

УДК 624.02.86
Б.С. Соколов

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ СЖАТИЮ

В 1990 г. впервые в истории кафедры железобетонных и каменных конструкций КИСИ была защищена докторская диссертация [1], из названия которой следует, что она посвящена исследованию балок-стенок.

При строительстве зданий и сооружений используются балки-стенки различных конструктивных решений (рис.1):

- одно- и многопролетные;
- глухие и с отверстиями;
- сплошные и составные;
- в виде горизонтальных и вертикальных диафрагм;
- с различными контурными условиями;
- выполняющие роль связей сдвига (перемычки) и др.

Многообразие конструктивных форм балок-стенок потребовало разработки методологии научного поиска решения проблемы (рис.2) для достижения поставленной цели создания методики расчета балок-стенок на основе единого подхода к оценке прочности и трещиностойкости. Основными этапами исследований являлись:

- проведение численных исследований по изучению напряженно-деформированного состояния разных решений конструкций;
- выполнение физических экспериментов;
- разработка общего подхода к расчету, отражающего основные закономерности в работе балок-стенок различных конструктивных решений;

- создание частных методик расчета, учитывающих конструктивные особенности балок-стенок.

Численные исследования выполнялись начиная с 1974 г., с использованием существующих вычислительных комплексов для ЭВМ типа ЕС (Стресс, Экспресс и др.), затем для ПЭВМ (Лира, Мираж, Scad и др.). Программами численных экспериментов предусматривалось варьирование большого числа факторов с определением, после анализа напряженно-деформированного состояния, наиболее значимых. В каждом случае конструкция доводилась до виртуального разрушения введением в зоны максимальных напряжений микрощелей, имитирующих трещины в бетоне. Зоны разрушения определялись по критериям прочности в зависимости от напряженного состояния. Численные исследования способствовали эффективному планированию физических экспериментов.

Физические эксперименты проводились на геометрически и физически подобных натуре образцах, с использованием современных способов изучения напряженно-деформированного состояния, в т.ч. оптически чувствительных покрытий (совместно с МИСИ и НИИЖБ), и на натурных панелях при внедрении крупнопанельных жилых домов типовых серий 121, 125 и 90 в г. Казани.

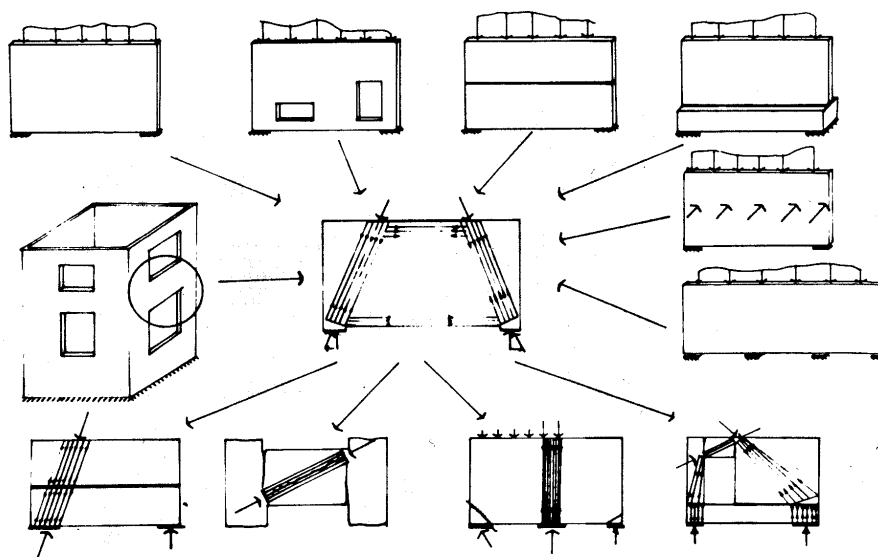


Рис.1.

