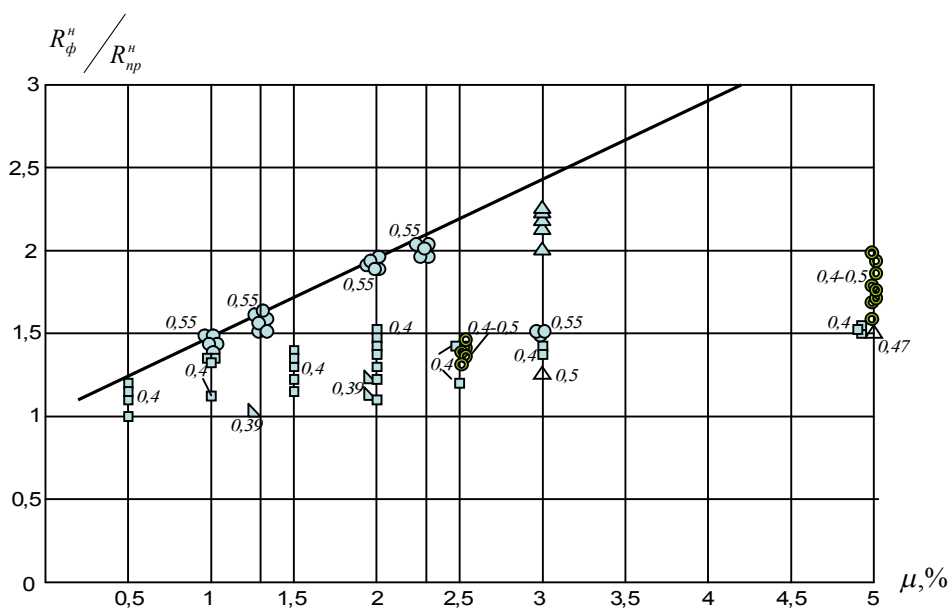


Рис. 1. Зависимость относительной прочности фибробетона от процента армирования. — теоретическая кривая автора; экспериментальные точки: ○ автора, Δ по [1], ▽ по [2], Δ по [3], □ по [4], ● по [5].

Рис. 1. Зависимость относительной прочности фибробетона от процента армирования:

— теоретическая теоретическая кривая автора; экспериментальная точки:

: ○ автора, Δ по [1], ▽ по [2], Δ по [3], □ по [4], ● по [5].

На рис.1 по формуле (1) нанесены теоретическая кривая и точки по экспериментальным данным различных исследователей. В формуле (1) в соответствии с качеством материалов, использованных в опытах автора, приняты: $\nu_c = 0,5$ и $K_c=4$. Цифрами у точек указаны В/Ц. Как видно из графика, при малых процентах армирования фибрами (0,5 - 1%) теоретические и практические результаты хорошо совпадают. При процентах армирования 1,5% и выше некоторые результаты экспериментальных исследований значительно ниже теоретической кривой. Это, по-видимому, получилось оттого, что при повышенных процентах армирования В/Ц взято слишком малым (0,4 и даже 0,39) и фибробетонная смесь была неудобноукладываемой и непластичной, что привело к неравномерному распределению фибр в бетонной матрице и к снижению прочности.

На рис. 2 по (2) нанесены теоретические кривые. Формула (2) получена из (1) через В/Ц по (8):

$$R_{\phi}^H = 0,39R_u \left\{ \left(\frac{Ц}{В} \right) - 0,5 \right\} \left[1 + 0,25 \left(\frac{n}{\nu_c} \right) \mu (1 + 3K_c) \right], \quad (2)$$

где: $R_u = 40 \text{ МПа}$; $n = E_a / E_b = 7,3$.

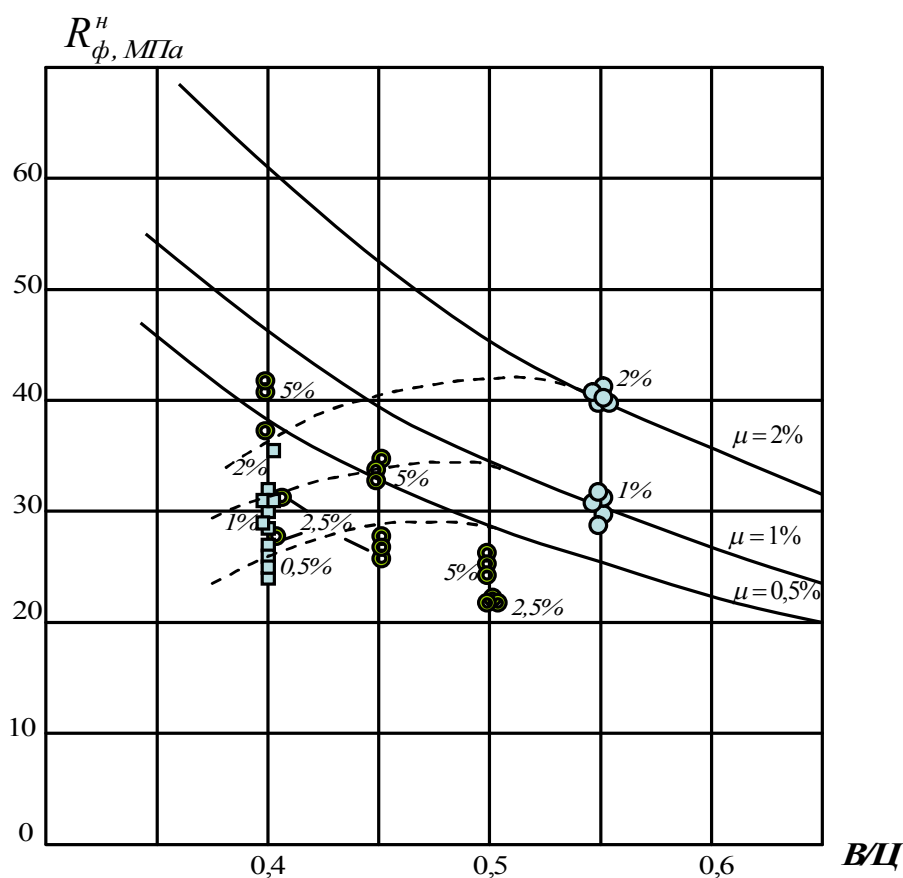


Рис. 2. Зависимость призмочной прочности фибробетонов от В/Ц при постоянных процентах армирования μ .
Условные обозначения те же, что и на рис. 1

При $V/C=0,4\div 0,55$ экспериментальные точки с теоретическими кривыми не совпадают, что говорит о том, что в этой области теоретические кривые должны быть скорректированы (пунктирные линии). Как видно, при больших процентах армирования целесообразно применение больших V/C для улучшения обволакиваемости фибр цементным тестом и лучшей удобоукладываемости смеси. Несмотря на меньшую прочность матрицы, это позволяет получить прочность не ниже, чем при меньших процентах армирования. Следует в то же время подчеркнуть, что увеличение процента армирования повышает вязкость, трещиностойкость, истираемость, морозостойкость, сопротивление удару, которые являются основными достоинствами фибробетона по сравнению со всеми другими аналогичными материалами.

Выводы.

На прочность фибробетона при сжатии существенную роль оказывает V/C , так как применение жестких смесей ($V/C=0,4$ и ниже) при армировании свыше 0,5% затрудняет укладку фибробетонной массы и снижает сцепление фибр с бетоном вследствие островного характера их связи. Это предопределяет получение недостаточно высокой прочности фибробетона и даже дает отрицательный эффект по сравнению с чистым бетоном.

При правильно подобранных V/C , процентах армирования, технологических параметрах, марках бетона, длине и диаметре фибр можно добиться примерно двукратного увеличения прочности фибробетона при $\mu=2\%$ по сравнению с чистым бетоном.

Применение повышенных V/C позволяет применять повышенное фибровое армирование. При этом прочность бетонной матрицы снижается, а эффективность фибрового армирования возрастает, и улучшаются все основные положительные свойства, типичные для фибробетона, как материала, принципиально отличающегося от обычного железобетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лагутина Г.Е.* Теоретическая оценка прочности сжатого фибробетона // Фибробетон и его применение в строительстве: сб. ст. НИИЖБ Госстроя СССР. М., 1979. — С. 137–141.
2. *Лысенко Е.Ф., Гетун Г.В.* Исследование физико-механических свойств сталефибробетона растянутой зоны изгибаемых элементов // Изв. вузов. Стр-во и архитектура, №9, 1981. — С. 26-29.
3. *Черноусов Н.Н., Пантелькин И.И., Каравичев А.П.* Высокопрочный дисперсно-армированный шлакопемзобетон // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. №7, 1981. — С. 70–73.
4. *Рыбасов В.П.* К оценке прочности фибробетона // Фибробетон и его применение в строительстве: сб. ст. НИИЖБ Госстроя СССР. М., 1979. — С. 125–130.
5. *Бочарников А.С.* Дисперсноармированные композиционные материалы на основе цементных вяжущих для конструкций защитных сооружений: моногр. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2004. — 261 с.

6. Snyder M. J. And Lankard D. R. Factors Affecting the Flexural Strength of Steel Fibrous Concrete // ACI. №2, 1972.

7. Павлов А.П., Степанова Г.Г. Прочность сталефибробетона при растяжении // Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций: сб. ст. Ленинград: Изд-во ЛИСИ, 1975. Вып. 2. — С. 5–9.

8. Воробьев В.А. Строительные материалы. М.: Высш. Шк., 1967. — С. 150–151.

А.Г. Юдаев, Т.К. Акчурин

ТЕХНОГЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ОТХОДЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Полимеры и композиции на их основе относятся к прогрессивным строительным материалам, позволяющим уменьшать массу конструкций, снижать материалоемкость и сокращать сроки строительства. Экономическая эффективность применения полимерных материалов в технике и технологии в основном определяется снижением массы изделий, существенным уменьшением количества применяемых традиционных материалов и условным высвобождением рабочих разных специальностей. При этом в строительстве используются также звуко- и теплоизоляционные материалы на основе вспененных пластических масс, профильно-погонажные изделия и трехслойные ограждающие конструкции из полимерных композитов, а также разные санитарно-технические изделия (канализационные трубы, сифоны и смывные бачки).

