

## К РАСЧЕТУ ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ СОВМЕСТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ КРУЧЕНИЯ С ИЗГИБОМ

Морозов В.И., Бахотский И.В.

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт – Петербург, Россия (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4)*

---

В работе рассматриваются этапы развития фиброжелезобетона, а также его основные свойства - несущая способность, трещиностойкость, ударная прочность. Составлен теоретический анализ существующих методов расчета фиброжелезобетона и железобетона. Рассмотрен один из трудоемких и малоизученных расчетов на кручение железобетонных элементов. В статье приведен сравнительный анализ существующих методов расчета на кручение и рассматриваются предпосылки для более эффективного расчета по несущей способности железобетонных и фиброжелезобетонных конструкций. На основании выполненного анализа автор доказывает образование не плоского геометрически сложного пространственного сечения не учтенного в существующих нормативных расчетах по несущей способности железобетонных конструкций, подверженных кручению с изгибом.

---

Ключевые слова: фибробетон, железобетон, кручение, изгиб.

## CALCULATION FIBRE-REINFORCED STRUCTURES SUBJECT TO JOINT EFFECT OF TORSION OF THE BEND

Morozov V.I., Bakhotskiy I.V.

*Saint-Petersburg State University of architecture and civil engineering, Saint-Petersburg, Russia (190005, Saint-Petersburg, street 2-Krasnoarmeyskaya, 4)*

---

In this paper fibre-reinforced concrete stages of development , as well as its basic properties - bearing capacity, fracture toughness , impact strength . Compiled by theoretical analysis of existing methods of calculation fibre-reinforced concrete and reinforced concrete. Considered one of the little-known and time-consuming calculations of the torsion of reinforced concrete elements. The paper presents a comparative analysis of methods for calculating the torsional and are considered prerequisites for a more efficient settlement of the bearing capacity of reinforced concrete structures and fibre-reinforced concrete. On the basis of the analysis the author shows the formation of geometrically complex than a flat spatial section is not considered in the existing regulatory calculations of bearing capacity of reinforced concrete structures subjected to torsional bending.

---

Keywords: fibre-reinforced concrete, reinforced concrete, torsion, bend.

### Введение

Преимущества бетона перед другими строительными материалами способствует быстрому и широкому его применению в мировой строительной практике. Бетон в строительной практике уже давно заслужил звание “хлеба” строительства, однако сложная композитная структура бетона, зависящая от различных факторов (условия твердения, наличие пор и дефектов, водоцементное отношение, состав заполнителей и т.д.), связана с постоянной необходимостью изучения и уточнения свойств бетона.

Необходимо отметить, что бетон является уникальным строительным материалом с огромным разнообразием свойств. Бетон успешно применяется в различных климатических зонах, а также способен воспринимать агрессивное воздействие окружающей среды, например температурные перепады, воздействие агрессивных вод, радиационное воздействие и т.д.

Кроме того, бетон обладает практически не иссекаемой сырьевой базой, относительно низкой стоимостью и простотой изготовления.

В современном мире наблюдается тенденция к увеличению этажности зданий а также необходимостью разработки более прочных и долговечных строительных конструкций, кроме того на первый план выходит удешевление конструкций без нанесения вреда их несущей способности. Одним из способов повышения несущей способности строительных конструкций является дисперсное армирование железобетонных элементов – стальной фиброй.

Фибробетон – новейший строительный материал, не совсем верное утверждение. В Древнем Египте при строительстве жилья в глину подмешивали солому, шерсть, что придавало стенам дополнительную прочность и трещиностойкость. Такой материал называли саманом и его можно назвать предком фибробетона.

Область применения фибробетона весьма широка. Бетон, армированный стальной фиброй, идеален для заливки промышленных полов, облицовки тоннелей, строительства резервуаров большого размера. Из фибробетона можно отливать прочные шпалы, фундаменты под оборудование ударного и динамического действия, монолитные и сборные покрытия дорог, настилы мостов, берегозащитные элементы. Плиты из фибробетона хорошо зарекомендовали себя в дорожном строительстве. Так, их применение в качестве несъемной опалубки при сооружении мостов позволяет значительно ускорить и упростить процедуру заливки конструкций. Этот метод использовался при строительстве вантового моста через р. Неву в Петербурге. Опалубка, изготовленная из фибробетона, может служить опорным элементом для плит мостового настила разной толщины и разной пролетной длины между главными балочными фермами. При этом благодаря своей отличной совместимости с бетоном она является составной частью монолитной бетонной конструкции.

