



УДК 691.322

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНО АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ**

**Хамракулов Равшан Джабборович**  
кандидат технических наук, доцент  
Джизакский политехнический институт

Ushbu maqolada odatdagi va dispersli mustahkamlangan betonlarning mustahkamligini tadqiq qilish, deformatsiya jarayonining nochiziqligini hisobga olgan holda yoriqlardagi o'zaro ta'sir mexanizmlarini tahlil qilish masalalari ko'rib chiqiladi. Temirbetonning noan'anaviy xususiyatlarini amaliy hisob-kitoblarda inobatga olish uchun murakkab dasturlar yaratish bilan bir qatorda, uning asosiy fundamental xususiyatlarini aniqroq baholashga e'tibor qaratish zarurati yuzaga keladi.

**Kalit so'zlar:** buzilish mexanikasi, deformatsiya, yuk ko'taruvchi konstruksiyalar, nox-atolik, mustahkamlash, izotropiya, chekli va chegaraviy elementlar usullari, deformativlik, yoriqlarga chidamlilik, zo'riqlash, zo'riqlash-deformatsiya holati, yoriqlar.

В данной статье рассматривается исследование прочности обычных и дисперсно армированных бетонов с учетом нелинейности деформирования и анализ механизмов проявления взаимодействия в трещинах, чтобы учитывать нелинейных свойств железобетона в практических расчетах помимо создания более сложных программ становится необходимым уделять внимания более точной оценки основополагающих фундаментальных свойств железобетона.

**Ключевые слова:** механика разрушения, деформирование, несущие конструкции, нелинейность, армирование, изотропия, методы конечных и граничных элементов, деформативность, трещиностойкость, напряжение, напряженно деформированное состояние, трещины

This article examines the study of the strength of conventional and dispersedly reinforced concretes, taking into account the nonlinearity of deformation and analyzing the mechanisms of interaction in cracks. To consider the nonlinear properties of reinforced concrete in practical calculations, in addition to developing more complex programs, it becomes necessary to focus on a more accurate assessment of the fundamental properties of reinforced concrete.

**Keywords:** fracture mechanics, deformation, load-bearing structures, nonlinearity, reinforcement, isotropy, finite and boundary element methods, deformability, crack resistance, stress, stress-strain state, cracks.

В современном строительстве основные несущие конструкции выполняются из различных видов бетона и железобетона. Они сохраняют за собой доминирующие положения на самую далекую перспективу составляют значительную долю конструкций используемых при проектировании сооружений различного назначения: мостов, эстакад, объектов промышленно-гражданского строительства. Армирование повышая несущая способность

приводит к существенному усложненную условию работы материалов. В практических расчётах конструкции на стадии работы без трещин влияния армирования на эту связь не значительно, а свойства железобетона можно рассматривать изотропным. После трещинообразования анизотропия проявляется весьма существенно, особенно, при наличии усилия сдвига в направлении, параллельном ориентации трещин. Наиболее важной значение имеет разработка



новых методов, связанных с усложнением конструктивных форм с учётом нелинейности деформирования с малоизученными проблемами разрушения и истощения несущей способности железобетонных конструкций [1].

Большие масштабы и сложность возводимых за последние годы новых видов железобетонных сооружений влекут за собой рост неопределенности в оценке их надежности, требует значительного развития численных методов их расчёта. Бурное развитие вычислительной техники и электроники, а также новых методов открывает широкие перспективы в этом направлении. Так, для широкого класса конструкции эффективно используются методы конечных и граничных элементов (МКЭ, МГЭ), для которых разработано большое количество программ, реализующих в основном, линейные упругие свойства материалов. Для учёта нелинейных свойств железобетона в практических расчетах, помимо создания более сложных программ, становится, необходимыми уделять внимание более тесной оценкой основополагающих, фундаментальных свойств железобетона.