Технологические отходы полимерных материалов по своим физико-механическим и технологическим свойствам не отличаются от первичного сырья. Эти отходы являются возвратными и в основном используются на тех предприятиях, где они образуются. Их можно добавлять к первичному материалу или использовать в качестве самостоятельного сырья при производстве различных изделий. Значительное количество технологических отходов (до 50%) образуется в процессе переработки полимерных материалов литьем под давлением, экструзией и вакуум-формованием и их возврат в технологические процессы переработки позволяет значительно повысить эффективность использования полимерных пластиков и создавать безотходные производства.

К полимерным отходам в строительстве относятся: полимерные пленки, используемые для накрытия парников, для упаковки строительных материалов и изделий, настилы полов коровников, бывшие в употреблении рулонные и плиточные полимерные материалы для полов, отделочные материалы для стен и потолков; теплозвукоизоляционные полимерные материалы; емкости, трубы, кабели, погонажные и профильные изделия и т.д.

Выпускаемые промышленностью полимерные материалы при их использовании в различных отраслях не всегда удовлетворяют требованиям обеспечения необходимых деформационно-прочностных свойств, термомеханической стабильности, износостойкости, влаго- и светостойкости, а также тепло- и морозостойкости. Однако их потенциальные возможности и эксплуатационные ресурсы могут быть повышены. Это достигается целенаправленным модифицированием полимерных материалов. Существуют следующие виды модифицирования полимеров: химическое, физико-химическое, физическое, при которых преимущественно изменяются соответственно химический состав, молекулярное строение и надмолекулярная структура. Методы модификации вторичного полимерного сырья можно разделить на химические (сшивание, введение различных добавок, главным образом органического происхождения, обработка кремнийорганическими жидкостями и др.) и физико-механические (наполнение минеральными и органическими наполнителями).

Для конструкционных полимерных материалов наибольшее значение имеет физическое модифицирование. Оно может осуществляться под действием на материалы различных (по виду и интенсивности) силовых полей, тепла, радиационных излучений, статическим и динамическим деформированием растворов полимеров с последующим удалением растворителя, а также комплексного воздействия внешних факторов. В настоящее время разными исследователями получены интересные результаты по изучению влияния модифицирования полимеров на их структуру и свойства. Их критический анализ позволяет наметить направление наиболее перспективных исследований физического модифицирования полимерных материалов строительного назначения, при котором имеется возможность целенаправленного управления изменением их эксплуатационных свойств и сроков работоспособности.

Доля полимерных композитов в общем объеме стройматериалов остается низкой. Композит выгодно применять там, где его высокая стоимость компенсируется особыми свойствами. Если в гражданском строительстве в основном применяются «традиционные» материалы, то в таких секторах, как, строительства мостов, железных дорог, мостов и др., у полимерных композитов есть неплохие перспективы. Строительство включает в себя самые разные механические нагрузки, начиная с легких нагрузок, которым подвергаются щиты, корпуса, гнезда для защиты оборудования или звуконепроницаемых стен, и заканчивая сверхвысоким давлением, которое выдерживают опоры для мостов. В гражданском строительстве применяются очищенные пластмассы или композиты: применяемые в легких строительных конструкциях; периодически используемые в специализированных конструкциях; предназначенные исключительно для крупных строительных конструкций, например, мостов.

В гражданском строительстве используются традиционные материалы, например бетон и сталь, для которых характерна низкая стоимость компонентов, но высокая стоимость обработки и установки, а также низкие возможности обработки. Результатом внедрения пластмасс может стать следующее: сокращение итоговых расходов; повышение производительности; снижение веса; увеличение возможностей при проектировании в сравнении с деревом и металлами; устойчивость к коррозии; простота обработки и установки; определенные полимеры могут пропускать свет и даже быть прозрачными; простота технического обслуживания; изоляционные свойства. С другой стороны, следует помнить о старении и механическом сопротивлении, но некоторые проекты, построенные с использованием полиэстера, армированного стекловолокном, демонстрируют значительную долговечность.

Отрасль строительства относится к консервативным, и расширение использования полимерных композитов тормозится:

- слабой изученностью и малым опытом работы с этими материалами в отрасли гражданского строительства;
- сложностью перенесения опыта, накопленного в других отраслях промышленности;
- сложностью выбора и оценки размеров этих материалов;
- сложностью взаимопонимания между представителями различных профессий, обладающих разными менталитетами;
- мнением о пластмассах, сложившееся в обществе;
- жесткими окружающими условиями на месте строительства;
- сложными условиями применения, не совпадающими с практикой и квалификацией строителей.

Прогрессивный ответ к возрастающим требованиям строительства - это полимерные композиты с ориентированными углеродными волокнами.

Композиты представляют особый интерес для строительной отрасли при сопоставимости факторов производительность – вес - конечная стоимость изделий.

П.В. Юдин

**ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ
НА ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКРОФЛОРЫ
ЗАСЕЛЯЮЩЕЙ ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ**

Мордовский государственный университет

В современных условиях, несмотря на разработку новых строительных материалов и изделий на полимерных и других связующих, одним из самых динамичных среди рынков строительных материалов является рынок потребления бетонов на основе цементного вяжущего. Совершенствование технологий в строительстве, обеспечение надежности работы конструкций и сооружений, предъявляет все более высокие требования к качеству применяемых при их возведении бетонов. На протяжении многих лет проблема долговечности изделий и конструкций, разрушаемых от биологически агрессивных сред решалась различными методами, не всегда дешевыми, безопасными и иногда в ущерб другим характеристикам материала. В зданиях с активными биологическими средами строительные конструкции и изделия, в том числе изготавливаемые на основе цементных вяжущих, подвержены воздействиям метаболитов микроорганизмов [1, 2].

На сегодняшний день одним из методов по защите композиционных материалов от биоповреждений может стать активация водных систем, применяемая для изготовления композитов. Являясь одним из наиболее перспективных технологических приемов получения бетонов с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами является применение при их приготовлении активированной природо-минерализированной воды затворения. Данное направление в настоящее время не получило широкого распространения вследствие нестабильных результатов, получаемых в лабораторных и производственных условиях с применением стандартных аппаратов для активации воды. Эта проблема может быть решена с помощью современного оборудования, позволяющего контролировать процесс активации и получать воду с заданными свойствами.

Известно, что при электроактивации электрическим током, возникающее электрическое поле ориентирующим образом действует на ионы, находящиеся в составе природной воды. Обработка воды магнитным полем приводит к взаимодействию поля с частицами, обладающими ферромагнитными свойствами – (оксидные и гидроксидные соединения железа) генерируемые в ходе электрохимического окисления железа.

Помимо увеличения прочности, пластичности, уменьшению пористости и ряда других факторов, активация водных систем может привести к

изменению биологического сопротивления материалов. Для изучения влияния магнитной и электрической обработки на видовой состав микрофлоры цементных композитов, было, приготовлено пять видов образцов. Помимо контрольного состава на обычной водопроводной артезианской воде были получены образцы на той же воде, но прошедшую обработку под действием электрического тока, магнитного поля, а также их совместного воздействия. Для получения воды, обработанной электромагнитным полем, применялась установка магнитной противонакипной обработки воды УПОВС-1 «Максмир», представляющая собой многокамерный электромагнитно-волновой аппарат на постоянном токе, состоящий из трех основных частей: собственно электромагнитный аппарат с катушками намагничивания; камера деаэрации для удаления из воды агрессивных газов; активатор для закрепления приобретенных водой свойств.

Общая протяженность всех рабочих зазоров установки, по которым движется вода, достигает несколько метров. Здесь она подвергается непрерывному регулируемому воздействию магнитного поля различной напряженности с чередующимися по направлению векторами магнитной индукции, электрического тока, а также электромагнитных волн.

Полученные составы цементных композитов были выдержаны на молочном комбинате, где они были выдержаны в течение 3 месяцев, после чего был изучен видовой состав заселяющихся микроорганизмов. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1 активация воды позволила добиться того, что такие виды микроорганизмов как *Trichoderma viride*, *Penicillium godlewskii*, *Chaetomium globosum* не развиваются на бетонных образцах кроме контрольных.

Таблица 1

Влияние способа активации воды затворения на видовой состав микроорганизмов, заселяющихся на цементных композитах

Вид воды затворения	Виды микроорганизмов
обычная вода	<i>Trichoderma viride</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Verticillium tenerum</i> , <i>Aspergillus terreus</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Penicillium godlewskii</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Aspergillus ustus</i>
вода обработанная электрическим током	<i>Verticillium tenerum</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Alternaria pluriseptata</i> , <i>Alternaria brassicae</i> , <i>Fusarium sambucinum</i>
вода, прошедшая через магнитное поле	<i>Verticillium tenerum</i> , <i>Alternaria alternate</i> , <i>Penicillium canescens</i> , <i>Fusarium sambucinum</i> , <i>Chaetomium bostrychodes</i> , <i>Fusarium moniliforme</i>

Вид воды затворения	Виды микроорганизмов
вода, прошедшая совместную активацию электрическим током и магнитным полем	Aspergillus ustus, Aspergillus clavatus, Mucor hiemalis, Mucor corticola, Aspergillus fumigatus, Fusarium sambucinum
вода, прошедшая совместную активацию магнитным полем и электрическим током	Aspergillus fumigatus, Fusarium sambucinum, Penicillium cyclopium, Aspergillus clavatus, Verticillium tenerum, Cladosporium macrocarpum, Penicillium auranti, Cladosporium elatum

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Губанов Д.А., Морозов Е.А., Губанов Д.А. и др. Анализ изменений химического состава цементного камня при воздействии продуктов метаболизма микроорганизмов // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 2006. — С. 170–174.