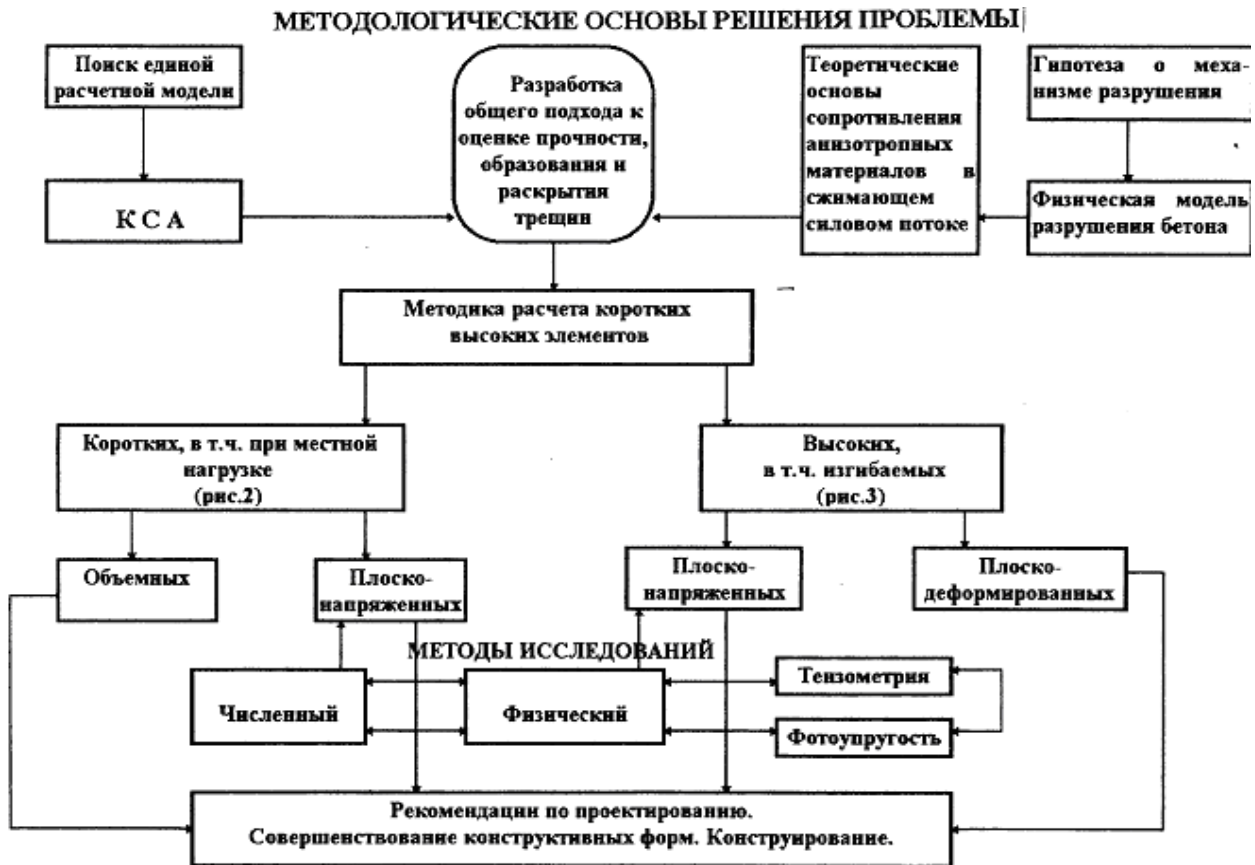


Рис.2

Результаты численных исследований и опытов, их анализ позволили выявить общую закономерность в работе балок-стенок различных конструктивных форм, заключающуюся в том, что перед разрушением они превращаются в распорные системы. В таких системах достаточно четко выделяются основные ее элементы: сжатые, по которым проходят сжимающие силовые потоки, растянутые, по которым проходят растягивающие потоки, и узлы, в которых сходятся сжатые и растянутые потоки.

Распорные системы, моделирующие работу разных конструкций, на прошедшей в г. Казани конференции [2] названы каркасно-стержневыми аналогами (КСА) и рекомендованы для оценки прочности разнообразных элементов и конструкций (рис.1, 3 и др.), объединенных в класс коротких высоких.

Подход к расчету перечисленных конструкций широко используется зарубежными и отечественными учеными и включен в нормативные документы (кодексы) в ряде стран.

