

УДК 539.384.2

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И  
МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВНЫЕ ПРОЧНОСТНЫЕ  
СВОЙСТВА БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

***Саденко Денис Сергеевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».*

***Шеин Александр Иванович,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика».*

***Чуманов Александр Васильевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г.Пенза,*

*магистрант.*

**Аннотация**

Рассматривается влияние диатомита и хризотила на прочностные характеристики бетонных конструкций. Использование диатомита в количестве 10% и хризотила в количестве 0,5-1,5% могут быть изготовлены бетонные конструкции с классами прочности В30-В40.

**Ключевые слова:** бетонные конструкции, прочность, хризотил, диатомит.

**INFLUENCE OF MINERAL FILLERS AND MODIFYING ADDITIVES ON  
THE BASIC STRENGTH PROPERTIES OF CONCRETE STRUCTURES**

***Sadenko Denis Sergeyevich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Mechanics”.*

***Shein Alexander Ivanovich,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Doctor of Sciences, Professor, Head of the department "Mechanics".*

***Chumanov Alexander Vasilievich***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Undergraduate.*

## **Abstract**

The influence of diatomite and chrysotile on the strength characteristics of concrete structures. The use of diatomite in an amount of 10% of chrysotile in the amount of 0.5-1.5% can be made with concrete constructions strength classes B30-B40.

**Keywords:** concrete structures, strength, chrysotile, diatomite.

Прочность бетонных конструкций является интегральной характеристикой их свойств и ее регулирование при синтезе новых материалов важная научно-практическая задача. Наибольший эффект при регулировании прочностных характеристик цементных бетонов достигается при активации поверхности минеральных компонентов бетона и применении активированного диатомита и хризотила.

Установлено влияние волокон хризотила в качестве добавки, повышающей прочностные свойства цементно-песчаного раствора. В исследовании был использован центральный композиционный ортогональный трехфакторный план. В качестве варьируемых факторов и уровней варьирования были выбраны: расход хризотилового волокна  $x_1$  ( $1,5 \pm 1,5\%$ ), суперпластификатора  $x_2$  Melflux 5581 ( $0,5 \pm 0,3\%$ ) и водоцементное отношение  $x_3$  ( $0,7 \pm 0,1$ ).

Статистический анализ полученных данных позволил найти математическую модель, описывающую влияние дозировки хризотила ( $x_2$ ),

суперпластификатора ( $x_1$ ) и водоцементного отношения ( $x_3$ ) на прочность при изгибе  $R_{и}$  и  $R_{сж}$  сжатии:

$$R_{и} = 7,52 - 0,183 \cdot x_1 + 0,188 \cdot x_2 - 0,238 \cdot x_3 - 0,294 \cdot x_1 x_2 - 0,505 \cdot x_1 x_3 - \\ - 1,529 \cdot x_1^2 + 1,329 \cdot x_2^2 + 0,356 \cdot x_3^2 ,$$

$$R_{сж} = 24,81 + 0,920 \cdot x_2 - 6,721 \cdot x_3 - 1,650 \cdot x_1 x_3 - 4,551 \cdot x_2 x_3 - \\ - 2,611 \cdot x_1^2 + 1,889 \cdot x_2^2 + 2,890 \cdot x_3^2 .$$

Построенные по этой математической модели графики приводятся на рисунке 1.

Анализ прочностных характеристик смесей (рисунок 1) показывает, что использование СП Melflux 5581 вызывает замедление твердения через 1 сутки, но через 3 суток прочности составов приблизительно равны. Наибольшей прочностью характеризуются составы с добавкой гиперпластификатора «Хидетал ГП-γ9» и суперпластификатора Melflux 5581.

Анализ результатов показывает, что при низком водоцементном отношении прочность при сжатии при увеличении дозировки СП возрастает, что объясняется улучшением удобоукладываемости и уплотнения смеси. При высоком В/Ц наблюдается противоположная тенденция: при повышении расхода СП прочность снижается. Причиной этой закономерности является, вероятно, повышение расслоения и неоднородности смеси. Для прочности при изгибе отмечено снижение этого показателя при увеличении дозировки СП до 0,5%. Дальнейшее повышение расхода СП приводит к росту прочности (рисунок 1а,в,д).