2. Ерофеев В.Т., Морозов Е.А., Богатов А.Д. и др. Биодegradация и биосопротивление цементных бетонов // Профессиональное строительство. №5, 2002. — С. 10–13.

А.В. Жиделёв, Г.М. Карасёв

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЭСТАКАДЫ РЕЗИНОСМЕСИТЕЛЕЙ КОРПУСА Р-1 ОАО «ВОЛТАЙР-ПРОМ»

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Статья содержит материалы проведения обследования эстакады резиносмесителей цеха №2 корпуса Р-1 в осях Р÷АА, 7÷8 ОАО «Волтайр-Пром», получившей повреждения ж/б колонн вследствие значительных поперечных колебаний. Выполнены расчеты по определению частот свободных и вынужденных колебаний эстакады резиносмесителей в проектном, разрушенном состоянии и с учетом разработанного усиления колонн железобетонными рубашками.

Причиной проведения обследования эстакады резиносмесителей ОАО «Волтайр-Пром» цеха №2 корпуса Р-1 в осях Р÷АА, 7÷8 послужило выявление в процессе эксплуатации эстакады значительных поперечных колебаний, амплитуда которых составляла по данным работников отдела технического надзора за зданиями около 10 мм.

Задачи исследования:

- 1) определить техническое состояние несущих элементов эстакады;
- 2) выявить причины возникновения нештатных колебаний системы, оценить их влияние на несущую способность и эксплуатационную пригодность всей эстакады в целом;
- 3) выполнить оценку спектров частот свободных и вынужденных колебаний эстакады в проектном, фактическом состоянии и с учетом разработанного усиления;
- 4) разработать рекомендации по усилению несущих конструкций и режиму эксплуатации оборудования, создающего вибрационные нагрузки.

Техническое состояние строительных конструкций эстакады резиносмесителей цеха №2 корпуса Р-1

Эстакада типа «2В» резиносмесителей расположена внутри цеха №2 корпуса Р-1 ОАО «Волтайр-Пром» в осях Р÷АА, 7÷8. Возведена она из монолитного железобетона по типу одноэтажной однопролетной пространственной промышленной этажерки или рабочей площадки, состоящей из следующих основных несущих конструкций:

- сплошной фундаментной плиты толщиной 600 мм, уложенной на бутобетонное основание толщиной 1100 мм;
- колонн, с поперечным сечением 400×400 мм;
- поперечных и продольных балок с консолями сечением 400×700 мм (по верху колонн);
- сплошной плоской плиты толщиной 400 мм (по балкам).

Сопряжение элементов эстакады – жесткое. Для возведения эстакады использовались следующие материалы:

- основание под фундаментную плиту эстакады – бутобетонное из бетона марки М150 (70%) и буто марки М200 (30%);
- железобетонная фундаментная плита из бетона марки М150;
- все остальные конструкции эстакады (колонны, продольные и поперечные балки, плита) из бетона марки М 200;
- вся рабочая арматура класса А-III (25Г2С) по ГОСТ 7314-55, а распределительная, поперечная и вспомогательная – класса А-I (Ст. 3) по ГОСТ 2590-57.

В расчетном отношении такая эстакада может быть моделирована как одноэтажная однопролетная, в направлении буквенных осей, и восьмипролетная, в направлении цифровых осей, пространственная рама, нагруженная постоянной, временной и динамической (от несбалансированного технологического оборудования) нагрузками.

Для оценки технического состояния железобетонных монолитных конструкций эстакады проводилось выборочное и сплошное обследование. Сплошному обследованию подвергались все элементы эстакады, их сопряжения, а выборочному – состояние сопряжения железобетонных ко-

лонн эстакады с монолитной сплошной фундаментной плитой на отм. – 1,200 м и бетонными полами цеха, толщиной 200÷250 мм, на отм. ±0,000 м. С этой целью был вскрыт бетонный пол и открыты шурфы вокруг колонн эстакады по осям 7, 8–АА в месте расположения температурного шва эстакады типа «2В» и «Г».

Все обнаруженные дефекты можно классифицировать по следующим, вызвавшим их, причинам:

1) силовое воздействие, т.е. воздействие постоянной, временной и динамической нагрузок;

2) человеческий фактор, т.е. повреждение конструкций в процессе пробивки несанкционированных отверстий в плите эстакады, не отвечающих проектному решению при установке оборудования, прокладке технических коммуникаций и др.

Тщательный осмотр монолитных железобетонных колонн эстакады типа «2В» в осях 7÷8, Р÷АА показал, что единственным и весьма существенным дефектом, как и ожидалось, является наличие в них сквозных и не сквозных трещин, располагающихся в пределах толщины бетонного пола цеха. Причиной образования таких трещин является, бесспорно, дополнительное раскрепление колонн бетонным полом (устройство дополнительной связи) на отм. 0,000 м, связанные с воздействием на эстакаду динамической нагрузки от несбалансированного технологического оборудования.

На гранях колонны эстакады в осях Р-7 от нулевой отметки (поверхности бетонного пола цеха) до отм. +1,700÷1,750 м обнаружено множество раковин, сколов, не забетонированных участков. Это снижает жесткость колонны в этом месте.

Известно, что железобетонные конструкции с трещинами обладают большой податливостью и меньшей жесткостью в сравнении с аналогичными без наличия трещин при равных эксплуатационных условиях [4]. Увеличиваются прогибы, углы поворота и перекоса сечений, амплитуда собственных колебаний. Следовательно, для исследуемой эстакады наличие таких трещин в колоннах в уровне пола на нулевой отметке увеличивает амплитуду и снижает частоту свободных колебаний эстакады в целом, что противоречит проектному решению.

Снижение жесткости эстакады приводит к сближению частот собственных и вынужденных колебаний от стационарного технологического оборудования, т.е. к наступлению резонанса.

Вероятность наличия таких трещин практически во всех колоннах исследуемой эстакады типа «2В» и эстакад других типов («А», «2Б», «Г», «Д»), размещенных в пределах цеха №2 корпуса Р-1, весьма высокая, примерно на 80÷90%. Следовательно, требуется усиление всех колонн эстакады.

Техническое состояние продольных и поперечных балок эстакады хорошее. Наличие опасных трещин, сколов и др. дефектов, снижающих эксплуатационную пригодность эстакады, не обнаружено.

Техническое состояние монолитной железобетонной плиты эстакады оценивается как удовлетворительное из-за весьма большого количества пробитых сквозных несанкционированных отверстий различных размеров и форм для крепления технологического оборудования и различных коммуникаций. В отверстиях обнажена, как привило, нижняя рабочая арматура плиты. Наблюдается слабая поверхностная коррозия (до 3,0%). Такие дефекты ослабляют поперечное сечение плиты, снижают ее жесткость и сопротивляемость как статическим, так и динамическим нагрузкам в плоскости и из плоскости плиты.

Эти отверстия рекомендуется тщательно очистить от рыхлого и отслаивающегося бетона и заделать, в зависимости от размеров, мелкозернистым бетоном класса не ниже В20 или цементным раствором марки не ниже М100, желательно на полимерцементе.

Осмотр узлов сопряжений монолитных железобетонных конструкций эстакады показал, что дефектов, снижающих их жесткость при совместной работе как на статическую (постоянную и временную), так и динамическую нагрузки, не обнаружено.

Обследованием установлено:

1) плита эстакады резиносмесителей выполнена в соответствии с проектом, в процессе эксплуатации в плите пробиты многочисленные несанкционированные проектом отверстия, меняющие напряженно-деформированное состояние плиты;

2. силовых разрушений от эксплуатационных нагрузок не выявлено;

3. фундаментная плита в зоны опирания колонны в удовлетворительном состоянии, трещин силового характера в плите не выявлено;

4. колонны эстакады резиносмесителей сечением 400х400, а также их сопряжение с фундаментной плитой, выполнены в соответствии с проектом;

5. в плоскости пола на глубине – 0,100 м в обследованных колоннах обнаружены сквозные горизонтальные (поперечные) трещины, причина образования трещин – упругоподатливое защемление колонны в уровне пола.

6. имеющиеся трещины меняют напряженно-деформированное состояние колонн;

7. для восстановления сплошности колонн необходимо провести усиление.

Усиление колонн эстакады железобетонной «рубашкой»

Из всех существующих способов усиления железобетонных колонн, в рассматриваемом случае, наиболее экономичным и менее трудозатратным является усиление их устройством замкнутой железобетонной «рубашки» по периметру поперечного сечения (рис. 1).

Толщину «рубашки» следует принять минимальной из условия укладки и уплотнения бетонной смеси – 100 мм. Высота «рубашки» должна быть 1,55 м (с учетом скоса выравнивания – 50 мм) до отм. +0,350 м, т.е. выше уровня пола на 350 мм. Бетон «рубашки» принять мелкозернистый на портландцементе с полимерными добавками класс В20 или любой из современных фибробетонов, например, с добавкой мелкорубленой проволоки металлических тросов.

Усиление колонн эстакады железобетонной «рубашкой» позволит повысить утраченную жесткость, образовавшимися в уровне бетонного пола цеха (нулевой отметки) сквозными и несквозными трещинами, а, следовательно, уменьшить амплитуду и повысить частоту свободных колебаний.

Армирование «рубашки» целесообразно производить плоскими сварными каркасами Кр-1, Кр-2 (прил. 1, лист 7 [8]), и отдельными стержнями поз. 4 и 5 из арматуры классов А-I и А-III (ГОСТ 5781-82). Конструкция железобетонной «рубашки», сечения, сварные каркасы Кр-1 и Кр-2, спецификация арматуры на одну «рубашку» разработаны на листах 6 и 7 прил. 1 [8].

Для устройства железобетонной «рубашки» колонн эстакады типа «Г» резиносмесителей разработана инвентарная металлическая опалубка, состоящая из двух плоских опалубок ОП-1 и двух плоских опалубок ОП-2, собираемых на болтах нормальной точности (класс В) $\varnothing 12$ мм (ГОСТ 7798-70*). Конструкция комплекта инвентарной металлической опалубки со спецификацией металла разработана на листах 1÷5 прил. 1 [8].