Методы расчета, используемые в нормативных документах разных стран, основаны преимущественно на анализе равновесия внешних нагрузок и внутренних предельных усилий в наклонных сечениях элементов. В некоторых случаях методы заменялись или дополнялись другими подходами, основанными на статистическом многофакторном анализе либо использующими различные модели аналогии. Такие модели обладают наглядностью и широко принимаются различными исследователями. Так, модификация метода фирменной аналогии, предложенной еще Мершем в начале XX века, положена в основу современных рекомендации ЕКБ-ФИП по расчету железобетонных балок на срез. Некоторые недостатки статических методов и моделей - аналогии (идеализация расчетных схем, малая информативность, отсутствие физических представлений о механизмах поведения

и.т.д.) легко устранимы при их сочетании с методом предельного равновесия. Это позволит избежать некоторых трудностей в его реализации, связанных с оценкой напряжений в бетоне и арматуре и определением внутренних усилий в элементе, включая стадию, близкую к разрушению.

Определение деформативности и трещиностойкости бетонных и железобетонных конструкций базируется на основе обычных тяжелых бетонов. Разрабатываются новые методы, новые технологии изготовления, используется огромные объемы железобетонных конструкций, но многие вопросы связанные с оценкой их жесткости несущей способности и надежности до сих пор остаются не решенными.

Реальных условиях эксплуатации даже при сравнительно низких уровнях нагрузок в бетоне развиваются трещины различной ориентации и глубины, конструкциях появляются анизотропия неоднородности деформирования. Все особенности деформирования материала можно изучается только в рамках математических моделей полученных методами механики твёрдого деформируемого тела.

Использование широкой гаммы различных бетонов и многообразия факторов влияющих на их свойства а так же воздействия сложных режимов нагружения применяемых в каждом конкретном случае методы расчета с использованием систем имперических формул и коэффициентов не имеющих общей основы перестают удовлетворять современным требованиям проектирования. Становится не возможным осмыслить адекватно отразить основные важные закономерности процессе деформирования трещинообразования и разрушения конструкции. Физические явления, сопровождающие вес период, присутствующий разрушению конструкции нуждаются в дальнейшем углубленным изучением. Необходимо развивать представление о сущности разрушения материала конструкции развивающимся во времени и имеюще-



гося свои характерные этапы. Сопротивление бетона и железобетона все еще традиционно рассматривается без учета особой роли и значения микро- и макротрещин, в значительной мере обусловливающих поведение конструкции. Это определяет актуальность исследований.

#### Цель и задачи исследования

Цель и задачи исследования является прогнозирование прочности бетона с учетом нелинейности деформирования и анализ механизмов проявления взаимодействия в трещинах и передачи усилий через трещины, чтобы учитывать нелинейных свойств железобетона в практических расчетах помимо создания более сложных программ становится необходимым уделять внимания более точной оценки основополагающих фундаментальных свойств бетона и железобетона.

Методика экспериментального определения зависимости касательных сил зацепления в трещине от соответствующих смещений её берегов позволяет оценить жесткость и прочность контактного взаимодействия в трещине; - будет получены соответствующие выражения для оценки сдвиговой жесткости и предельного сопротивления контактного взаимодействия в трещине. Выявляется, что предельное сдвиговое сопротивление может быть выражено на основе прочностного критерия либо с

помощью модифицированного критерия с установленными для каждого вида бетона константами, удовлетворяющими результатам испытаний; - реализация полученной структурно-имитационной модели контактного взаимодействия в трещине и возможность ее эффективного использования в нелинейных расчетах напряженно-деформированного состояния конструкций численными методами.

Металлический волокнистый монолит применяется в железобетонных конструкциях и сооружениях заводского изготовления. Хотя типичные размеры металлических волокон неоднородны и имеют различный, в основном используются металлические волокна различной формы: диаметр 0,2 ... 1,2 мм и длина 5 ... 12 см. Таким образом, экспериментально доказано, что диаметр используемого металлического волокна определяет трещины в композите:  $d-0.3$  имеет характеристики локальных трещин при использовании растрескававшихся металлических волокон, их размер не превышает 1-3 мм, увеличиваясь, диаметр волокон до 0,9 мм такой же [3].

