

*Ярцев В.П., доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры "Конструкции зданий и сооружений"*

*ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический  
университет*

*Россия, г. Тамбов*

*Николюкин А.Н.*

*аспирант кафедры "Конструкции зданий и сооружений"*

*ФГБОУ ВО Тамбовский государственный технический  
университет*

*Россия, г. Тамбов*

*Плужникова Т.М.*

*студентка магистратуры*

*2 курс, факультет "Магистратура", ФГБОУ ВО Тамбовский  
государственный технический университет*

*Россия, г. Тамбов*

## **АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБЛЕМЫ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ**

***Аннотация:** Приведен краткий анализ имеющихся работ на тему сцепления арматуры с бетоном. Рассмотрены основные характеристики сцепления. Представлены исследования, описывающие механизм сцепления на основе различных подходов. Отмечена проблема отсутствия обобщённой теории, характеризующей процесс сцепления в полном объеме.*

***Ключевые слова:** железобетон, сцепление, арматура, композит, бетон.*

***Annotation:** A brief analysis of the available works on the theme of adhesion of reinforcement to concrete is given. The main characteristics of the clutch are considered. Studies are presented describing the mechanism of cohesion based on different*

*approaches. The problem of the absence of a generalized theory characterizing the cohesion process in full is noted.*

***Key words:*** *reinforced concrete, clutch, reinforcement, composite, concrete.*

Сцеплением называется способность бетона сопротивляться проскальзыванию арматуры под нагрузкой в железобетонных изделиях. При этом термин "железобетон" рассматривается как единый композиционный материал до того момента, пока существует сцепление по контактной поверхности между арматурой и бетоном. При нарушении взаимодействия арматуры и бетона конструкция представляет собой отдельные элементы.

Впервые про оценку прочности анкеровки арматуры заговорили немецкие исследователи Залигер Р. и Vach G.

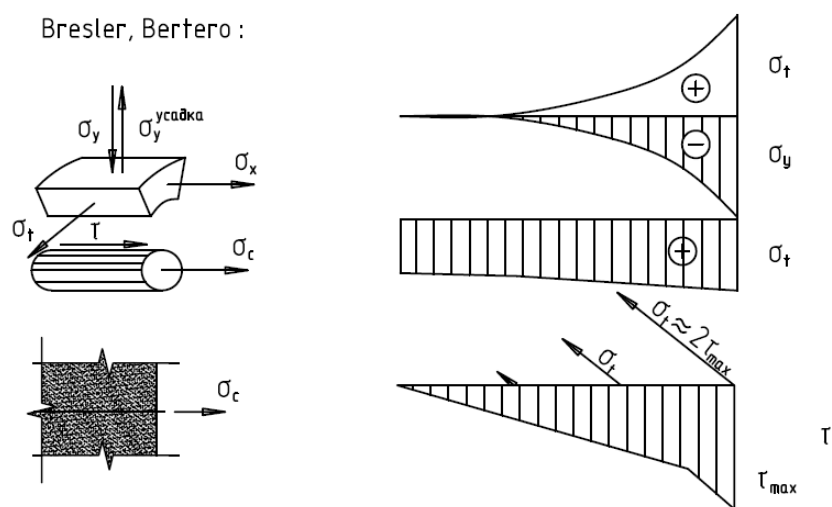
Первоначально опыты были направлены на проверку прочности анкеровки арматуры в бетоне для концевых усилений отгибов, петель и крюков. Однако, данный метод позволил исследовать анкеровку за счет сцепления современных профилей с бетонами, обладающими высокой прочностью. При этом сцепление рассматривалось в качестве силовой характеристики, зависящей от многих факторов, удельное значение которых оценивалось учеными неоднозначно. Тем не менее, в середине двадцатого века Столяров Я.В. предположил, что сцепление напрямую зависит от клеящей способности цементного геля и трения, возникающего между материалами под действием радиального давления от усадки бетона.