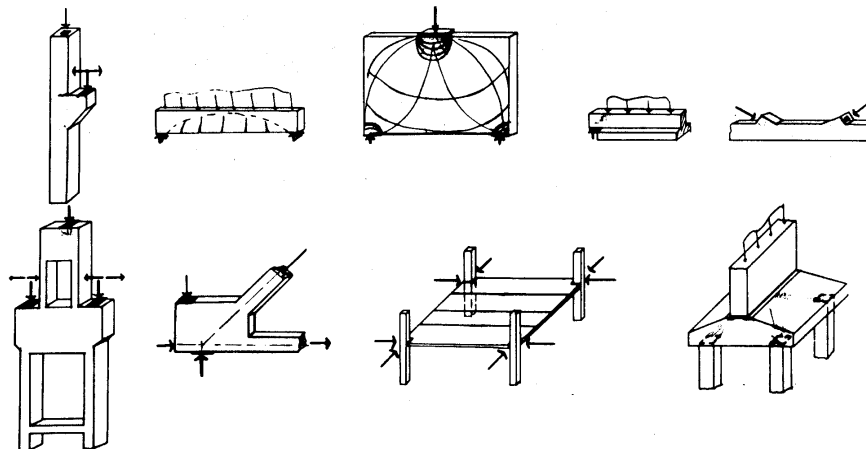


Рис.3



Узлы КСА шарнирные. Поэтому по КСА легко определяются осевые усилия, действующие на элементы системы, по которым производится оценка прочности или подбор сечения ее элементов. Как правило, при расчете сжатых элементов используется расчетное сопротивление бетона сжатию с введением эмпирических коэффициентов, сближающих расчетные и опытные данные. Однако такой подход, во-первых, не отражает действительной работы материала в сжимающем силовом потоке, во-вторых, не может быть использован для оценки прочности узлов системы и оценки сопротивления трещинообразованию.

В [1] предложен принципиально отличающийся от существующих подход к оценке прочности бетона при сжатии и базирующийся на физической модели разрушения. При ее разработке была выдвинута рабочая гипотеза, заключающаяся в следующем. Под грузовыми площадками, передающими на элемент нагрузки, образуются уплотнения в виде клиньев, под действием которых происходит разрушение от преодоления сопротивления отрыву и раздавливанию с последующим сдвигом вдоль граней клиньев. При рассмотрении вертикального сжимающего силового потока определены геометрические, физические и статические характеристики модели и на их основе получено условие прочности:

Разрушению предшествует стадия сопротивления бетона образованию и раскрытию трещин. В [3] получены аналитические выражения по оценке работы бетонных и железобетонных элементов на всех

$$N \leq N_u = (N_{bt} \cos \alpha + N_{sh}) / \sin \alpha + N_{ef} . \quad (1)$$

характерных стадиях напряженно-деформированного состояния, т.е. были созданы теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии. Это позволило оценить прочность сжатых элементов и узлов КСА, их сопротивление всем возможным случаям разрушения от отрыва, сдвига и раздавливания. Была решена поставленная в исследованиях цель, заключающаяся в разработке единого подхода к оценке прочности и трещиностойкости балок-стенок. Учет различных конструктивных решений и форм рассматриваемых конструкций позволил создать частные методики их расчета [4, 5 и др.]. Созданная теория использована для разработки методики расчета плоских элементов при действии местной нагрузки и в модифицированном виде для объемных элементов из тяжелых, легких и ячеистых бетонов [6, 7].

Исследованиям прочности бетона при локальном приложении нагрузки уделяется большое внимание, т.к. по такой схеме работают весьма ответственные элементы зданий – стыки контактные, платформенные, комбинированные.

Только в [8] опубликовано более 500 результатов испытаний опытных образцов, отличающихся прочностью бетона, формой и размерами грузовых площадок, схемой приложения нагрузок и др., из которых заметна тенденция увеличения прочности бетона по мере уменьшения соотношения рабочей площади к площади поперечного сечения образца. Ни один из приведенных в [9] подходов, также как и формулы отечественных норм, не дают физического объяснения этому явлению. По модели разрушения это явление можно увидеть наглядно. В соответствии с ней в сжимающем силовом потоке образуются две зоны: зона сжатия-сжатия непосредственно под грузовыми площадками и зона сжатия-растяжения между ними. Известно, что прочность бетона, работающего в условиях сжатия-сжатия, выше, чем находящегося в области сжатия-растяжения. Поэтому разрушение в сжимающем силовом потоке начинается с области сжатия-растяжения. Для этого случая получено условие (1). Однако вероятность такого случая уменьшается с увеличением высоты элемента и размеров грузовой площадки, что вызвано уменьшением высоты растянутой зоны. При этом увеличивается вероятность разрушения в области сжатия-сжатия от раздавливания (смятия) бетона. Для оценки прочности бетона в этой области в [9] использованы известные критерии прочности, а в [7] разработана методика расчета на основе многоклинчатой модели. Сравнение результатов расчетов с опытными данными [8] показало, во-первых, удовлетворительную сходимость результатов, во-вторых, границу применимости предложенных расчетных выражений. При отношении меньшего размера грузовой площадки к высоте элемента более 0.3 разрушение происходит по 1-му случаю по сжато-растянутой области; при отношении меньше 0.3 по второму случаю – в области сжатия-сжатия. Представленные решения принципиально важны для конструирования при косвенном армировании. В первом случае разрушение сетки косвенного армирования следует размещать в сжато-растянутой зоне, во втором – на высоте сжатой зоны.