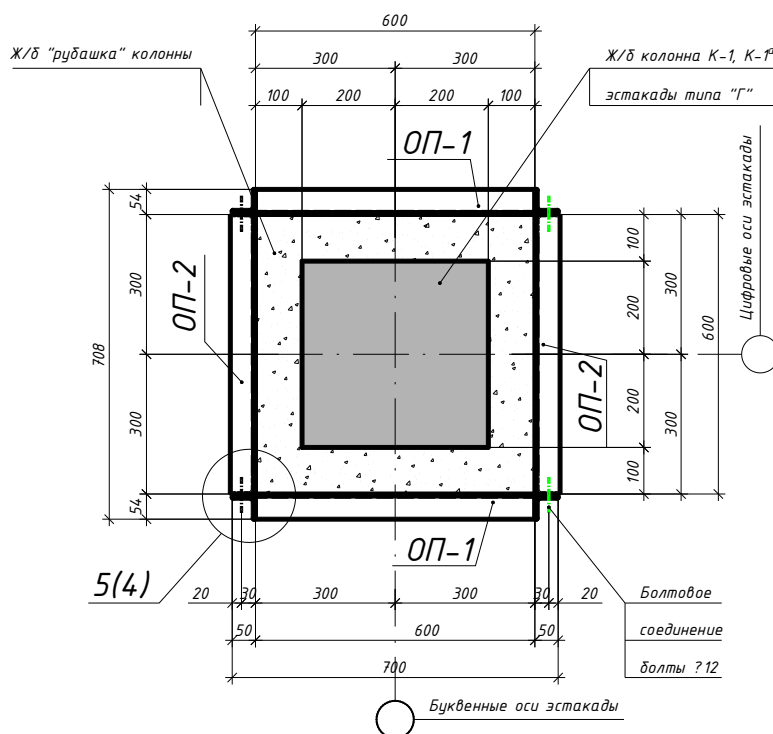


Рис. 1. Проект усиления колонны эстакады железобетонной рубашкой

Исследование свободных колебаний эстакады

Для определения спектра частот свободных колебаний рассмотрена пространственная рама с 987 степенями свободы. В результате исследования получен спектр частот. Для практического использования необходимо знать первые 10 частот свободных колебаний, т.к. они находятся в диапазонах частот возмущающих сил.

Расчетная схема эстакады представляет собой пространственную однопролетную невесомую раму с сеткой колонн 4,250х6,000 общей длиной 48 м. Масса плиты сосредоточена в 329 точках (узлах). Разбивка плоскости плиты выполняется таким образом, что массы двигателя, редуктора и резиносмесителя попадают в узлы разбивки.

В расчетах не производилось вычисления коэффициента приведения масс, так как распределенная масса прикладывается к восьми узлам пролета вдоль буквенных осей и к шести узлам пролета вдоль цифровых осей, что позволяет для поперечных горизонтальных колебаний получить достаточно точные результаты низших частот свободных колебаний.

Схема расположения технического оборудования, вес и скорость вращения электродвигателей на эстакаде типа «2В» приведены на рис. 2.

Определение частот свободных колебаний эстакады резиносмесителей

Цель расчета: определить спектр частот собственных колебаний эстакады при различных вариантах технического состояния.

Погонный вес плиты эстакады с учетом веса балок, кН/м²:

$$q_s = \frac{(6,5 \cdot 24,0 \cdot 0,4 + 0,4 \cdot 0,3 \cdot (5,5 \cdot 4 + 6,0 \cdot 4 + 5 \cdot 4,25)) \cdot 25}{6,5 \cdot 24,0} =$$
$$= 11,29 \text{ кН/м}^2. \quad (1)$$

Плита эстакады, на которой размещается оборудование, разбивается на КЭ с шагом 0,5–1,2 м (рис. 2).

Вес конструкции эстакады приводится к сосредоточенным в каждом узле массам, вычисленным по приведенным площадям:

$$m_{i,j} = q_s \cdot B_{zp,i} \cdot L_{zp,j}$$

Для учета веса оборудования в соответствующие узлы плиты эстакады помещаются массы, равные соответствующим весам оборудования (рис. 2, 3).

Плита представляется КЭ №41 ПК ЛИРА (универсальный прямоугольный КЭ оболочки), колонны и балки – КЭ №5 ПК ЛИРА (КЭ пространственной рамы).

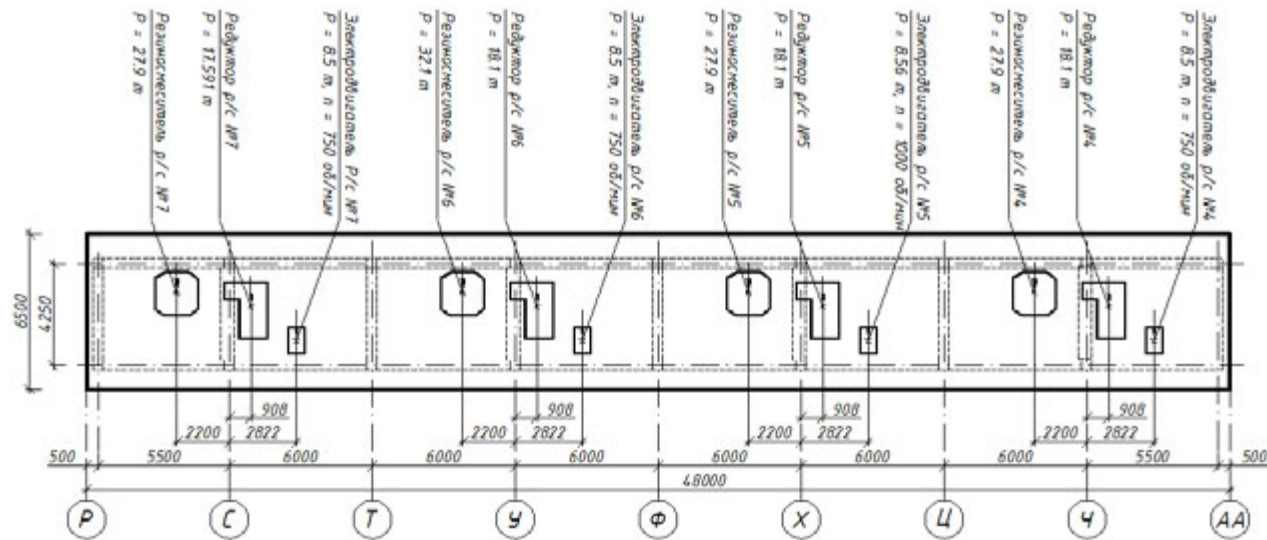


Рис. 2. Схема расположения оборудования на эстакаде типа «2В»

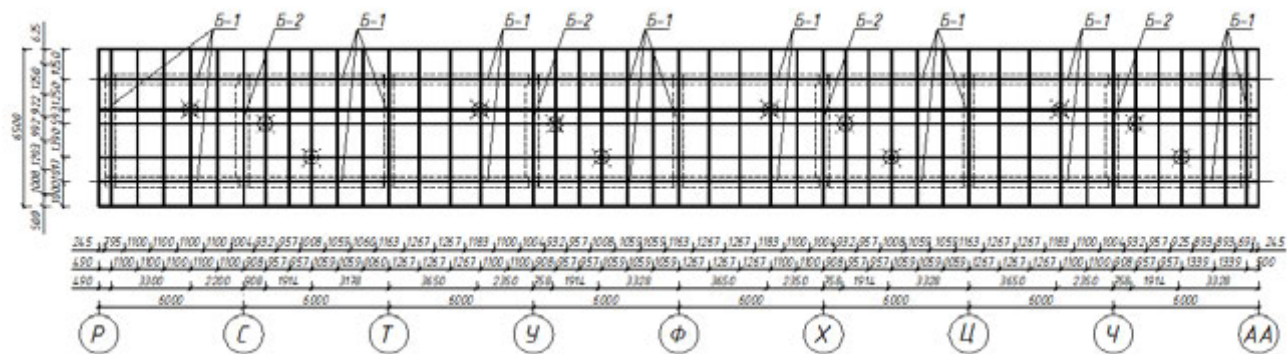


Рис. 3. Расчетная схема эстакады типа «2В» (план):

⊗ — точки приложения сосредоточенных масс от оборудования

Выполним расчеты по определению частот собственных и вынужденных колебаний эстакады резиносмесителей:

Задача 1. по проекту;

Задача 2. с учетом разрушения колонн в опорной части (фактическое состояние);

Задача 3. с учетом разработанного усиления опорной части колонн железобетонными рубашками.

Задача 1. Определение частот собственных колебаний конструкции эстакады с жестким защемлением опорной части колонн в плите бетонного пола (проектное решение)

Расчетная схема эстакады с сосредоточенными массами представлена на рис. 4.

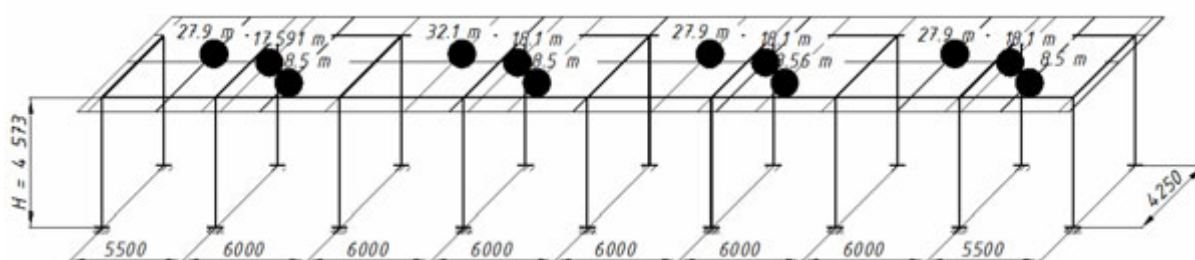


Рис. 4. Расчетная схема эстакады (аксонометрия)

Результаты расчета: в табл. 1 приведены частоты собственных колебаний эстакады для первых 10-ти форм. Формы колебаний представлены на рис. 5–14.