Столяров Я.В. выделил в своих трудах две группы факторов. Первая группа отражает ряд факторов, которые влияют на сопротивление скольжению арматуры в бетоне. К ним относятся зацепление выступов за бетон, трение от усадки и склеивание арматуры с бетоном. Вторая группа количественно определяет факторы первой группы, не влияя при этом на сцепление. К ней относят класс и возраст бетона.

Напряженно-деформированное состояние в зонах перераспределения напряжений весьма неоднозначно и зависит от всех факторов в совокупности [1]. Вместе с тем Abrams D.A. в своих работах установил, что НДС на участках действия касательных напряжений сцепления значительно изменяется под действием нагрузки.

Поскольку на сцепление оказывает влияние огромное количество факторов, возникла необходимость в применении феноменологического подхода математического анализа опытных данных на основе упрощающих предпосылок [2].

Гараи Т., Brice M.Z.P. и Vichara A. выяснили, что экспериментально определить значение величины  $\sigma_s$  на участке перераспределения, путем измерения нормальных напряжений в арматуре  $\sigma_s$  в зоне контакта довольно трудоемко. Вследствие чего применение данной характеристики для оценки  $\tau_{сц}$  на участке контакта было ограничено (рисунок 1).



**Рисунок 1. Распределение напряжений в контактном слое**

На основе исследований Абрамса Столяров Я.В. в 1913 г. построил кривую зависимости напряжений сцепления  $\tau_{сц}$  от «деформаций скольжения» для стержня с переменным профилем. Однако, впервые о зависимости между напряжениями сцепления и взаимными смещениями арматуры относительно бетона заговорил Фрайфельд С.Е. в 1941г.

В результате испытаний Холмянский М.М. определил величину взаимных смещений арматуры относительно бетона  $g$ . Исследования заключались в наблюдении за смещением арматуры относительно бетона при передаче предварительных напряжений и выдергивании арматуры из призм, опертых торцом.

На основе проведенных работ Г. Рэм назвал выявленную зависимость законом сцепления.

Причиной повышенного внимания к вопросу сцепления в СССР в 1950-1960 г.г. стало активное внедрение предварительно напряженных армированных конструкций. Вследствие чего были проведены под руководством Холмянского М.М. и Оатула А.А. фундаментальные экспериментально-теоретические исследования по проблеме сцепления.

Однако, при интерпретации закона сцепления между арматурой и бетоном у Холмянского М.М. и Trost Н. возникли значительные разногласия.

Было установлено, что при взаимодействии прядей стержня и бетона под нагрузкой арматуре свойственно винтовое движение в бетоне. В стадии предварительного обжатия наблюдаются значительные смещения до 1 мм. При этом величина смещений  $g$  является условной характеристикой относительно сцепления под нагрузкой стержней профилированной арматуры.

Продольные усилия, возникающие в пряди, прижимают ее выступы к "бетонной гайке". При этом наблюдается взаимосвязь между трением от поперечного давления стержня о бетон в зоне контакта и периодического профиля арматуры.

Феноменологический метод при определении  $\tau_{\text{сд}}$  имеет ряд недостатков:

- не учтены стесненные деформации;
- невозможно определить НДС на участках контакта при развитии трещин и пластических деформаций;
- возможные деформации бетонной оболочки по всей длине анкеровки.

