

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
Учреждение высшего образования «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»

---

# **ХИМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОРОШКОВО- АКТИВИРОВАННЫХ БЕТОНОВ**

**ПИКСАЙКИН НИКИТА ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
**Ерофеев Владимир Трофимович**



## Цель и задачи исследования

**Целью диссертационного исследования** является проведение комплексных исследований химического сопротивления и стойкости порошково-активированных бетонов нового поколения в условиях воздействия химико-биологических и температурно-влажностных сред в лабораторных и натуральных условиях. Для ее достижения были поставлены следующие задачи.

- 1. Составить обзор отечественной и зарубежной литературы по долговечности бетона и железобетона в условиях воздействия химических и биологических агрессивных сред, морской воды и различных климатических факторов и выделить направления обеспечения долговечности цементных композитов и изделий на их основе за счет внедрения бетонов с повышенными показателями плотности.
- 2. Обосновать для проведения исследований составы цементных матриц бетонов нового поколения.
- 3. Исследовать влияние комплексных добавок на процессы структурообразования и формирование структуры твердой фазы на различных стадиях гидратации портландцемента и произвести подбор химических, тонкодисперсных и мелкозернистых минеральных компонентов, способствующих увеличению подвижности смеси плотности и прочности порошково-активированного бетона.
- 4. Получить количественные зависимости, определяющие показатели стойкости порошково-активированных бетонов в условиях воздействия химико-биологических и температурно-влажностных сред от рецептурных факторов.
- 5. Выполнить анализ влияния рецептурных факторов на структуру и свойства цементных композитов. Установить возможности улучшения физико-механических свойств и долговечности композитов за счет раздельного и совместного введения ультра- и нанодисперсных добавок, супер- и гиперпластификаторов, биоцидных препаратов и ингибирующее действие последних на микромицеты, участвующие в биодеградации.
- 6. Дать предложения по практическому использованию порошково-активированных бетонов нового поколения в условиях воздействия химико-биологических и температурно-влажностных сред.

# Научная новизна работы

- Исследованы матрицы бетонов нового поколения, включающих в рецептуры: цемент, молотый наполнитель, пластификатор, воду и биоцидную добавку (матрица первого рода); цемент, молотый наполнитель, пластификатор, воду, биоцидную добавку, тонкий наполнитель фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм (матрица второго рода); матрицу первого или второго рода, включающую мелкий наполнитель фракции 1,0–5,0 мм или 0,63–5,0 мм (матрица третьего рода).
- Установлено влияние химических добавок на структуры и количественные зависимости ее изменения, физико-механических свойств и долговечности цементных композитов различного рода в зависимости от рецептурных и агрессивных факторов.
- Выявлен механизм действия супер- и гиперпластификаторов, ультра- и нанодисперсных систем, химических добавок в сочетании с минеральными наполнителями и заполнителями на изменение структуры и состава, а также на свойства цементного камня и бетонов.
- Доказано, что введение в состав бетона пластифицирующих, химических и нанодобавок приводит к увеличению сопротивления химико-биологических и климатических средах.

## Положения, выносимые на защиты

- Новые данные и закономерности влияния комплексных добавок на модификацию структуры в различных условиях твердения и после воздействия химико-биологических и климатических сред.
- Результаты исследований эффективности модифицирующих добавок, включающих супер- и гиперпластификаторы, ультра- и нанодисперсные системы, химические добавки и минеральные наполнители и заполнители, их оптимального содержания в цементных композитах.
- Рациональные рецептуры цементных композитов с улучшенными показателями физико-механических свойств, химико-биологической и климатической стойкости.