В домостроении фибробетон может с успехом заменять привычный бетон, а также использоваться там, где последний по своим прочностным характеристикам не удовлетворяет решению поставленных задач.

Русский инженер В. П. Некрасов в 1907 году заметил, что добавление в бетон металлических волокон повышает прочность бетона, а в 1909 году Некрасов В.П. получил патент на сталефибробетонную конструкцию. Уже позднее в 1918 году француз Альфсен также предложил армировать бетон стальными волокнами.

Особое развитие в 20 веке фибробетон приобрел в Японии. В рамках японской ассоциации по цементу в 1960 году был учрежден комитет по изучению фибробетона. С начала 1970-х годов исследования приняли систематический характер и были нацелены на практическое применение фибробетона.

Первое масштабное практическое применение фибробетона в России можно датировать 1976 годом, когда его впервые использовали для строительства взлетно-посадочной полосы. Но в то время данный материал не получил широко применения в нашей стране, так как технология производства фибробетона и сама фибра на тот момент были несовершенны.

Фиброжелезобетон позволяет повысить не только несущую способность железобетонных элементов, но и обладает следующими уникальными свойствами: повышается прочность на растяжение, увеличивается предельная сжимаемость, повышается трещиностойкость, ударопрочность и т.д. Дисперсное армирование железобетона стальными волокнами позволяет уменьшить продольное и поперечное армирование железобетонных элементов, что в итоге приводит к экономии материалов.

Фибробетоны можно выделить как самостоятельную и весьма ценную группу композиционных материалов, обладающих присущими только им свойствами и структурой. При производстве фибробетона на первый план выходит задача равномерного распределения волокна во всем объеме бетонной смеси (бетонной матрицы). Для этого производители используют специальное оборудование, в основе работы которого лежит электромагнит, который в процессе приготовления фибробетонной смеси как бы «растягивает» волокно по всему объему смеси. В условиях стройплощадки без специального оборудования распределить волокно по всему объему гораздо сложнее.

Одним из главных достоинств фибробетона является повышение прочности фибробетона при растяжении, а также повышение трещиностойкости конструкций.

Благодаря отличной гидратации ударная прочность фибробетона гораздо выше, чем у бетона. Также армированный волокном бетон устойчив ко многим химическим веществам и воздействию низких температур. В заключение можно сказать, что фибробетон молодой, но весьма перспективный строительный материал, который с успехом используют и производят более чем в 100 странах всего мира. С каждым годом этот материал находит все новые области применения. В России опыт применения фибробетонов и объем его производства невелики, но мировой практический опыт, несомненно, сделает вклад в развитие этого перспективного материала в нашей стране [3, 5, 6].

Ускорение технического прогресса может быть достигнуто в результате практической реализации теоретических положений и разработок, доведенных до инженерных решений. Для снижения материалоемкости железобетонных конструкций необходимо изучение процессов происходящих в железобетоне, а также их математическое и теоретическое описание. Важно отметить, что одним из неизученных процессов в фиброжелезобетоне

является кручение. В чистом виде кручение встречается достаточно редко, чаще всего оно сопровождается изгибом конструкции.

В любом конструктивном элементе, работающем на изгиб, возникает кручение за счет случайного эксцентриситета, обусловленного асимметрией сечения, неоднородностью материалов и т.д. В этих случаях значение крутящего момента невелико и оно может быть не решающим при разрушении. Однако существует целый класс конструкций, в которых учет кручения при расчетах может привести к конструктивным неполадкам и авариям, а также к неверному представлению картины распределения усилий в системе. Обследованиями, проведенными в США и Канаде Ассоциацией портландцемента, выявлено несколько случаев аварий, связанных с кручением.