Таблица 1

Частоты собственных колебаний для первых 10-ти форм

№ формы	Собственные значения	Круговая частота, с ⁻¹	Частота, Гц	Период, с
1	0,053	18,874	3,004	0,333
2	0,052	19,108	3,041	0,329
3	0,047	21,247	3,382	0,296
4	0,018	54,169	8,621	0,116
5	0,010	98,874	15,736	0,064
6	0,010	103,194	16,424	0,061
7	0,010	103,566	16,483	0,061
8	0,010	104,983	16,709	0,060
9	0,008	121,910	19,403	0,052
10	0,008	123,393	19,639	0,051

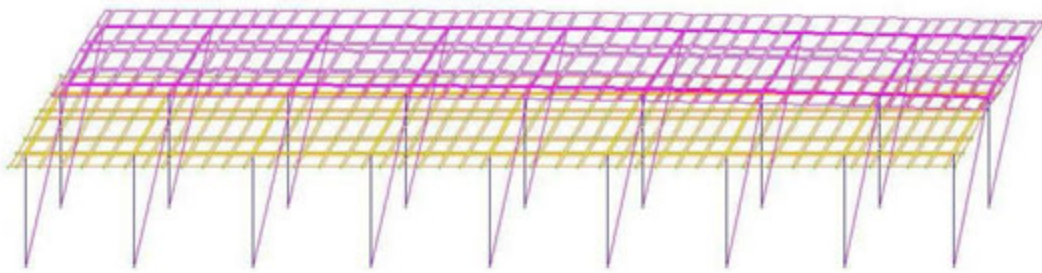


Рис. 5. 1-я форма колебаний (аксонометрия)

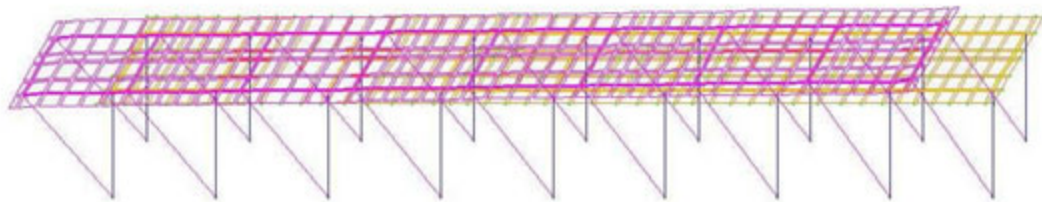


Рис. 6. 2-я форма колебаний (аксонометрия)

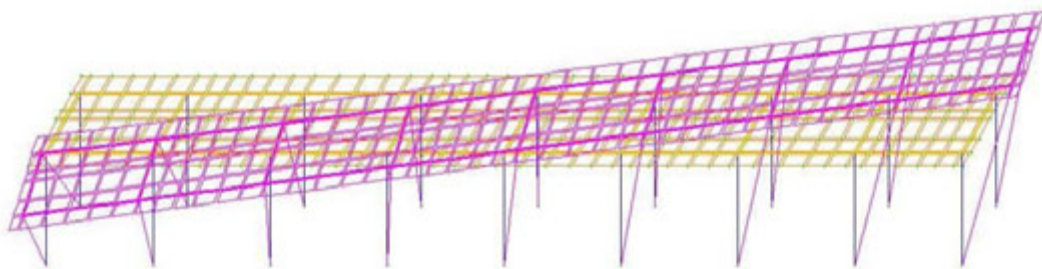


Рис. 7. 3-я форма колебаний (аксонометрия)

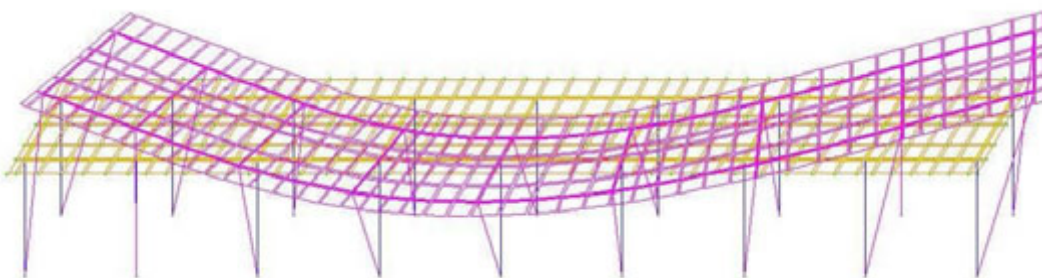


Рис. 8. 4-я форма колебаний (аксонометрия)

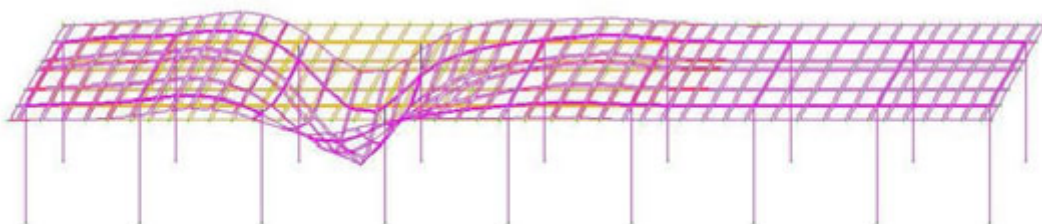


Рис. 9. 5-я форма колебаний (аксонометрия)

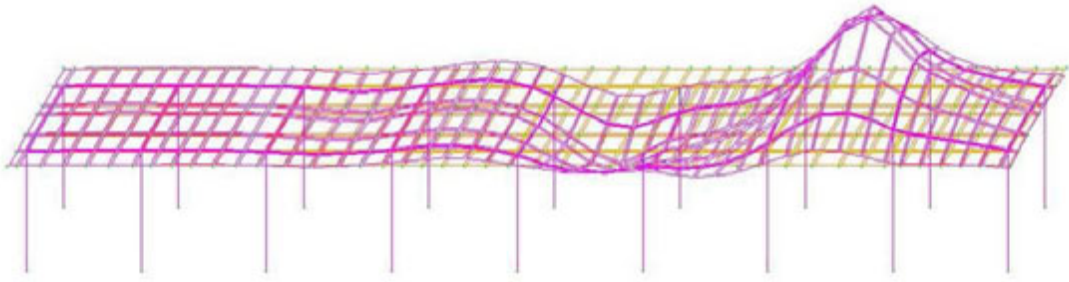


Рис. 10. 6-я форма колебаний (аксонометрия)



Рис. 11. 7-я форма колебаний (аксонометрия)

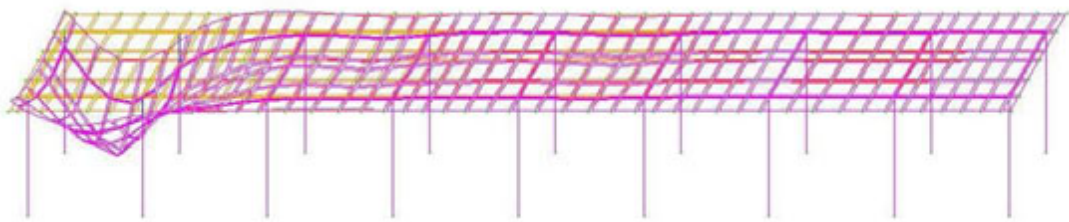


Рис. 12. 8-я форма колебаний (аксонометрия)

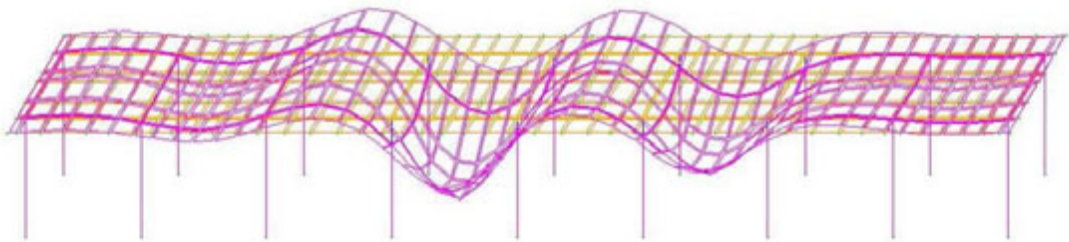


Рис. 13. 9-я форма колебаний (аксонометрия)

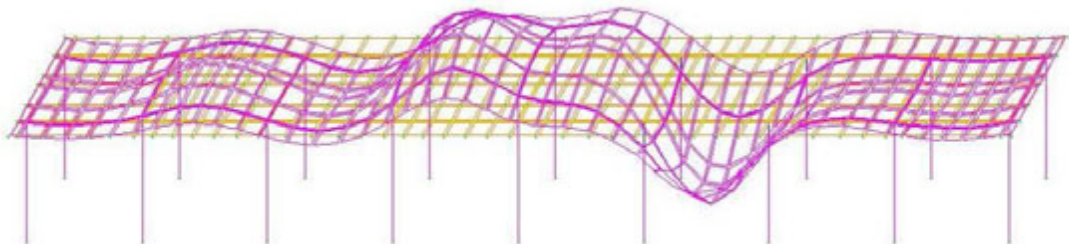


Рис. 14. 10-я форма колебаний (аксонометрия)

Задача 2. Определение частот собственных колебаний конструкции эстакады с шарнирами в опорной части колонн в уровне пола (фактическое состояние конструкции с учетом разрушения в опорной части колонн)

Расчетная схема эстакады с сосредоточенными массами представлена на рис. 15.