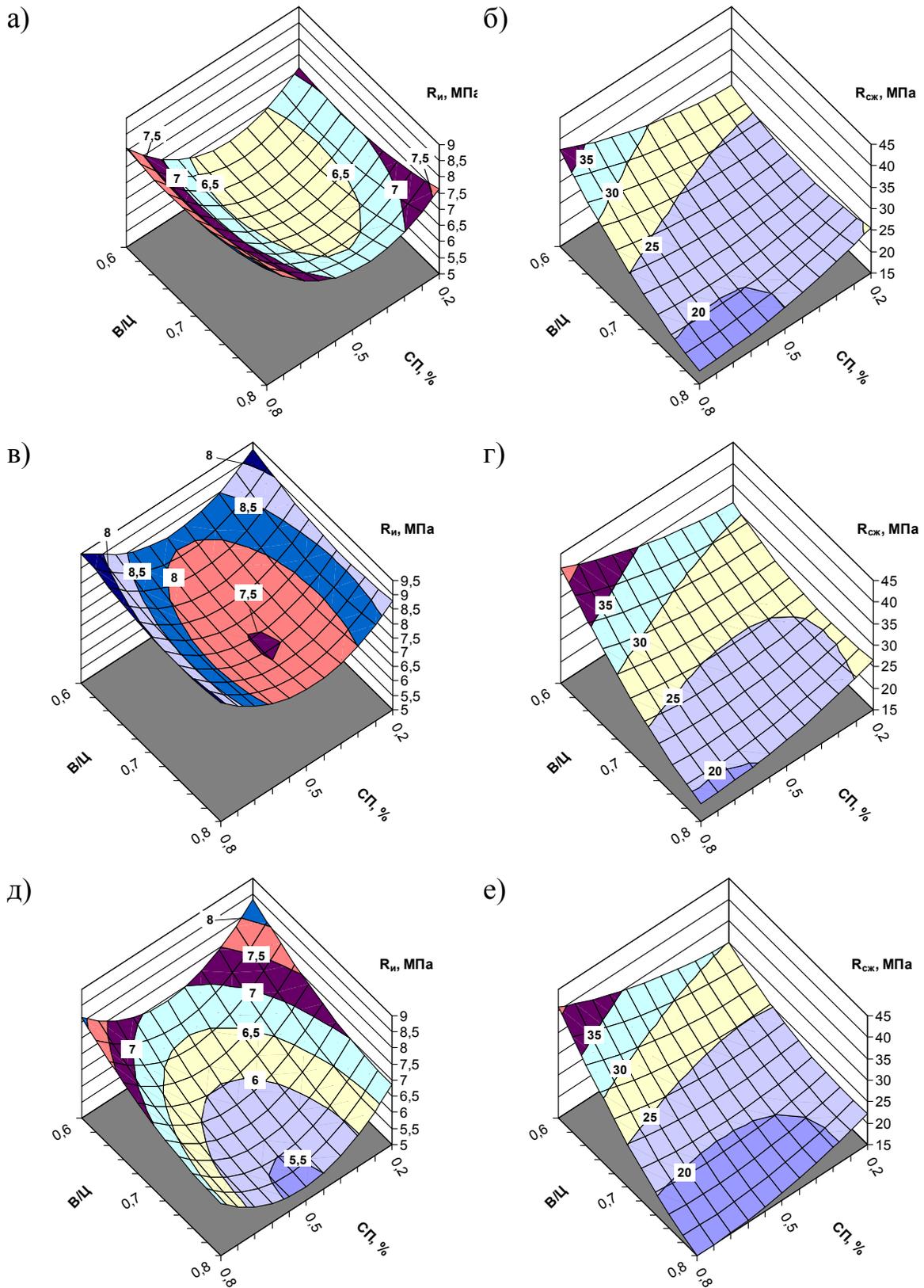


Рисунок 1 – Влияние водоцементного отношения и дозировки СП на прочность при изгибе (а, в, д) и сжатии (б, г, е) при различном расходе хризотила: без добавки (а, б); 1,5 % (в, г); 3 % (д, е)