В зависимости от степени адгезии металла в цементной смеси разрабатываются различные конфигурации для увеличения сцепления металлических волокон. Особенно крючковый, волнистый и тд.

Таблица 1

Сопоставление показателей разнообразных фибр

Показатели	Базальто-вая фибра	Полипропиленовая фибра	Стекловолок-нистая фибра	Металлово-локнистая фибра
Прочность на растяжения МПа	3500	150-600	1500-3500	600-1500
Диаметр волокна мкг	13-17	1025	13-15	0.5-1.2
Длина волокна мм	3.2-15.7	6-18	4.5-18	30-50
Модул упругости, МПа	75	35	75	190
Коэффициент деления %	3.2	20-150	4.5	3-4
Температура таяния С°	1450	160	860	1550
Выщелочивания и стойкость на коррозию	Высокая	Высокая	Только выщелочивание волокна	низкая
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2.60	0.91	2.60	7.80



Фибробетон состоит из двух однородных материалов, свойства которых отличаются от сформированных отдельно. ДВП воспринимает растягивающее

напряжение в фибробетоне. Волокна укрепляют углы и стороны бетонной конструкции, уменьшая провисание бетона и появление трещин [4].

**Таблица 2**

**Волокна укрепляют углы и стороны бетонной конструкции, уменьшая провисание бетона и появление трещин**

Фибра	Плотность г/см <sup>3</sup>	Модуль, упругости МПа	Прочность на растяжения МПа	Растяжимость %
Полипропилен	0.9	3500 - 8000	400 - 700	10-25
Полиамид	0.9	1900 - 2000	720 - 750	24-25
Полиэтилен	0.95	1400 - 4200	600 - 720	10-12
Акрил	1.1	2100-2150	210-420	25-45
Нейлон	1.1	4200 - 4500	770 - 840	16-20
Очень прочная вискоза	1.2	5600 - 5800	660 - 700	14- 16
Полестер	1.4	8400 - 8600	730 - 780	11 - 13
Хлопок	1.5	4900-5100	420 - 700	3 - 10
Карбоновое волокно	1.63	280,000 - 380,000	1200-4000	2.0-2.2
Карбон	2.00	200,000 - 250,000	2000 3500	1.0- 1.6
Стекло	2.60	7000 - 8000	1800 -3850	1.5 -3.5
Фибра	2.60	68,000 - 70,000	910-3100	0,6 - 0,7
Базальт	2.60 - 2.70	7,000- 11,000	1600-3200	1.4-3.6
Металл	7.80	190,000-210,000 *	600-3150	3-4

Известно, что в последние годы в гидротехнических сооружениях и дорожном строительстве страны используются высокопрочные бетонные и железобетонные конструкции. Дисперсное армирование металлической стружкой широко применяется, особенно при производстве мелкозернистого бетона [7].

Для повышения трещиностойкости, прочности на удлинение и абразивной стойкости мелкозернистого бетона в конструкцию добавляют волокнистые фибра, которые действуют как дисперсная арматура.

Игольчатая структура армированных частиц связывает частицы цемента и песка вместе, образуя прочный

каркас между мелкими заполнителями. Таким образом, размер прочно склеенного каркаса практически не меняется и не теряет прочности.

Волокна особенно эффективны при армировании тонкостенных конструкций из мелкозернистого железобетона. Это позволяет сэкономить на фурнитуре из драгоценных металлов и т.д. Металлические волокна могут использоваться непосредственно при строительстве отливок и при производстве сборных железобетонных конструкций.

Металлическую фибру добавляют в среднем 70 ... 200 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси (3 ... 9% по массе). Когда бетон дисперсно-армирован металлическими волокнами, его деградация происходит медленно. Трещины в бетоне возникают



при гораздо более высоких деформациях, чем в обычном бетоне. Волокна образуют внутренний каркас бетонной конструкции, обеспечивая ее сопротивление растяжению [8].