На основе модели разрушения рассмотрен расчет контактных стыков в [10]. Исследования платформенных и комбинированных стыков продолжают. Проведены численные и физические эксперименты, показавшие перспективность использования теории сопротивления для расчета основных элементов новой каркасно-панельной несущей системы [11], что будет способствовать ее внедрению в реальные проекты при строительстве и реконструкции зданий.

Каменная кладка относится по своим механическим свойствам к анизотропным материалам. Поэтому сделана попытка использовать модель разрушения для оценки прочности кладок и получены положительные результаты. Анализ существующих в литературе опытных данных позволил уточнить геометрические



параметры модели разрушения и разработать предложения по оценке прочности кладок на сжатие, которые, по сравнению с расчетом по действующему СНиП, дают близкое совпадение с опытными данными. В течение 2-х лет проведены исследования каменных кладок с поперечным сетчатым армированием, позволившие получить новые данные, необходимые для разработки методики их расчета. В дальнейшем предполагается продолжить исследования каменных кладок из камней, изготовленных из новых материалов, с использованием современных технологий и разработать методику их расчета. Основой предлагаемых подходов к расчету является теория сопротивления анизотропных материалов сжатию, и этим она принципиально отличается от существующих в СНиП, которые были разработаны еще в 30-х годах прошлого века, и норм (кодексов) зарубежных стран.

Выводы:

1. Впервые для оценки прочности сжатых бетонных элементов предложена физическая модель, описывающая разрушение процессом преодоления сопротивления отрыву, сдвигу и раздавливанию. В совокупности с геометрическими, физическими и статическими характеристиками они составляют теоретические основы сопротивления бетона сжатию.

2. На основе модели разрушения бетона разработаны новые, более совершенные, отвечающие современному состоянию науки, методики расчета разнообразных конструкций из различных материалов (тяжелого, легкого и ячеистого бетонов, кирпичной кладки из глиняного и силикатного кирпича и др.) и элементов с уточнением лишь ее геометрических параметров, отражающих характерные особенности каждой из рассмотренных конструкций. Это свидетельствует о том, что создана теория сопротивления анизотропных материалов (бетона, железобетона, каменной кладки и др.) сжатию.

3. При конструировании анизотропные материалы, учитывая высокое сопротивление сжатию, используются преимущественно для восприятия сжимающих усилий. Поэтому разработанная теория может быть использована как основа для расчета любых конструкций и элементов, выполненных из этих материалов, воспринимающих сжимающие нагрузки.

В заключение необходимо отметить, что в последние годы некоторые исследования выполнялись по грантам и МНТ программе "Архитектура и строительство". Тема: "Теоретические основы

сопротивления анизотропных материалов сжатию" является частью госбюджетной НИР, по которой работают аспиранты и соискатели кафедры ЖБиКК. Защищены три кандидатских диссертации. Основные положения теории и методик расчета изложены в учебно-методическом пособии [5], разработан спецкурс для специальности ПГС и подготовки специалистов по магистерской программе 530106.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Б.С. Прочность и трещиностойкость железобетонных балок-стенок. Автореферат докторской диссертации. Казань, 1989. - 31с.
2. Прочность и трещиностойкость коротких железобетонных элементов. Межвузовский сборник. Казань: КИСИ, 1989.
3. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии. //Известия вузов. Строительство. 1993, №9. - С. 39-43.
4. Соколов Б.С. Каркасно-стержневой аналог - основа для проектирования железобетонных балок-стенок различных конструктивных решений. // Межвузовский сборник Прочность и трещиностойкость коротких железобетонных элементов. Казань, 1989. - С. 42-47.
5. Соколов Б.С. Проектирование стеновых панелей зданий. Казань. Ч.1, 1991. - С.76; Ч.2, 1994. - С. 64.
6. Соколов Б.С., Мустафин И.И. Прочность керамзитобетонных элементов при действии местной нагрузки. //Известия ВУЗов. Строительство. 1995, №1. - С.7-10.
7. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Прочность объемных элементов из керамзитобетона при местном действии нагрузки. //Известия вузов. Строительство. 1999, №5. - С.139-144.
8. A.Williams Cehg, MIMechE. Technical Report 526. The bearing capacity of concrete loaded over a limited area. Cement and concrete assoceation.
9. Соколов Б.С. Новый подход к расчету прочности бетонных элементов при местном действии нагрузки. //Бетон и железобетон, 1992, №10. - С. 22-24.
10. Никитин Г.П. Совершенствование методики расчета контактных стыков железобетонных колонн. //Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции "Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья". Тольятти, 2004.
11. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Патент на полезную модель №33595 от 27.10.2003. Реконструируемое каркасно-панельное здание.