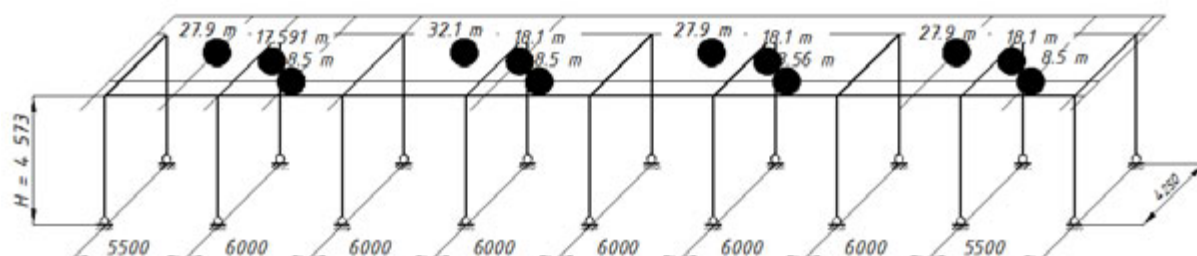


Рис. 15. Расчетная схема эстакады (аксонометрия)

Результаты расчета: в табл. 2 приведены частоты собственных колебаний эстакады для первых 10-ти форм. Формы колебаний идентичны колебаниям задачи №1, представленным на рис. 5–14.

Таблица 2

Частоты собственных колебаний для первых 10-ти форм

№ формы	Собственные значения	Круговая частота, с^{-1}	Частота, Гц	Период, с
1	0,106	9,466	1,507	0,664
2	0,105	9,555	1,521	0,658
3	0,094	10,643	1,694	0,590
4	0,020	50,495	8,037	0,124
5	0,010	98,537	15,683	0,064
6	0,010	102,841	16,368	0,061
7	0,010	103,198	16,425	0,061
8	0,010	104,489	16,630	0,060
9	0,008	121,338	19,312	0,052
10	0,008	122,876	19,556	0,051

Задача 3. Определение частот собственных колебаний конструкции эстакады с учетом разработанного усиления опорной части колонн железобетонными рубашками

Расчетная схема эстакады с сосредоточенными массами представлена на рис. 16.

Результаты расчета: в табл. 3 приведены частоты собственных колебаний эстакады для первых 10-ти форм. Формы колебаний идентичны колебаниям задачи №1, представленным на рис. 5–14.

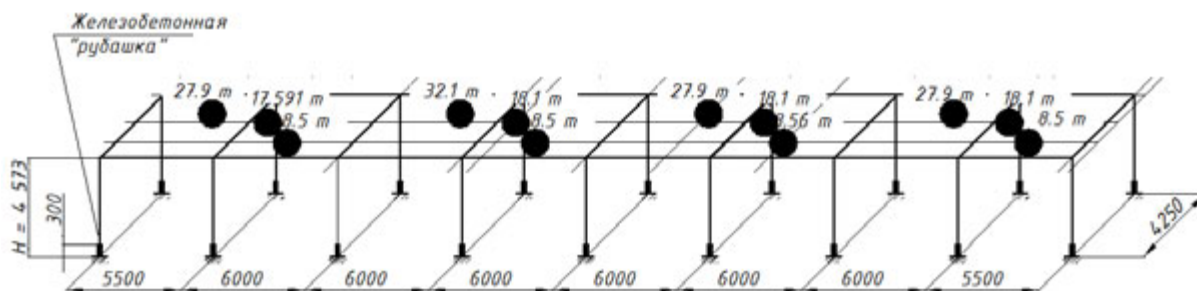


Рис. 16. Расчетная схема эстакады (аксонометрия)

Таблица 3

Частоты собственных колебаний для первых 10-ти форм

№ формы	Собственные значения	Круговая частота, 1/с	Частота, Гц	Период, с
1	0,049	20,278	3,227	0,310
2	0,049	20,546	3,270	0,306
3	0,044	22,832	3,634	0,275
4	0,018	54,906	8,739	0,114
5	0,010	99,368	15,815	0,063
6	0,010	103,759	16,514	0,061
7	0,010	104,101	16,568	0,060
8	0,009	105,563	16,801	0,060
9	0,008	122,500	19,496	0,051
10	0,008	124,030	19,740	0,051

Определение частот вынужденных колебаний эстакады

Вынужденные колебания эстакады возбуждаются вращающимися частями электродвигателей, редукторов и смесителей. В соответствии с проектом, частота вращения электродвигателей составляет 750 об/мин.

Валы редуктора:

$$\text{I-й вал, } n = 750 \text{ об/мин; } \Theta = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 750 \cdot 3,14}{60} = 78,5 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{II-й вал, } n = 144,5 \text{ об/мин; } \Theta = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 144,5 \cdot 3,14}{60} = 15,1 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{III-вал, } n = 29,6 \text{ об/мин; } \Theta = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 29,6 \cdot 3,14}{60} = 3,1 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{IV-й вал, } n = 24,9 \text{ об/мин; } \Theta = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 24,9 \cdot 3,14}{60} = 2,6 \text{ с}^{-1}.$$

Исследованиями ООО «Интерремсервис» установлено, что колебания несущих элементов эстакады близки к гармоническому, т.е. вынужденные

колебания совершаются по закону $F \sin(\Theta t)$, где F – амплитудное значение вынуждающей силы, Θ – частота вынуждающей силы.

Величина вынуждающей силы зависит от точности балансировки вращающихся частей и состояния подшипников. При нулевой балансировке вынуждающая сила равна нулю. При наличии неуравновешенных масс величина силы F может быть определена по формуле

$$F = m(R - x) \cdot \Theta^2, \quad (2)$$

где m – неуравновешенная масса; R – радиус вращающегося элемента; x – расстояние от центра тяжести вала до неуравновешенной массы.

Для оценки влияния неуравновешенных масс на колебания эстакады лабораторией ООО «Интерремсервис» проводилась запись и анализ вибросигнала при пуске агрегата РС-4. Пуск агрегата сопровождается ударным процессом, возбуждающим свободные колебания эстакады.

В реальных условиях свободные колебания быстро затухают, и система совершает только вынужденные колебания.

Наличие неуравновешенных сил приводит к возникновению резонансных явлений, наиболее опасных на низких частотах.

Экспериментальное определение амплитуд вынужденных колебаний и соответствующих ускорений, выполненных 12.10.2006 г. ООО «Интерремсервис» показал, что наибольшие перемещения перекрытия составляют при работающих агрегатах РС-4÷РС-7 310 мкм, в то время как измерения, выполненные 19.04.2007 г. показали, что максимальная амплитуда горизонтального поперечного вибросмещения, соответствующая 1–3-ей формам колебаний, возросла в 5 раз и составила 1550 мкм. Максимальная амплитуда вертикальных колебаний при этом составляет 80 мкм.

В соответствии с приложением 1 ГОСТ 22061-76 оборудование резиносмесителей относится к четвертому классу точности балансировки. Значение произведения удельного дисбаланса ($e_{ст}$) на максимальную эксплуатационную угловую скорость вращения ($\omega_{э, \max}$) составляют:

– наименьшие: 2,50 в мм·рад/с;

– наибольшие: 6,30 в мм·рад/с.

Максимально допустимая центробежная сила для ротора может быть определена по формуле

$$F = M \cdot e_{ст} \cdot \omega_{э, \max} \cdot 2\pi \cdot n / 60 / 1000 \text{ (Н)}, \quad (3)$$

где F – центробежная сила при максимально допустимой неуравновешенности ротора в Н; M – масса ротора в кг; n – рабочая частота вращения ротора в об/мин.

Таким образом, допустимые центробежные силы для вращающихся частей ротора двигателя и валов редуктора (амплитудное значение вынуждающей силы) составит:

Двигатель, $M = 1500$ кг, $n = 750$ об/мин:

$$F = 1500 \cdot 6,3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 750 / 60 / 1000 = 741,8 \text{ (Н)};$$

Редуктор 701862:

I-й вал, $M = 472$ кг, $n = 750$ об/мин:

$$F_{\max} = 472 \cdot 6,3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 750 / 60 / 1000 = 233,4 \text{ (Н)};$$

II-й вал, $M = 1890$ кг, $n = 144,5$ об/мин:

$$F_{\max} = 1890 \cdot 6,3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 144,5 / 60 / 1000 = 180,0 \text{ (Н)};$$

III-й вал, $M = 6000$ кг, $n = 29,6$ об/мин:

$$F_{\max} = 6000 \cdot 6,3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 29,6 / 60 / 1000 = 117,1 \text{ (Н)};$$

IV-й вал, $M = 2135$ кг, $n = 24,9$ об/мин:

$$F_{\max} = 2135 \cdot 6,3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 24,9 / 60 / 1000 = 35,0 \text{ (Н)}.$$

Амплитудное значение вибрационных сил для редуктора 701842 отличаются от предыдущих значений и легко вычисляются умножением полученных выше величин на переходной коэффициент $k = \frac{M_{42}}{M_{62}}$.

Анализ возникающих инерционных сил при вынужденных колебаниях эстакады резиносмесителей

Вибродиагностикой установлено, что при работе с $n = 750$ об/мин максимальное ускорение плиты в направлении буквенных осей составило $0,95 \text{ м/с}^2$.

Учитывая это, легко подсчитать величину инерционной силы, действующей в зоне установки резиносмесителя №4 по формуле

$$X = M \frac{d^2 y}{dt^2}, \tag{4}$$

где X – инерционная сила; $\frac{d^2 y}{dt^2}$ – ускорение в направлении рассматриваемой оси; M – масса колеблющегося сооружения с учетом оборудования:

$$M = \frac{Q}{g}.$$

Инерционная сила от вынужденных колебаний при рассмотрении поперечной рамы, например, по оси «Ч» в зоне установки резиносмесителя Р/с-4 составит:

$$X = \frac{q_s \cdot A + P_{\Sigma} + P_p + P_p}{q} \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{11,29 \cdot 36 + 85 + 181 + 279}{9,81} \cdot 0,95 = 92,13 \text{ (кН)}$$

Раскрывая статическую неопределимость поперечной рамы от действия горизонтальной инерционной силы, найдем, что изгибающий момент в заземлении будет равен

$$M = 92,13 \cdot 1,4363 = 132,33 \text{ (кН}\cdot\text{м)},$$

который превышает момент от статического действия собственного веса конструкции и технологического оборудования, равный 10,8 кН·м (см. [6] стр. 20) в 12,2 раза. Значительные инерционные усилия указывают на нестандартную работу технологического оборудования. В частности, такая картина возникает при эксплуатации оборудования с нерегламентированными величинами неуравновешенных вращающихся масс.