Мелкозернистые фибрабетоны обладают более высокой прочностью на растяжение, изгиб, сдвиг, растрескивание, усталость и т. д., чем обычный тяжелый бетон или железобетон с металлической арматурой, характеризуется высокими свойствами, такими как прочность, трещиностойкость, гидроизоляция, хладостойкость, жаростойкость и огнестойкость. Перед непосредственной заливкой бетона волокно смешивается, т.е. смесь производится прямо или косвенно на бетонном заводе, что является технологически оптимальным [5].

#### Результаты исследования

Процессы подготовки и испытания образцов простого и мелкозернистого

$$A_i = a_{20} + .. a$$

$$A_{20} = 36\%; A_{10} = 80\%; A_5 = 100\%;$$

Пористость щебня определялась по следующей формуле:

$$P_6 = \left(1 - \frac{p_m}{p}\right) * 100\% = \left(1 - \frac{1680}{2700}\right) * 100 = 38\%$$

Влажность щебня определялась следующим образом:

$$W_n = \left(\frac{m_b - m_c}{m_c}\right) * 100\% = \frac{2400 - 2350}{2350} * 100 = 2.13\%$$

Вода для бетона. Для приготовления бетонной смеси обычно используется питьевая вода. Кроме того, для бетонных смесей можно использовать проточную воду с водородным индексом  $pH > 4$  и

стекловолокна с дисперсным армированием проводились в аккредитованной лаборатории «Испытания строительных изделий» Джизакского политехнического института. Лабораторные испытания портландцемента, входящего в состав компании «Джизак Цемент» показали его физико-механические свойства.

Прочность бетона, обычно используемого для гидротехнических сооружений и дорожных покрытий, должна быть не менее 20, 25 МПа в зависимости от категории дороги, а морозостойкость - не менее МР3150. Коэффициент вариации модуля крупности песка не должен превышать 10% для бетонов, используемых для гидротехнических сооружений. Поэтому рекомендуется добавлять отходы волокна, чтобы обеспечить заданную прочность без изменения расхода цемента. Общее остаточное количество щебня определяли по следующей формуле:

растворы различных солей, не превышающие требуемых нормативов. Количество солей в воде не должно превышать 5000 мг/л [8]. Наиболее важным элементом технологии, определяющим эффективность волокна, является выбор металлического волокна. В настоящее время освоено производство металлических волокон (20 видов).



Таблица 3

**В настоящее время освоено производство металлических волокон**

Степень мягкости %	Водопоглощаемость %	Время схватывания час-мин.		Прочность МПа		Плотность г/см <sup>3</sup>		Тонкость помола, см <sup>2</sup> /г
		Начало мин.	Конец час	При изгибе	При сжатии	Фактическая	Насыпная	
9,4	25,5	45	2	5,45	39,3	2,95	1,75	3200

Сравнительные характеристики дисперсного армированного мелкозернистого бетона с добавками 2-3%, 5%, 7% фибры. Из них был выбран 5% фибробетон.

Из Таблиц 3.1-3.2 выше и состава 1, прочность тяжелого бетона через 7, 28, 60 и 90 дней составляет 7,9, соответственно; 14,9; 15,1; и 15,16 МПа. При этом прочность тяжелого бетона на 7, 28, 60 и 90 сутки с добавлением 5% фибры к тому же составу (второй состав) составила 9,3 соответственно; 18,0; 18,01 и 18,49 МПа соответственно. То есть прочность бетона с добавлением 5% фибры увеличивается на 22 ... 25% по сравнению с обычным бетоном. Это означает, что стекловолокно может быть более эффективным, особенно для тяжелых бетонов, при использовании его в качестве дисперсной арматуры. В структуре дисперсного армированного мелкозернистого бетона присутствуют усадочные и технологические микро и макропоры, пустоты, микротрещины и

микроканалы, которые негативно влияют на прочность, плотность и эксплуатационные свойства бетона. Бетон на основе плотных заполнителей имеет пористость 5-10%. Частичное или полное заполнение этой пористости волокнистыми волокнами улучшает свойства бетона.