## Теоретические аспекты проблемы

- Согласно литературным данным примерно 75 % строительных конструкций в мире подвержено разрушающему воздействию агрессивных сред, а продление срока эксплуатации конструкций на 5 лет дает возможность экономии порядка 20 млрд. руб. ежегодно.
- Долговечность бетонных и железобетонных конструкций определяется
- Во-первых, условиями внешней среды, т.е. климатом, составом воздуха, воды и грунта, а также особенностями контакта между внешней средой и наружными поверхностями конструкции.
- Во-вторых, в процессе эксплуатации строительные материалы и изделия в зданиях и сооружениях могут подвергаться негативному воздействию различных технологических факторов.
- Одной из агрессивных сред, вызывающих коррозию материалов, является химико-биологическая, которая усиливается при определенных климатических условиях.

# Составы для испытаний

Компоненты	Содержание массовых частей в составах						
	1	2	3	4	5	6	7
Портландцемент (ульяновский)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Гиперпластификатор Melflux	-	-	0,009	0,009	0,009	0,009	-
Каменная мука (микрокварц)	-	-	-	1,100	0,750	-	-
Микрокремнезем	-	-	-	-	0,120	-	-
Кварцевый наполнитель фракции 0-0,63 мм	-	-	-	2,753	1,775	2,065	-
Кварцевый наполнитель фракции 0,630,25 мм	-	-	-	2,347	1,875	1,760	-
Биоцидная добавка (Тефлекс)	-	-	-	-	-	-	0,150
Вода	0,267	0,350	0,171	0,600	0,475	0,525	0,267

# Физико-технические свойства цементных композитов по результатам испытаний

Свойства		Показатели для составов								
		1	2	3	4	5	6	T17	T18	T19
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>		2090	1885	2276	2300	2270	2100	2028	1835	2337
Прочность при сжатии $R_b$ , МПа		56,4	52,6	133,0	67,1	110,0	32,5	59,5	58,3	131,0
Прочность при раскалывании $R_{pp}$ , МПа		2,72	3,17	5,83	4,68	6,42	2,42	5,39	3,3	–
Прочность при изгибе $R_{bt}$ , МПа		8,7	4,0	11,2	9,87	12,75	6,02	13,1	16,5	32,5
Пористость $P$ , %		16,71	19,18	12,52	11,23	8,99	9,79	10,8	12,28	20,42
Демпфирующие свойства (логарифмический декремент колебаний) $\delta$		0,181	0,178	0,072	0,119	0,172	0,082	0,232	0,148	0,175
Ударная прочность	Максимальная контактная сила $F$ , Н	2073	1866	1672	3808	4530	2724	–	1735	–
	Продолжительность контакта $t$ , мс	0,17	0,11	0,08	0,21	0,25	0,24	–	0,38	–
	Импульс силы $S$ , Н·м	81,1	57,2	38,1	200,1	177,9	56,8	–	165,7	–
Трещино стойкость	Удельные энергозатраты $G_F$ , Дж/м <sup>2</sup>	558,3	46,3	150,6	127,0	149,4	60,1	146,0	66,5	–
	Джей-интеграл $J_i$ , Дж	34,2	3,76	42,19	25,8	45,5	7,9	17,4	11,3	–
	Интенсивность напряжения $K_i$ , МПа·м <sup>0,5</sup>	1,60	1,12	1,15	0,63	1,27	0,49	0,77	0,69	–

## Результаты испытаний

- Введение тонкодисперсного кварца в состав песчаного бетона привело к повышению таких его прочностных показателей, как прочность на сжатие, при изгибе и на растяжение при раскалывании от 1,62 до 2,55 раз, что объясняется повышением плотности упаковки кварцевого заполнителя и подтверждается увеличением плотности таких образцов на 9,5 %.
- Отмечается положительный вклад в рост прочности микрокремнезема, имеющего более активную поверхность, чем у микрокварца.
- Использование тонкодисперсного кварца повлияло и на характер деформирования образцов – повысилась их упругость от 1,3 до 1,7 раз, но при этом на 20 % снизилась величина предельных деформаций.
- Добавление в состав микрокварца и особенно микрокварца с микрокремнеземом приводит к существенному увеличению демпфирующих свойств цементных композитов.
- Высокие показатели максимальной контактной силы, продолжительности контакта и величины импульса показали пластифицированные высоконаполненные составы нового поколения.
- Незначительное снижение ударной прочности цементного камня произошло с различными химическими препаратами: Тефлекс «Дезинфекант», Тефлекс «Универсальный», «Ультрадез-Био», Тефлекс «Антиплесень».