Проведенные исследования показали, что оптимальная дозировка хризотила в заданном интервале 0-3% – 1,5 %, так как при этом расходе волокон прочность при изгибе на 20...35 %, а при сжатии на 10-11 % выше, чем в составах без хризотила и с 3 % этой добавки. Однако в бетонах нового поколения она может быть снижена с учетом существенного повышения прочности цементно-минеральной матрицы.

Изучено влияние модифицированного и немодифицированного диатомита на среднюю плотность и прочность при сжатии бетонов. При этом, с целью термической активации твердения образцы пропаривали при температуре 85<sup>0</sup>С по режиму: 20 часов. Выдержка при 20<sup>0</sup>С – 2 часа; 4 часа – подъем температуры до 85<sup>0</sup>С; 18 часов – изотермия при 85<sup>0</sup>С; остывание в пропарочной камере. Состав песчаного бетона Ц:П=1:3 при В/Ц=0,6. Осадка конуса на встряхивающем столике составила для состава с модифицированным диатомитом 18 см, с немодифицированным – 14 см.

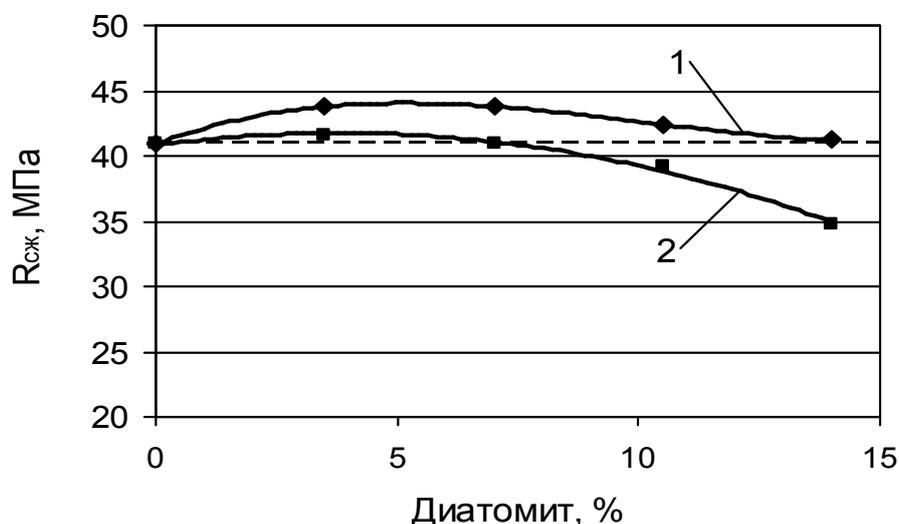


Рисунок 2 – Влияние модифицированного (1) и немодифицированного (2) диатомита на прочность при сжатии (в) после тепловлажностной обработки цементно-песчаного раствора

Выявлено различие в показателях прочности составов с добавкой модифицированного и немодифицированного диатомита. При повышении

дозировке немодифицированного диатомита до 6..7 % прочность практически не изменяется, а при большем расходе добавки заметно снижается. При введении в смесь модифицированного диатомита отмечается повышение прочности на 8...9 % при дозировке добавки 4...6 %. При повышении расхода модифицированного диатомита до 14 % прочность постепенно снижается до показателей прочности контрольного бездобавочного состава. Различия прочностных показателей не более 10%, но статистическая обработка результатов показала, что повышение прочности в составах с модифицированным диатомитом можно считать достоверным.

Таким образом, тепловая обработка при малой температуре несущественно повышает прочность образцов.

Установлено влияние содержания хризотила на прочностные характеристики бетона после тепловлажностной обработки в зависимости от водоцементного отношения и степени наполнения хризотилом (таблица 1). Песчаный бетон изготавливался без пластифицирующих добавок.