К конструкциям, в которых кручение существенно, относятся контурные балки зданий с монолитным каркасом, балки крайних пролетов, балки с консолями, опоры линий электропередач и т.д. В настоящее время существует более десятка предложений по оценке прочности железобетона при воздействии кручения. Наиболее прогрессивные методы и предложения, как правило, включаются в нормы. Тем не менее, в действующих нормативных документах по железобетонным конструкциям имеется ряд положений, касающихся оценки прочности при наличии кручения, не всегда согласующихся с реальной работой железобетона в стадии образования трещин и разрушения. Что же касается работы фиброжелезобетонных элементов, т.е. имеющих помимо регулярной стержневой или проволочной арматуры еще и дисперсное армирование в виде фибрового, то рекомендации по расчету отсутствуют вовсе [4].

В статье А.С.Залесова [1] определена общая схема разрушения (рис.1.), а также расчетные уравнения равновесия для расчета по прочности пространственных сечений железобетонных элементов подверженных воздействию кручения с изгибом. Уравнения равновесия, предложенные А.С.Залесовым, учитывают осевые усилия в поперечной арматуре, расположенной у боковых граней железобетонного элемента, однако геометрически сложную “поверхность разрушения” А.С.Залесов заменяет упрощенным диагональным, плоским сечением. Диагональное, плоское сечение, предложенное А.С.Залесовым не всегда находит подтверждение в натуральных экспериментах.

Профессором А.А. Гвоздевым совместно с к.т.н. Н.Н. Лессиг разработана методика расчета [2] несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения, работающих на изгиб с кручением на основе сложного неплоского сечения разрушения (рис.2.). Натурные эксперименты проведенные Н.Н. Лессиг совместно с инж. Л.Ф. Касьяновой (1948 – 1949 гг.) а также с инж. Ю.В. Чиненковым и И.М. Лялиным (1953 – 1956 гг.) подтверждают предположение об образовании геометрически сложной, неплоской

поверхности разрушения образованной спиральной трещиной развивающейся по трем граням элемента с замыкающей ее сжатой зоной по четвертой грани.

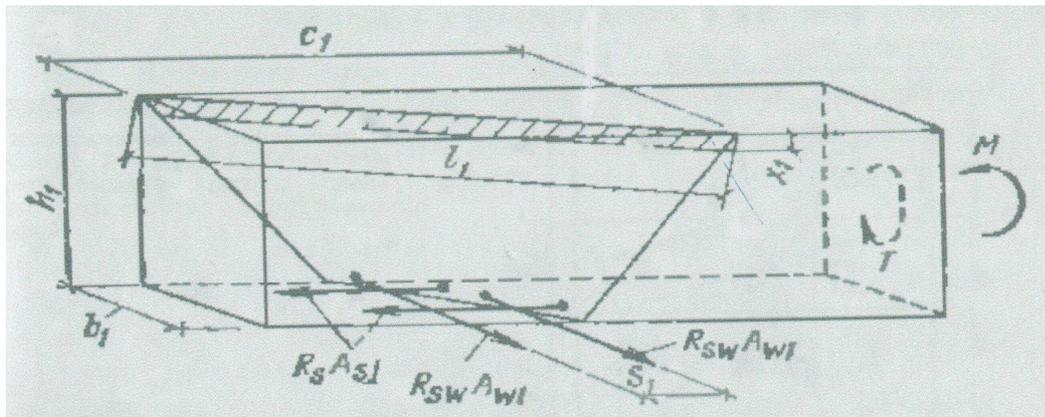


Рис.1. Расчетная схема пространственного сечения.