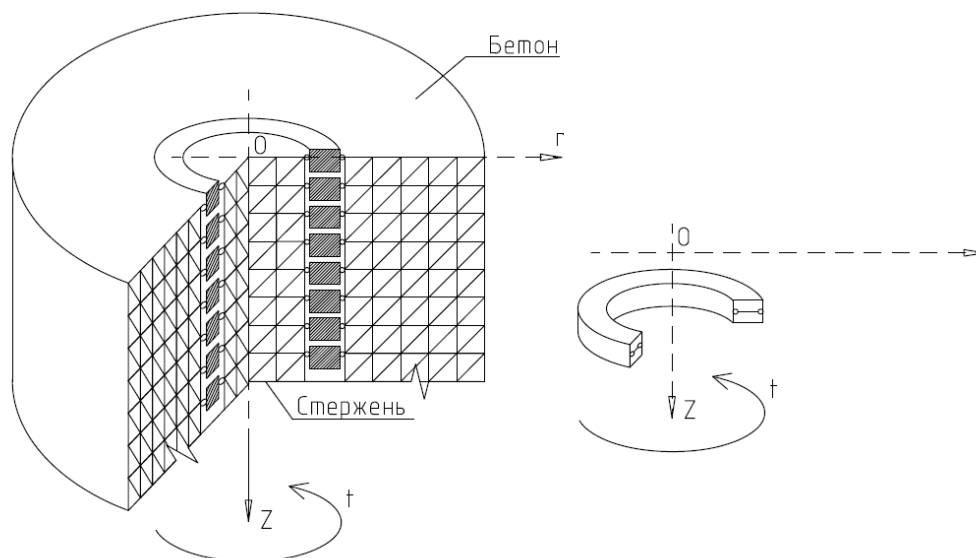
Вышеперечисленные недостатки были устранены с появлением расчетных моделей, принцип которых основывался на теории ползучести и теории упругости.

Применение численных методов расчета и ЭВМ в совокупности с моделированием сцепления позволило получить достоверные и подробные результаты без проведения трудоемких экспериментов [3].

Для исследования сцепления арматуры с бетоном в балке, находящейся в условиях чистого изгиба, А.С. Scordelis и D.Ngo впервые использовали метод конечных элементов. При этом было установлено, что взаимодействие арматуры с бетоном зависит от контактного конечного элемента, который определяет физико-механические свойства. Кроме этого, наблюдалась зависимость развития трещин, нормальных и наклонных к

продольной оси балки, от значения внешней нагрузки. Данный метод получил широкое применение как за рубежом, так и в СССР.

Карпенко Н.И. и Судаков Г.Н. предложили другой метод, основанный на получении НДС бетона в зоне примыкающей к арматуре периодического профиля (рисунок 2).



**Рисунок 2. Распределение напряжений в контактном слое**

Для расчета использовалась бетонная область цилиндрической формы в зоне контакта с арматурой. Взаимодействие расчетной области с внешними факторами представляло собой упругие связи. Для определения характера совместной работы арматуры с бетоном на внутренней поверхности расчетного цилиндра задавались условия. Вследствие чего при решении данной задачи целесообразно было использовать вариационно-разностный метод, который позволял прогнозировать развитие трещин и определять НДС бетона при трещинообразовании [4].

Так как на протяжении долгого времени единой теории сцепления не существовало, Назаренко П.П. предложил «обобщенный закон трения стальной арматуры с бетоном».

В настоящее время проблема, связанная со сцеплением арматуры и бетона, достаточно актуальна. Данная тема имеет фундаментальное значение для проектирования железобетонных конструкций, совершенствования различных типов арматуры (например, стеклопластиковой) и улучшения технологии изготовления бетона.

### **Использованные источники:**

1. Ерофеев, А. В. Влияние циклов замораживания-оттаивания на коэффициент линейного термического расширения декоративных плит / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Актуальные инновационные исследования: наука и практика: Электронное научное издание. – Тамбов. – 2012. – №2.

2. Ерофеев, А. В. Влияние атмосферных воздействий на эксплуатационные свойства декоративной плиты / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Вестник Тамбовского государственного университета. – Тамбов. – 2013. – Т.19. №1. – С. 181–185.

3. Мамонтов, А.А. Повышение эксплуатационной надежности пенополистирольных теплоизоляционных плит посредством их армирования стеклопластиковыми материалами А.А. Мамонтов, В.П. Ярцев // АСАДЕМІА. АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО.–2016.–№2.– С. 124–129.

4. Николукин, А.Н. Влияние циклов замораживания-оттаивания на несущую способность и деформативность армированных полимербетонных балок/ В.П. Ярцев, Аль Вард А.М. //Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт.-2017.-№4 С. 302-305.