Учитывая, что на эстакаде расположено оборудование с большой массой и различными угловыми скоростями, возникает опасность резонанса на различных частотах.

Так как частоты возмущающих сил превышают частоты свободных колебаний, то при пуске (остановке) оборудования возникают резонансные явления, которые будут тем значительнее, чем большая центробежная сила возникает за счет дисбаланса.

Исследования свободных колебаний показали, что ротор двигателя с $n = 750$ об/мин ($78,5 \text{ с}^{-1}$) при разгоне (остановке) проходит через 4 частоты свободных колебаний, по которым возможен резонанс. Развитие резонанса зависит от величины центробежной силы и скорости выхода оборудования на стационарный режим.

В стационарном режиме при допустимых величинах дисбаланса отстройка частот составляет (табл. 2):

$$\begin{aligned} \text{по низшей частоте (4-я форма)} & - \frac{78,5 - 51,754}{51,754} \cdot 100\% = 51,6\%; \\ \text{по высшей частоте (5-я форма)} & - \frac{95,181 - 78,5}{95,181} \cdot 100\% = 18,5\%. \end{aligned}$$

Таким образом, резонанс по 4-й форме (горизонтальные колебания) в направлении наименьшей жесткости от действия регламентированной центробежной силы не возникает.

Колебания выше 4-й формы совершаются в вертикальной плоскости. Жесткость эстакады в этом направлении значительно превышает изгибную в горизонтальном направлении. Поэтому отстройка в частотах собственных

и вынужденных колебаний в 20% не приведет к значительным вертикальным перемещениям.

Аналогичные результаты получаются, если колонна эстакады будет жестко заземлена в уровне пола, т.е. на отметке $\pm 0,000$ (табл. 3). При этом отстройка по 5-й форме колебаний составит:

$$\frac{98,874 - 78,5}{98,874} \cdot 100\% = 20,1\%.$$

В случае разрушения колонн в уровне пола с образованием шарнира значительно уменьшаются низшие частоты свободных колебаний (табл. 4), при этом 4-я и 5-я частоты остаются в тех же пределах, что и ранее рассмотренные.

Обследованием установлено, что в колоннах эстакад типа «2В» и «Г» по оси АА в уровне пола колонны имеют сквозные трещины, уменьшающие жесткость. Постановка шарнира в месте образования трещины снижает первые частоты свободных колебаний, не оказывая существенного влияния на частоты свободных колебаний по высшим формам. Следует отметить, что наличие трещины приводит к некоторому снижению жесткости, но в сечении возможно возникновение момента за счет усилий, воспринимаемых арматурой. Строго говоря, в месте трещины необходимо поставить упругое заземление, которое приведет к некоторому повышению низших частот свободных колебаний. Следовательно истинное значение частот будет лежать между частотами, определенными в табл. 3 и 4.

Для устранения трещины в исследовании приведены расчеты частот свободных колебаний для колонн, усиленных железобетонной обоймой на высоту 1.500 м от уровня фундаментной плиты.

Расчеты показали (табл. 5), что при отсутствии заземления в уровне пола частоты свободных колебаний по первым трем формам увеличиваются:

$$\text{по 1-й частоте: } \frac{17,419 - 13,388}{13,388} \cdot 100\% = 30,1\%;$$

$$\text{по 2-й частоте: } \frac{17,621 - 13,521}{13,521} \cdot 100\% = 30,3\%;$$

$$\text{по 3-й частоте: } \frac{19,607 - 15,061}{15,061} \cdot 100\% = 30,2\%.$$

Изменения по более высоким частотам незначительны.

В табл. 6 представлены результаты определения частот свободных колебаний для эстакады с усиленными колоннами и заземлением колонн в уровне пола.

Предлагаемый вариант приводит к существенному увеличению первых трех частот свободных колебаний и выводит сооружение из зоны ре-

зонанса по частоте вращения второго вала редуктора, т.к. отстройка частот составляет

$$\frac{3,227 - 2,4}{2,4} \cdot 100\% = 34,27\%.$$

Аналитическими расчетами эстакады при различных вариантах закреплений (табл. 2÷4) установлено, что 1-я частота свободных колебаний находится в пределах (2,131÷3,004÷1,507 Гц).

Сравнивая экспериментальные данные и теоретические, можно сделать вывод, что фактическое состояние эстакады соответствует упругому заземлению колонн с трещиной в уровне пола на отм. ±0.000.

Выводы

1. Эстакада резиносмесителей представляет собой систему с бесконечным числом степеней свободы, а, следовательно, спектр частот свободных колебаний представляется бесконечным рядом.

В зависимости от фактического состояния эстакады, её закреплений и наличия присоединенных масс, не учтенных при расчетах, можно утверждать, что минимальная частота свободных колебаний (частота основного тона) находится в интервале 2,13÷3,00 Гц.

Конструктивная особенность эстакады такова, что 3 первые частоты свободных колебаний являются кратными. Эти частоты соответствуют горизонтальным формам свободных колебаний в направлении наименьшей жесткости эстакады и при совпадении с частотой возмущающей силы дают значительные инерционные силы и большую амплитуду горизонтальных поперечных колебаний.

2. Рекомендация ООО «Интерремсервис» по увеличению жесткости эстакады, чтобы частота свободных колебаний была гарантированно выше частоты вынуждающей силы, — невыполнима. Все строительные конструкции являются низкочастотными и при установке на них вращающихся механизмов и машин во время включения и выключения агрегаты всегда пробегает спектр резонансных частот.

Важное значение при этом имеет величина неуравновешенной массы, создающей центробежную силу, и время разгона оборудования до стационарного режима.

3. Исследование результатов вибродиагностических обследований и аналитических расчетов по определению частоты собственных колебаний показали приемлемое совпадение теоретических и экспериментальных результатов.

4. Техническое состояние эстакады, выявленное при ее обследовании, и аналитический расчет на действие вибрационной нагрузки показали, что значительные поперечные колебания эстакады вызваны действием

неуравновешенной силы, возникшей в результате дисбаланса вращающихся частей, превышающего допустимый.

5. При хорошо сбалансированных элементах роторов поперечные горизонтальные колебания при выполнении усиления колонн не будут превышать проектных.

6. Вертикальные колебания эстакады в стационарном режиме происходят с большой частотой (5-я форма) в направлении наибольшей жесткости и не превышают 80 мкм. Усиление колонн не окажет существенного влияния на вертикальные колебания.

7. Использование на одной эстакаде двигателей с различной частотой вращения роторов приведет к циклическим увеличениям перемещений вследствие суммирования векторов возмущающих сил.

8. При проведении реконструкции, связанной с заменой технологического оборудования, добавлением или удалением масс, необходимо следить за тем, чтобы это не привело к резонансным явлениям на низших частотах.

9. Следует иметь в виду, что частота вращения второго вала редуктора практически совпадает с частотой свободных колебаний эстакады. Балансировка второго вала имеет важнейшее значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнев Б.Г., Смирнов А.Ф. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций. Справочник проектировщика. Москва. Стройиздат, 1986.

2. Рабинович И.М. Справочник проектировщика. Динамический расчет зданий и сооружений, 2-е издание. М.: Стройиздат, 1984.

3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). ЦИТП, М., 1989.

4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1998. — 76 с.

5. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. М., 1993.

6. Отчет по теме №50/4–93 «Оценка состояния несущих строительных конструкций эстакады резиносмесителей в осях ЖЖ–ИИ–КК, 7/1–7/2 цеха №2 корпуса Р-1». ВолгИСИ, 1993.

7. Акт вибродиагностических обследований технологического оборудования от 12.10.2006 г. и 19.04.2007 г. «Интерремсервис», 2007.

8. Заключение по теме «Исследование технического состояния строительных конструкций эстакады резиносмесителей в корпусе Р-1 в осях 7-8/Р-АА». Договор № 10-0693 — 39/07У от 30.03.2007 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Акчурин Т.К.** — к.т.н., проф., зав. каф. «Строительные материалы и специальные технологии», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Алексиков С.В.** — д.т.н., доц., зав. каф. «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Алимова Л.А.** — асп., Волжский институт строительства и технологий (филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)
- Андреев Д.С.** — , Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Артамонова О.В.** — к.х.н., доц., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
- Арушонок Н.Ю.** — асп. каф. «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Арушонок Ю.Ю.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Бабалич В.С.** — к.т.н., доц., проф. каф. «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Бабаханов Б.С.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Бабкин В.А.** — д.х.н., проф., зам. директора по научной работе, Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Бакушев А.А.** — к.т.н., декан политехнического факультета, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Балибардина Н.Г.** — к.ю.н., доц. каф. гуманитарных и социально-экономических дисциплин, Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Бареев В.И.** — к.т.н., проф., докторант каф. «Теоретическая и прикладная физика», Новосибирский государственный аграрный университет
- Батин М.О.** — асп. каф. «Теоретическая и прикладная физика», Новосибирский государственный аграрный университет
- Белоусов С.П.** — д.т.н., технический директор, Лыткаринский завод оптического стекла
- Богатов А.Д.** — к.т.н., доц., Мордовский государственный университет
- Богатова С.Н.** — к.т.н., доц., Мордовский государственный университет
- Богомолов А.Н.** — д.т.н., проф., зав. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», проректор по научной работе, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Богомолов С.А.** — студ., Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Богомолова О.А.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Прикладная математика и вычислительная техника», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Бондарев А.Б.** — , Липецкий государственный технический университет
- Бондарев Б.А.** — , Липецкий государственный технический университет
- Вербин Г.Е.** — студ., Саратовский государственный технический университет
- Волгина Е.В.** — асп., Мордовский государственный университет
- Воловик Т.О.** — студ. гр. ПГС-2-07, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Гречишникова О.С.** — студ., Мордовский государственный университет
- Груздев А.А.** — асп. каф. «Строительно-дорожные машины», Волжский институт строительства и технологий (филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)