Таблица 1 – Прочностные характеристики бетонных образцов в зависимости от содержания хризотила и водоцементного отношения

№ п/п	Цемент	Песок	Хризотил	В/Ц	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ МПа
1	300	750	0,5%	0,3	8,4	2,96
2				0,6	42,2	6,03
3			1,0%	0,3	12,2	3,0
4				0,45	55,8	8,1
5				0,6	20,1	4,1
6			1,5%	0,45	40,6	7,5
7				0,6	25,0	4,7

Из таблицы 1 видно, что прочность при сжатии ( $R_{сж}$ ) и при изгибе ( $R_{изг}$ ) зависят как от содержания хризотила, так и от содержания воды. При содержании хризотила 0,5% и В/Ц = 0,3 наблюдаются самые низкие значения  $R_{сж}$  и  $R_{изг}$  из-за невысокой степени уплотнения образцов. Увеличение содержания воды в 2 раза увеличивает  $R_{сж}$  в 5 раз, а  $R_{изг}$  в 2 раза. Увеличение содержания хризотила до 1% при минимальном содержании воды несущественно увеличивают  $R_{сж}$  и  $R_{изг}$ . Увеличение содержания только воды в 1,5 раза увеличивает  $R_{сж}$  в 6,6 раза, а  $R_{изг}$  почти трехкратно. Дальнейшее увеличение В/Ц до 0,45 снижает  $R_{сж}$  в 2,9 раза;  $R_{изг}$  в два раза. При увеличении хризотила до 1,5% и уменьшении воды в 1,2 раза наблюдается увеличение и  $R_{сж}$  и  $R_{изг}$ . Дальнейшее повышение содержания воды резко уменьшает только  $R_{сж}$  почти в 2 раза,  $R_{изг}$  не изменяется.

В пескобетонной смеси приведенного состава протекают два параллельных противоположных процесса с участием воды и волокнистого хризотила: разжижение смеси водой и загущение за счет поглощения воды хризотилом. При В/Ц=0,3 воды взято недостаточно, а хризотил поглощает свободную воду и обезвоживает смесь до полусухого состояния. Смесь практически не уплотняется на виброплощадке; при В/Ц=0,6 содержание воды частично сбалансировано с содержанием хризотила, который после связывания необходимого количества воды, оставляет часть ее для поддержания пластичности и удобоукладываемости. Полная сбалансированность достигается при В/Ц=0,45 и оптимальным количеством хризотила равным 1%. Больше количество хризотила связывает и большее количество воды. Таким образом, главным фактором, приводящим к повышению прочности – это строгое соотношение между содержанием воды и количеством хризотила.

Исследована зависимость  $R_{изг}$  бетона от степени наполнения бетонной смеси хризотилом в присутствии суперпластификатора Melflux 5581 (рисунок 3).



Рисунок 3 – Зависимость прочности при изгибе от степени наполнения бетонной смеси хризотилом в присутствии суперпластификатора Melflux 5581.

Исследовано действие суперпластификатора Melflux 5581 на песчаном бетоне с расходом Вольского цемента  $300 \text{ кг/м}^3$ . Количество СП Melflux 5581 принималось неизменным и составляло 0,5% от массы.

С увеличением степени наполнения образцов бетона хризотилом прочность образцов при изгибе  $R_{\text{изг}}$  уменьшается. Нановолокна хризотила собраны в «пачки» и склонны в воде к агрегированию и чтобы диспергировать их нужны большие затраты энергии. Макромолекулы суперпластификатора Melflux 5581 имеют гибкую гребнеобразную форму с боковыми также гибкими ответвлениями. СП типа Melflux 5581 это соли полиэфиров, которые в воде диссоциируют на положительно заряженные катионы и отрицательно заряженные макроанионы, в состав которых входят полиэфирные группы  $-\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}-\text{O}-\overset{|}{\underset{|}{\text{C}}}-$ , атомы кислорода которых несут неподеленные пары электронов.

