

Активирование структуры компонентов и смесей как путь создания вариатропных строительных материалов и конструкций нового поколения

В настоящее время существующие строительные материалы и конструкции подошли к пределу своей эффективности. Для дальнейшего ее повышения необходим либо *экстенсивный путь* – создание принципиально новых материалов и конструкций, что ведет к повышению затрат в строительстве минимум на порядок, либо *интенсивный путь* – модифицирование материалов и конструкций и их компонентов путем активирования их внутренней структуры и получения значительно лучших характеристик при незначимом росте затрат, что намного предпочтительнее.

Строительные материалы имеют *анизотропную* структуру, отличающуюся дифференцированными характеристиками по разным направлениям. Придание им *вариатропной* структуры усиливает дифференциацию их характеристик, одновременно давая возможность располагать в наиболее напряженных зонах конструкций - усиленные, а в наименее напряженных - ослабленные слои материалов, тем самым выводя такие материалы и конструкции из них на уровень принципиально нового поколения.

Возможности и задачи по регулированию вариатропии управлению свойствами бетоновтехнологическими и рецептурными факторами

1. Предложить эффективные технологии изготовления бетонных и фибробетонных элементов и разработать универсальные установки для их реализации, определив их оптимальные режимы и параметры.

2. Выявить возможности активации компонентов бетонной смеси и бетонной смеси в целом, как порознь, так и совместно, для улучшения свойств бетонов, рассмотреть синергетический эффект.

3. Предложить рациональные составы виброцентрифугированных бетонов, фибробетонов и элементов из них при комбинировании видов и размеров заполнителей и фибр.

4. Разработать рекомендации для определения характеристик рациональных виброцентрифугированных бетонов, фибробетонов и конструкций из них в зависимости от технологических и рецептурных факторов.

5. Внедрить разработанные технологические и рецептурные рекомендации в практику строительства, проектирования, нормативные документы.

Новая синтезированная технология виброцентрифугирования - эволюция и симбиоз технологий вибрирования и центрифугирования

Разработанная технология отличается операциями, осуществляемыми: одновременно; во всё время уплотнения; с регулированием технологических параметров, активируя свойства бетонной смеси в целом и ее компоненты.

Характеристики виброцентрифугированного бетона являются функцией *внешних факторов* - назначения конструкций и требований к параметрам бетона, и *внутренних факторов* - технологических и рецептурных средств регулирования параметров бетона. В такой постановке проблема никогда не исследовалась, но именно она является наиболее универсальной и при успешном решении откроет широкие перспективы.

Рассмотрены **технологические факторы** регулирования параметров бетона - *режим разгона, оптимальное давление, оптимальное время*.

Использовано математическое планирование эксперимента, в качестве факторов выбраны время разгона $t_{разг}$ и скорость вращения $n_{уп}$:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

Выявлено, что при увеличении оборотов внешние слои смеси уже включились во вращение, а внутренние - только начинают движение. При росте оборотов движение внешних слоев идет по направлению вращения, а внутренних – против, пока усилия вращения не уравновесят силы инерции, для чего нужен переход от распределительных к уплотнительным оборотам.

Изменение характеристик бетона по сечению элементов ранее не исследовались, хотя это очень важно. Для этого и был создан главный элемент

технологии виброцентрифугирования как симбиоза вибрирования и центрифугирования - технологические установки.

Универсальные установки для виброцентрифугирования, особенности, возможности и диапазон изменения рабочих параметров

В разработанных установках с ведущим и ведомым роликами регулируемой зубчатой поверхности *центрифугирование* создается вращением валов, на которых располагается форма с бетонной смесью, а *вибрирование* - шпонками, на которых вращающаяся форма подвергается вибрации, причем это регулируется варьированием высоты шпонок, расстоянием между ними и их формой, а также режимами: синхронным, асинхронным и попеременным.

Задача установок - производство элементов из виброцентрифугированного бетона с управлением свойствами бетона техническими параметрами.

Исследования характеристик вариатропных бетонов

Исследовано влияние *технологии изготовления* на *интегральные* (общие по сечению) и *дифференциальные* (различающиеся) плотность; прочность, деформации, модули упругости и диаграммы деформирования.