«Класс» бетона используется в расчетах как характеристика качества бетона с точки зрения прочности. Классом бетона считается способность выдерживать прочность на сжатие, определенную на 28-й день, при 95% покрытия бетонного куба с размерами 15x15x15 см по краям. Разница между маркой и классом бетона характеризуется обеспечением приемлемой величины сопротивления. Обеспечение сопротивления для данной марки бетона составляет 50% (т. е. Приемлемо среднестатистическое значение сопротивления).

$$B = R_m(1 - 1.64 - C_v)(1)$$

$C_v = 0,135$  коэффициент вариации.

На основании полученных выше экспериментальных результатов определяем марку бетона (28-суточную) для полученных составов. Табл. 3.1-3.2 показывает, что 28-дневная прочность ку-

бов размером 10x10 см составляет  $R_{m1} = 14,9$  МПа для первого состава;  $R_{m2} = 18,1$  МПа для второго содержимого; Прочности составов (через коэффициент перехода  $\alpha = 0,95$ ) следующие.

$$R_{m1} = 14,9 \cdot 0,95 = 14,1 \text{ МПа} \quad R_{m2} = 18,1 \cdot 0,95 = 17,9 \text{ МПа}$$



Определяем классы бетона для двух полученных составов. Для этого определяют среднеквадратичный предел прочности бетона  $d$  и значения коэффициента изменчивости прочности  $C_v$  (таблица 3.3). Определяем классы бетона для двух полученных составов. Для этого определяют среднеквадратичный предел прочности бетона  $d$  и значения коэффициента изменчивости прочности  $C_v$  (таблица 3.3).

Согласно Таблице 3.3 ниже, прочность на сжатие бетона для первого состава составляет 14,76 МПа. Так что этот класс соответствует В15. По прочности второй состав соответствует бетону с классом 18,1 МПа, В20.

Стеклопластиковый бетон обеспечивает основу для долговременной консервации гидротехнических сооружений и водопроводных труб в полном объеме.

Дисперсное армирование металлической стружкой демонстрирует целенаправленный контроль образования, прочности системы мелкозернистого бетона позволяет получать фибробетоны с высокими физико-механическими свойствами.

Использование фибробетона при строительстве гидротехнических сооружений и покрытий аэродромов увеличивает их долговечность, обеспечивает прочность и долговечность, открывает возможность широкого использования промышленных отходов (вторичного металлолома). Фибробетон обладает высокой прочностью на растяжение и изгиб, что обеспечивает первоначальную форму конструкции без деформации.

### Выводы

Конструкции из фибробетона сохраняют свой внешний вид несколько десятилетий. По результатам исследования прочностных и деформационных свойств мелкозернистого бетона с кварцевым песком и дисперсной арматурой на основе 5% фибры были сделаны следующие общие выводы:

1. Портландцемент компании «Джизакцемент» использовался в каче-

стве вяжущего для приготовления бетонных смесей и образцов бетона. Определены минералого-химический состав этого цемента, а также его основные физико-механические свойства (таблица 2.2). Его прочность на сжатие  $R_b$  - 39,3 МПа, прочность на изгиб  $R_i$  = 5,45 МПа, время удерживания 45 минут начало, конец 2 часа, фактическая плотность  $\gamma = 2,95$  г / см<sup>3</sup>, плотность ворса  $m = 1750$  кг / м<sup>3</sup>, поверхность удара, 3200 см<sup>2</sup> / г., степень мягкости 9,4%, водопотребность 27,5%.