Очевидно, что полимеры пластификатора с отрицательно заряженными функциональными группами не адсорбируются на гидросиликате магния. Лишь при минимальной дозировке хризотила, равной 0,5% бетонная смесь может пластифицироваться при одинаковом количестве воды с контрольной смесью.

Для окончательного заключения о влиянии диатомита и хризотила на реотехнологические свойства бетонных смесей и прочностные показатели бетона использовали рецептуру порошково-активированных песчаных бетонов нового поколения.

Применяли цементы трех заводов с одинаковыми марками, использовали микрокварц ЛГОК с  $S_{уд} = 5000 \text{ см}^2/\text{г}$  и два вида пластифицирующих добавок Хидетал ГП  $\gamma 9$  и Melflux 5581 российского и германского производства. Составы были изготовлены с использованием рядовых песков, содержащие, по результатам испытаний гранулометрического состава, разное количество тонкой фракции 0-,63 мм и грубой 0,63-5 мм. Составы с индексом «А» изготавливались без диатомита и хризотила, а с индексом «Б» с их использованием. Как следует из анализа, порошково-активированный бетон без диатомита и хризотила имеет самопроизвольный расплыв из конуса Хагерманна 206 мм. Условная реологическая матрица I-рода  $I_{ВД}^{II}$  отношение объема водно-дисперсной суспензии  $V_{вд}$  к объему тонкого песка  $V_{пт}$ , равна 1,45. Реологическая матрица II-рода  $I_{ЦДП}^{II}$  – отношение объема воднодисперсно-тонкозернистой суспензии к объему песка заполнителя равна 1,87. Растекаемость смеси из конуса Хагерманна была 206 мм. Бетон имел прочность 39,8 МПа, морозостойкость – 200 циклов.

Введение хризотила в количестве 1,5% и диатомита 11% от массы цемента привело к загущению бетонной смеси. Уплотнение смеси на виброплощадке в течении 3-х минут позволило получить прочность на сжатие 44,3 МПа. Удельный расход цемента на единицу прочности снизился с 10 до 8,1 кг/МПа.

При использовании Вольского цемента при тех же количествах компонентов позволило получить бетонную смесь с растекаемостью 240 мм, с прочностью бетона 38,9 МПа, с морозостойкостью 200 циклов.

Введение хризотила и диатомита, в том же количестве, что и в составе ПАПБ-1Б, так же привело к загущению смеси. Уплотнение бетонной смеси на

виброплощадке позволило достигнуть более высокой прочности  $R_{сж}=51,1$  МПа. Удельный расход портландцемента снизился до 7 кг/МПа.

Последние два состава бетона были изготовлены на Красноярском цементе с более эффективным пластификатором германского производства Melflux 5581. Кроме того, использовались фракционированный тонкий песок фракции 0,14-0,63 мм и песок заполнитель фракции 0,63-5 мм с другими соотношениями компонентов к массе цемента. Была получена высокопластичная бетонная смесь за счет не только эффективного пластификатора, но и изменения условных реологических матриц I и II рода. Введение уменьшенного количества хризотила (0,5%) практически не уменьшило растекаемость бетонной смеси и позволило достигнуть более высокой прочности бетона (56 МПа), превышающей на 22% прочности бетона ПАПБ-3А. При этом прочность на растяжение при изгибе повысилась на 14%. Удельный расход цемента был самым наименьшим (6,9 кг/МПа) из всех составов.

Таким образом, с использованием диатомита в количестве 10% и хризотила в количестве 0,5-1,5% могут быть изготовлены бетоны с классами прочности В30-В40.

#### **Библиографический список:**

1. Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. О вязкости разрушения фибробетона // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 3 (16). С. 80-83.
2. Каримов И. Механика трещинообразования при разрушении бетона (литературный обзор). URL: <http://www.masterbetonov.ru/content/view/528/239/>.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: учеб. пособие для строит. вузов. М.: Высш. шк., 1991. 288 с.
4. Пащенко А.А. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. Наука – строительному производству. М.: Стройиздат. 1988. 382 с.
5. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций. URL: <http://dwg.ru/dnl/load/9042>.