Варьировались: - *технология изготовления* – вибрирование, центрифугирование, виброцентрифугирование; *вид НДС* – осевое сжатие, растяжение; *вид образцов* – кубы, призмы; *режим испытаний* – с постоянной скоростью нагружения, деформирования; *возраст бетона* – 7, 28 и 180 суток.

Превышение *прочности на сжатие и растяжение* внешнего слоя над внутренним составило 53,1-54,7% и 12,5 и 13,3%, между средним и внутренним – 40,0 и 37,3%, между внешним и внутренним 52,8 и 54,5%. *Предельные деформации* при сжатии и растяжении наименьшие у внешнего слоя, максимальны у внутреннего слоя, средний слой занимает промежуточное положение. Наибольший *модуль упругости* оказался у внешнего слоя, у внутреннего слоя был минимальным, у среднего слоя был промежуточным.

Диаграммы деформирования виброцентрифугированных бетонов были наиболее пологи для внутреннего слоя. Для внешнего слоя диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » имела смещение максимума вверх и влево, с большей резкостью в восходящей части и спадом в нисходящей части. Диаграмма деформирования среднего слоя занимала промежуточное положение (рис.1).

Вариатропия виброцентрифугированного бетона от возраста не зависит, но диаграммы деформирования в возрасте 7, 28 и 180 суток трансформируются по подъемистости, пологости и смещению точки максимума (рис.2).

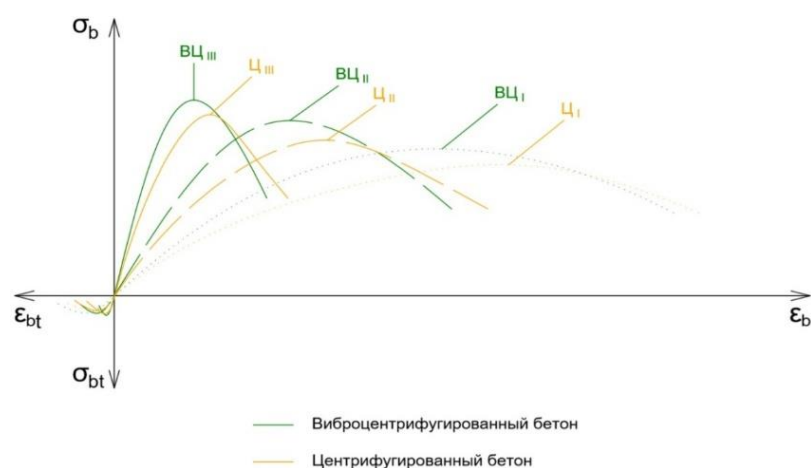


Рисунок 1 – Диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » слоев виброцентрифугированного бетона

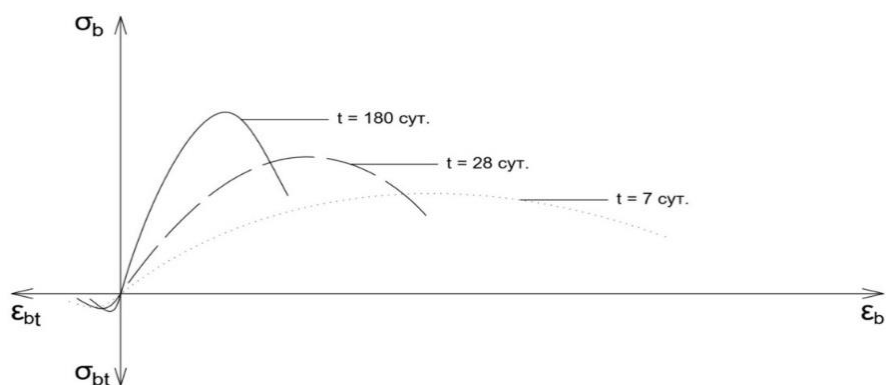


Рисунок 2 – Изменения диаграмм деформирования в различных возрастах

Так доказано, что вариатропию сечений и изменяющиеся характеристики бетона необходимо учитывать в расчетах.

Разработанная системная комплексная активация компонентов бетона и бетонной смеси для улучшения их свойств и характеристик

Предложим *системную комплексную технологию активации*: на первом этапе – компонентов бетона; на втором этапе – бетонной смеси из предварительно активированных компонентов. Вследствие предлагаемой двойной активации будет достигаться еще и синергетический эффект - больший суммарный эффект, чем сумма двух эффектов.