## Итоги выполненного задания

Используя физический эксперимент и математическое моделирование, исследованы структура, прочность и долговечность бетонов нового поколения как со специальными реакционно- и реологически-активными нанометрическими добавками (каменная мука, микрокремнезем и др.), так и с малодефицитными карбонатно-кварцевыми наполнителями с микрометрическим и миллиметровым диапазоном дисперсности и зернистости

Результаты комплексной идентификации строения, физико-механических свойств и долговечности показали, что модифицированная плотная структура принципиально отличается от немодифицированной: объем пор сокращается на 25,8–36 %; в структуре преобладают гидросиликаты кальция типа CSH(I) преимущественно скрытокристаллической формы с размером глобуловидных частиц 100–300 нм; в зависимости от вида пластификатора, наполнителя, биоцидной и нанодобавки прочность материалов варьирует в среднем в пределах 50–130 МПа при сжатии, 8–30 МПа при изгибе, 2,5–6,3 МПа при раскалывании.

## Итоги выполненного задания

Выявлено влияние рецептурных факторов на упруго-прочностные свойства композитов при статических и динамических нагрузках:

снижение В/Ц приводит к более упругому поведению материала под нагрузкой, значимому (в 4–5 раз) удлинению ниспадающей ветви полной равновесной диаграммы деформирования цементного камня и изменению механизма разрушения материала: при В/Ц 0,267 через формирование магистральной трещины на ранних стадиях нагружения и ее последующее развитие вплоть до расчленения образца, а при В/Ц 0,350 – через образование блочной структуры с последующим закрытием поперечных блочных трещин и слиянием продольных в магистральную трещину;

применение гиперпластификатора «Melflux 1641 F» значительно снизило водоцементное отношение (с 1,56 до 2,04) и способствовало повышению прочностных свойств: на сжатие – с 1,20 до 1,72 раза, на растяжение при раскалывании – с 1,66 до 2,13 раза и на изгиб – в 2,91 раза.

результаты исследования по структурообразованию доказывают улучшение физико-механических характеристик цементных композитов нового поколения относительно старого и переходного видов.

## Итоги выполненного задания

С помощью физико-механических, математических и компьютерных технологий изучено поведение образцов цементных композитов в процессе экспонирования в лабораторных условиях при воздействии температурно-влажностных сред. В результате проведенных исследований получены количественные зависимости стойкости композитов от водоцементного отношения, вида и содержания гиперпластификаторов, фунгицидных препаратов, каменной муки, микрокремнезема, кварцевых наполнителей и мелких заполнителей. Сравнительные исследования показали высокие показатели стойкости порошково-активированных бетонов нового поколения.

В результате проведенных исследований по оценке значений минимальной ингибирующей концентрации на примере препарата Teflex по отношению к ряду плесневых грибов активных биодеструкторов строительных материалов показали, что фунгицидный эффект данного соединения зависит от вида грибов. Так, например, гриб *Aspergillus niger* проявлял достаточно высокую устойчивость, что объясняется неодинаковыми физиолого-биохимическими особенностями грибов. Поэтому знание видового состава микроорганизмов-биодеструкторов позволит наиболее оптимально подобрать биоцидную добавку к строительным материалам, предотвращающую процесс их биоповреждений.

С использованием физико-химических методов, а также физико-механических испытаний (оценка упругопрочностных свойств при статическом и динамическом нагружении), химико-биологических исследований, оценки в лабораторных условиях грибостойкости и фунгицидности, изменения стойкости материалов в химических и биологических средах, математических методов оптимизации (реализация плана Шеффе) разработаны бетоны и другие цементные композиты нового поколения, обладающие высокими показателями прочности, плотности, стойкие в температурно-влажностных и биологических средах.

**Спасибо за внимание!**