2. В качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок из песчаного карьера Джума Самаркандской области. Его основные характеристики приведены в таблицах 2.3 и 2.4. Цвет песка белый, желтоватый, с зернистостью 0,16 + 2,5 мм, модуль тяжести  $M_u < 2,25$  относится к категории песков мелкозернистых. Состав состоит в основном из комбинации минералов, таких как кварц, кальций, полевой шпат. Его фактическая плотность  $\gamma = 2,58$  г / см<sup>3</sup>, плотность резьбы  $\rho = 1440$  кг / м<sup>3</sup>, пористость 44%, влажность 4%, водопотребность 10%, удельная поверхность 33 м<sup>2</sup> / кг, средний размер, твердость 0,30, вредные соединения и компоненты 1 %, без органических соединений. Внешний вид песчинок сферический, угловатый, плоскоугольный и х. к.

3. 5% кварцевого песка, использованного в качестве наполнителя, было заменено добавлением фибровыми волокнами.

4. Из приведенных выше результатов можно сделать вывод, что прочность 28, 60 и 90 суток дисперсного армированного мелкозернистого бетона на основе 5% волоконного волокна до 20% выше прочности того же бетона из кварцевого песка. Это означает, что волокнистые волокна могут быть более эффективными при использовании в качестве мелкозернистого заполнителя, особенно для мелкозернистых бетонов.

5. Между кубической и призматической прочностью мелкозернистого кварцевого песка существует правиль-



## Список литературы

ная пропорциональная зависимость, которая определяется следующей эмпирической формулой:  $R_b = (0,77-0,001) \cdot R_b$ , или  $R_b = 0,75 R$  Переход от класса бетона к его прочности определяется  $V = 0,778 R_b$  или  $R_b = V / 0,778$  при коэффициенте изменчивости  $S_y = 0,135$

6. Призматическая прочность обычного тяжелого бетона через 28, 60 и 90 дней составляет 15,5; 19,3 и 19,7 МПа соответственно. Прочность мелкозернистого бетона аналогичного состава с 3% дисперсной арматуры

на основе фибры составляет 23,2; Были 27,2 и 27,2 МПа соответственно. То есть было замечено, что увеличение прочности составило до 20%.

7. Можно сделать вывод, что при введении волоконных волокон в мелкозернистый бетон из кварцевого песка в качестве наполнителя его прочностные и деформационные свойства значительно повышаются. В этом случае волокнистые волокна благодаря своей волокнистой структуре объединяют связь между цементом и наполнителями, образуя взаимно прочный каркас.

Такое эффективное воздействие фиброволокна играет важную роль при расчете прочности и деформации мелкозернистого бетона кварцевым песком. В частности, при такой же прочности можно сэкономить расход цемента или создать эффективные конструкции.

1. Ашрабов А.А. Новые методы и модели в механике железобетоне. Тошкент: Адабиёт учкунлари, 2014, 320 стр.

2. Баженов Ю.М. Технология бетона. АСВ. 2007. Москва.

3. Васильовская Н.Г., Енджиевская И.Г., Калугин И.Г. «Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй». Вестник ТГАСУ № 3, 2011.

4. Низина Т.А. Дисперсно-армированные мелкозернистые бетоны с полифункциональными модифицирующими добавками. Инженерно-строительный журнал. 2017., -№ 4 (72). –С. 73-83.

5. Низина Т.А. Оптимизация составов многокомпонентных мелкозернистых фибра бетонов, модифицированных на различных масштабных уровнях. Нано технологии в строительстве. – 2017. –том. 9, № 2. – С. 43-65.

6. Михеев Н.М. К вопросу о классификации стальных фибр для дисперсного армирования бетонов. Бетон и железобетон. 2003. - № 2. – С. 9-11.

7. Талантова К.В. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных конструкций для дорожного строительства. Бетон и железобетон. -2002. - № 3. –С. 6-8

8. Рабинович Ф.А. Дисперсно – армированные бетоны. М: Стройиздат, 1989. – 176 с.

9. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов // Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. – М.: Изд-во АСВ, 2004. -560 стр.