Сравним 4 технологии: 1– неактивированные компоненты и бетонная смесь; 2– активированные компоненты и неактивированная бетонная смесь; 3– неактивированные компоненты и активированная бетонная смесь; 4– активированные компоненты и бетонная смесь.

Исследовались интегральные и дифференциальные характеристики в зоне катода и анода при активации. Образцы после набора прочности распиливались по высоте на слои – в зоне катода, анода и в середине образцов.

Интегральные характеристики бетонов при отдельных технологиях активации оказались выше у бетона с активированными компонентами для прочности на сжатие –7,8%; на растяжение – 10,3%; модуля упругости – 5,6%. Предельные деформации уменьшились до 5,3% и 5,1%.

Те же данные при *активации бетонной смеси* из неактивированных компонентов приводят к повышению прочности на сжатие – 19,8%; на растяжение – 13,8%; модуля упругости – 8,7%. Предельные деформации уменьшились до 7,3% и 8,1% соответственно.

Системная же комплексная технология активации бетонной смеси из активированных компонентов дает повышение прочности на сжатие на 33,8%; на растяжение – 27,6%; модуля упругости – 22,1%. Предельные деформации уменьшились до 13,6% и 14,0%.

Так выявлена возможность существенно повысить характеристики бетонов за счет их системной комплексной активации; доказан синергетический эффект от системной комплексной активации; определена практическая перспективность и реализуемость предложенной технологии системной комплексной активации бетонной смеси из активированных компонентов, дающей значительный эффект за счет прироста характеристик бетона (рис.3).

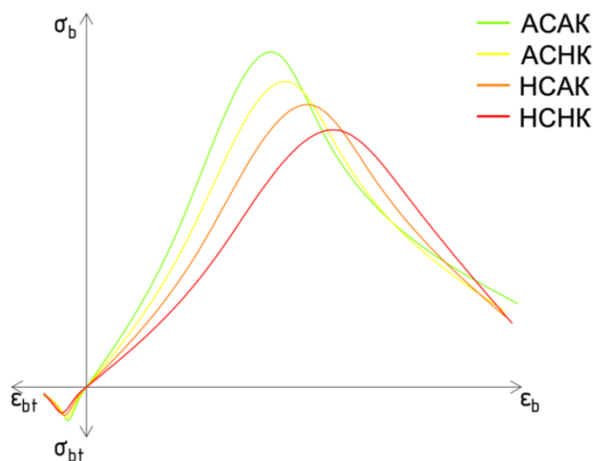


Рисунок 3 – Зависимость диаграмм « $\sigma - \epsilon$ » бетонов от технологии активации

Дифференциальные характеристики бетона. Представим сечение

элемента: А – зона анода с наиболее высокими характеристиками бетона; С – срединная зона; К – зона катода с наименьшими характеристиками.

В зоне катода прирост прочности на сжатие – до 27,1%; на растяжение – до 21,2%; модуля упругости до 16,0%, предельные деформации уменьшились до 5,8% и 4,5%. Срединная зона – по прочности на сжатие – 33,8%; на растяжение – 34,0%; по модулю упругости – 25,8%, предельные деформации до 12,7% и 12,3%. Зона анода – приросты по прочности на сжатие – до 53,8%; на растяжение до 53,1%; модуля упругости до 35,6%, предельные деформации ниже до 18,8% и 19,1% (рис.4).

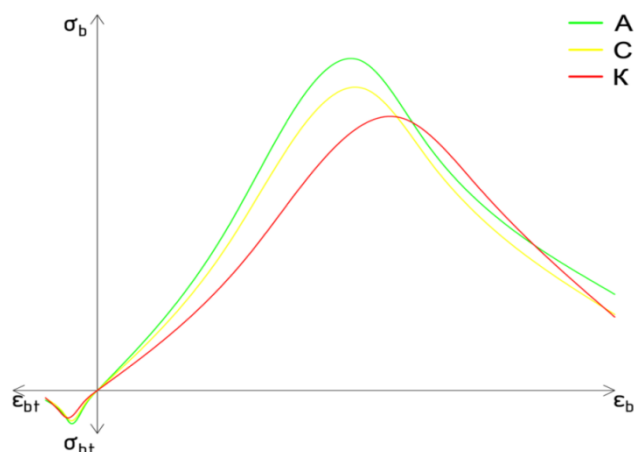


Рисунок 4 – Диаграммы деформирования в различных зонах сечения

Дифференциацию свойств по слоям вариатропного бетона по технологии системной комплексной активации можно использовать в конструкциях.