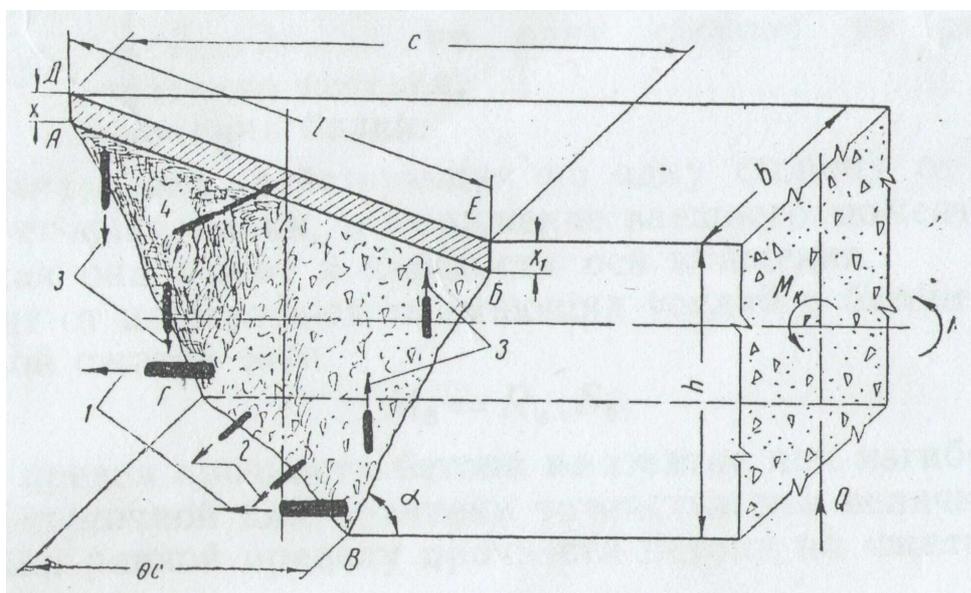


Рис.2. Схема расположения внутренних усилий в сечении железобетонной балки при разрушении ее от совместного действия кручения и изгиба (1 – растягивающие усилия в продольных стержнях; 2 – усилия в горизонтальных поперечных стержнях; 3 – усилия в вертикальных поперечных стержнях; 4 – равнодействующая нормальных сжимающих усилий в бетоне сжатой зоны).

На основании представленных исследований, посвященных работе железобетона при совместном воздействии кручения с изгибом, необходимо выделить исследования проведенные профессором Гвоздевым А. А. совместно с к. т. н. Лессиг. Расчетная модель, а также практический метод расчета, предложенный Гвоздевым – Лессиг наиболее полно отражает действительную модель разрушения железобетонной балки при совместном воздействии кручения с изгибом. Образование не плоского геометрически сложного пространственного сечения образованного спиральной трещиной развивающейся по трем граням элемента с замыкающей ее сжатой зоной по четвертой грани подтверждается целым

рядом экспериментов. Кроме того, практический метод расчета представленный Гвоздевым – Лессиг находит подтверждение в натуральных экспериментах. Таким образом, можно предположить, что фиброжелезобетонный элемент также разрушается по пространственному сечению.

### Список литературы

1. Залесов А.С. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям./ Залесов А.С., Кодыш Э.Н., Лемыш Л.Л., Никитин И.К.// – М. Стройиздат., 1988 г. – 120 с.
2. Лессиг Н.Н. Определение несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения, работающих на изгиб с кручением//Сборник трудов НИИЖБ. Выпуск 5. – М., 1959 г.– 180 с.
3. Пухаренко Ю. В. О вязкости разрушения фибробетона / Ю.В. Пухаренко, В.Ю. Голубев // Вестник гражданских инженеров №3(16). – СПбГАСУ.,2008. — С. 80-83.
4. СП 52 – 104 – 2006 «Сталефибробетонные конструкции». – 73 с.
5. Хегай А.О. Исследования фиброжелезобетонных колон с высокопрочной арматурой / В.И. Морозов, А.О. Хегай // Вестник гражданских инженеров №3(28). – СПбГАСУ.,2011. — С. 34-37.
6. Morozov V. and J. Pucharenko, Nuclear Reactor Shells of Heavy Ferrocoment. World Applied Sciences Journak 23 (Problems of Architecture and Construction), 2013.23.Pac. 90007, pp: 31-36.

### Рецензенты:

Пухаренко Ю.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Строительных материалов и технологий» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Егоров В. В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения», г. Санкт-Петербург.