- дарственного архитектурно-строительного университета)
- Губанова Л.Н.** — асп., Волжский институт строительства и технологий (филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)
- Денисов А.С.** — д.т.н., проф., ректор, Новосибирский государственный аграрный университет
- Длугашевский А.В.** — , Липецкий государственный технический университет
- Дмитриев В.Ю.** — , Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Досов К.Ж.** — магистрант, зав. лаб. «Строительство и строительные материалы», Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Дроздов В.В.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Дружинин К.В.** — асп. каф. «Технология строительного производства», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Евстигнеев С.А.** — асс., Саратовский государственный технический университет
- Елышко Ю.В.** — , Управление автомобильных дорог Администрации Волгоградской области
- Ерофеев В.Т.** — д.т.н., проф., член-корр. РААСН, Мордовский государственный университет
- Ечевский А.В.** — студ. гр. ПГС-2-05, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Жарылгапов С.М.** — магистр технических наук, зам. декана машиностроительного факультета, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Жиделёв А.В.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Прикладная математика и вычислительная техника», начальник Отдела научно-информационного обеспечения, интеллектуальной и инновационной деятельности, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Заиков Г.А.** — д.х.н., проф., Институт биохимической физики РАН
- Замыцкий О.Н.** — инженер, Юго-Западный государственный университет
- Зубова М.О.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Ивашкин А.Н.** — студ., Липецкий государственный технический университет
- Иващенко Ю.Г.** — д.т.н., Саратовский государственный технический университет
- Игнатов А.Н.** — Лыткаринский завод оптического стекла
- Икизли Д.С.** — магистрант, Тамбовский государственный технический университет
- Иняхин М.М.** — магистрант, Саратовский государственный технический университет
- Кабанов В.А.** — доктор PhD, к.т.н., зав. каф. «Управление инновациями», Юго-Западный государственный университет
- Казначеев С.В.** — к.т.н., доц., Мордовский государственный университет
- Карасёв Г.М.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Строительная механика», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Карпушко М.О.** — асп. каф. «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», инженер Отдела научно-информационного обеспечения, интеллектуальной и инновационной деятельности, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Кашарин Д.В.** — к.т.н., проф. каф. «Гидравлика и инженерная гидрология», Новочеркасская государственная мелиоративная академия
- Кашарина Т.П.** — д.т.н., проф. каф. «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)
- Киселева О.А.** — к.т.н., доц., Тамбовский государственный технический университет
- Киселева О.В.** — асп. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Клавдиева Т.Н.** — к.т.н., асс. каф. «Материаловедение и механика», Волжский институт строительства и технологий (филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)
- Клименко М.Ю.** — асп. каф. «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и

- фундаментостроение», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)
- Клышников А.А.** — асп., Липецкий государственный технический университет
- Корнеев А.Д.** — д.т.н., проф., Липецкий государственный технический университет
- Коротких Д.Н.** — докторант, к.т.н., доц., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
- Костыленко К.И.** — магистр, Ростовский государственный строительный университет
- Котляр В.Д.** — к.т.н., доц., зав. каф. «Строительные материалы», Ростовский государственный строительный университет
- Котляревская А.В.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Краюхин В.И.** — к.т.н., доц., доц. каф. ПСК, Саратовский государственный технический университет
- Кудимова А.В.** — асп., Мордовский государственный университет
- Маева И.С.** — к.т.н., Ижевский государственный технический университет
- Малкандуев Ю.А.** — д.х.н., проф., Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
- Маришев М.Х.** — доц. каф. «Строительное производство», Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
- Маришева А.М.** — к.т.н., ст. преп., Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
- Махова С.И.** — к.г.-м.н., доц., доц. каф. «Инженерная геология и геоэкология», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Маштаков А.С.** — асп. каф. «Инженерная геология и геоэкология», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Монтаев С.А.** — д.т.н., проф., декан машиностроительного факультета, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Моргун В.Н.** — к.т.н., доц. каф. «Инженерные дисциплины», Южный федеральный университет
- Моргун Л.В.** — д.т.н., проф. каф. «Строительные материалы», Ростовский государственный строительный университет
- Муравьева Л.В.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Мухамбеткалиев К.К.** — ст. преп. РГКП, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им.Жангир хана
- Нариков К.А.** — к.т.н., зав. каф. «Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений», Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Неизвестный Д.Л.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Неписов М.М.** — студ., Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Нестеров Р.С.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Олянский Ю.И.** — д.г.-м.н., доц., проф. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Паникин Д.А.** — асп., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
- Перфилов В.А.** — д.т.н., проф., зав. каф. «Нефтегазовые сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Пичугин А.П.** — д.т.н., проф., зав. каф. «Теоретическая и прикладная физика», Новосибирский государственный аграрный университет
- Потапов А.А.** — асп. каф. «Строительные материалы и специальные технологии», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Пристансков А.А.** — научный сотрудник, Волгоградский государственный педагогический университет
- Приходько А.П.** — асп. каф. «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)

- Прозорова Л.А.** — асп., Липецкий государственный технический университет
- Пушенко О.В.** — магистр, Ростовский государственный строительный университет
- Пушкарская О.Ю.** — к.т.н., доц. каф. «Технология обработки и производства материалов», Волжский институт строительства и технологий (филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета)
- Пшеничкина В.А.** — д.т.н., проф., декан строительного факультета, зав. каф. «Строительные конструкции, основания и надежность сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Раздубев М.А.** — асп. каф. «Строительные конструкции, здания и сооружения», Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ).
- Разинкова О.А.** — асп., Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
- Редькина Т.А.** — ст. преп., Ижевский государственный технический университет
- Решетников Р.А.** — стиск., Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Решетникова М.В.** — к.геогр.н., Себряковский филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета
- Романов С.И.** — д.т.н., проф., проф. каф. «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Савин Г.А.** — к.х.м., доц., Волгоградский государственный педагогический университет
- Слонов А.Л.** — асп., Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
- Слонов А.Л.** — аспирант, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
- Смирнова П.В.** — к.т.н., ст. преп. каф. «Пожарная безопасность и защиты в ЧС», Ростовский государственный строительный университет
- Сововьев А.В.** — к.т.н., докторант каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Соколов П.Э.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Строительные материалы и специальные технологии», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Соломатин Д.В.** — магистрант, Тамбовский государственный технический университет
- Спирин В.А.** — инженер, Мордовский государственный университет
- Спирин В.А.** — инженер, Мордовский государственный университет
- Стадник А.Ю.** — асп. каф. «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Стефаненко И.В.** — к.т.н., докторант каф. «Строительные материалы и специальные технологии», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Страхов А.В.** — асс., Саратовский государственный технический университет
- Струлев С.А.** — асп., Тамбовский государственный технический университет
- Сураева Е.Н.** — асп., Мордовский государственный университет
- Таскалиев А.Т.** — магистр технических наук, зам. декана машиностроительного факультета по научной работе, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Терёхина Ю.В.** — асп., Ростовский государственный строительный университет
- Тимохин Д.К.** — , Саратовский государственный технический университет
- Тихонова Т.М.** — асп. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Тихонова Т.М.** — асп. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Тухарели В.Д.** — асп. каф. «Строительные материалы и специальные технологии», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Устинов А.В.** — асп., Ростовский государственный строительный университет

- Филипов А.М.** — инженер, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Фролов А.Ю.** — асп. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Хихловская А.А.** — , Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)
- Хританков В.Ф.** — д.т.н., проф. каф. «Теоретическая и прикладная физика», Новосибирский государственный аграрный университет
- Хуторской С.В.** — аспирант, Мордовский государственный университет
- Цветкова Е.В.** — к.т.н., доц. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Чарыкова С.А.** — асп. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Чередниченко Т.Ф.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Технология строительного производства», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Чирков В.П.** — д.т.н., проф., Почетный член РААСН, Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ).
- Шайбадуллина А.В.** — асп., Ижевский государственный технический университет
- Шакешев Б.Т.** — к.т.н., зав. каф. «Строительство и строительные материалы», Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Шапошников Н.А.** — , Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Шинтемиров К.С.** — д.т.н., проф., Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана
- Шиян С.И.** — к.т.н. доц., докторант каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Шиян С.И.** — к.т.н., докторант каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Шкода Г.Г.** — к.т.н., доц., доц. каф. «Строительная механика», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Штефан Ю.В.** — , Липецкий государственный технический университет
- Щекочихина Е.В.** — асс. каф. «Гидротехнические и земляные сооружения», Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Юдаев А.Г.** — аспирант, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет
- Юдин П.В.** — инженер, Мордовский государственный университет
- Яковлев Г.И.** — д.т.н., Ижевский государственный технический университет
- Ярцев В.П.** — д.т.н., проф., зав. каф. «Конструкции зданий и сооружений», Тамбовский государственный технический университет

Научное издание

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ
И ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Материалы
VI Международной научно-технической конференции
13—14 октября 2011 г., Волгоград

Материалы публикуются в авторской редакции

Ответственный за выпуск *А.В. Жиделёв*

Компьютерная правка и верстка *А.В. Жиделёва*

Компьютерный дизайн *А.В. Жиделёва*

Подписано в печать 12.12.2011 г.

Формат 60 x 84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Уч.-изд. л. 23,9. Усл. печ. л. 22,2. Тираж 120 экз. Заказ №__

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Отпечатано в полном соответствии с предоставленным УНИР макетом в ООП ВолгГАСУ
400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1