Управление свойствами бетонов рецептурными факторами

Наиболее перспективный путь повышения эффективности фибробетона – комбинирование видов заполнителя и фибр. Конструкции должны иметь в сжатой зоне – бетон с крупным заполнителем и стальной фиброй, в растянутой зоне – бетон с мелкозернистым заполнителем и неметаллической фиброй. При технологии виброцентрифугирования это становится достижимым.

Под влиянием виброцентрифугирования крупный заполнитель и стальные фибры, имеющие большую массу, перемещаются к внешней стороне опалубки, мелкозернистый заполнитель и неметаллические фибры, имеющие меньшую массу, перемещаются к внутренней стороне опалубки.

Исследованиями выявлено влияние комбинирования видов заполнителя, его размеров и видов фибр на характеристики виброцентрифугированного фибробетона и элементов из них. Разработаны расчетные рекомендации по оценке характеристик виброцентрифугированного фибробетона в зависимости от технологических и рецептурных факторов.

Выявлено также соответствие видов бетонов и фибр для оптимальных составов фибробетонов - тяжелый бетон со стальной фиброй; облегченный бетон с базальтовым волокном; легкий бетон с полипропиленовой фиброй.

Расчетная оценка влияния технологических и рецептурных факторов на характеристики бетонов комбинированных составов

В универсальных расчетных зависимостях в качестве функций примем характеристики бетона, а в качестве аргументов – силы инерции вращения, зависящие от расстояния от центра и угловой скорости вращения.

Использован метод математического планирования эксперимента, полный факторный эксперимент ПФЭ 2^k . Функции отклика: $Y_1(X_1, X_2)$, $Y_2(X_1, X_2)$ – прочности на сжатие, растяжение, МПа; $Y_3(X_1, X_2)$, $Y_4(X_1, X_2)$ – предельные деформации при сжатии, растяжении, мм/м; $Y_5(X_1, X_2)$ – модуль упругости, МПа. Методом наименьших квадратов получены уравнения регрессии:

$$Y(X_1, X_2) = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_1 \cdot X_2 + B_4 \cdot X_1^2 + B_5 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

Полученные уравнения трансформировали для определения дифференциальных характеристик слоев виброцентрифугированных бетонов.

Анализ показал хорошую сходимость разработанных теоретических рекомендаций с экспериментами.

Так произведена разработка теоретических предложений по расчетному определению характеристик виброцентрифугированных бетонов в зависимости от наиболее значимых технологических и рецептурных факторов.

**Новые методы расчета железобетонных конструкций
из вариатропных виброцентрифугированных
и активированных бетонов
на основе нормативного и диаграммного подходов**

Впервые предложена система методов расчета созданных конструкций из вариатропных и активированных бетонов.

Как диаграммный, так и нормативный расчеты прочности и деформативности с использованием дифференциальных характеристик бетона, различающихся по сечению элементов, дали абсолютно лучшие результаты.

Таким образом, учет в расчетах дифференциации характеристик вариатропного бетона приводит к значительному уточнению расчета по обеим группам предельных состояний.

В рамках диаграммного подхода предложены итерационный, приближенный и упрощенный расчеты несущей способности активированных системной комплексной активацией изгибаемых железобетонных элементов.

При активированном бетоне параметры бетона активированного железобетонного элемента изменены по сравнению с нормативным. Все это дает возможность пересчитать деформативность и трещиностойкость активированных железобетонных элементов с учетом изменяющихся характеристик бетона в результате активации.

Тем самым нами выявлены и определены скрытые, не учитываемые ранее прочностные резервы материалов и конструкций.

Внедрение, экономический и социальный эффект

Разработанные рекомендации внедрены и используются в более чем 50 строительных и 20 проектных организациях (ОАО«СевКавНИПИагропром», АО«КабБалкАгропромстрой» и др.) и в более чем в 10 федеральных и региональных нормативных документах.

Суммарный экономический эффект от внедрения – свыше 5,1 млрд.Р за счет совершенствования технологии, конструкций и расчета, повышения прочности и снижения материалоемкости. Социальный эффект – получено более 15 патентов, опубликовано 5 монографий, свыше 210 статей, в т.ч. более 110 – за рубежом.