

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 691.328.43

**САДИН**  
**Эбраим Ягуб**

**СОВМЕСТНАЯ РАБОТА БЕТОНА  
И СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ  
С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности  
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Минск 2017

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель:

**ХОТЬКО Анатолий Анатольевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры железобетонных кон-  
струкций строительного факультета Бело-  
русского национального технического  
университета

Официальные оппоненты:

**ДЕРКАЧ Валерий Николаевич,**  
доктор технических наук, заместитель  
директора филиала РУП «Институт  
БелНИИС» – Научно-технический центр;

**ВОЛИК Алла Ричардовна,**  
кандидат технических наук, доцент,  
декан инженерно-строительного факуль-  
тета учреждения образования «Грод-  
ненский государственный университет  
им. Я. Купалы»

Оппонирующая организация:

Учреждение образования «Полоцкий  
государственный университет»

Защита состоится 17 мая 2017 года в 13<sup>00</sup> часов на заседании совета по за-  
щите диссертации Д.02.05.09 при Белорусском национальном техническом  
университете по адресу: 220114, г. Минск, проспект Независимости, 150,  
ауд. 808. Тел./факс научного секретаря (8-017) 265-96-79, E-mail: nikrak@tut.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национа-  
льного технического университета.

Автореферат разослан 17 апреля 2017 года.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций,  
кандидат технических наук, доцент

Н.А. Рак

© Садин Э. Я., 2017

© Белорусский национальный  
технический университет, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

В современной мировой практике наряду с традиционной стальной арматурой все большее применение находит композитная неметаллическая. Несмотря на то, что этот вид арматуры известен еще с 70-х годов 20 века, композитная арматура – относительно новый вид строительных материалов на рынке Республики Беларусь. В ближайшем зарубежье эта продукция уже успела себя зарекомендовать и широко используется при армировании стеклопластбетонных конструкций. Внедрение стеклопластиковой арматуры наталкивается на определенные трудности и противоречия, приводящие к ошибкам при проектировании конструкций, содержащих композитную арматуру.

В настоящее время недостаточно изучен опыт эксплуатации изделий с композитной арматурой, во многих случаях происходит неверное позиционирование по области ее применения. Не нормированы требования, и совершенно не контролируются характеристики сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном. Отсутствуют необходимые экспериментальные данные, в том числе о прочности сцепления композитной арматуры с бетоном.

Производимая в Республике Беларусь и импортируемая в страну композитная арматура имеет большой разброс в физико-механических характеристиках, исходных материалах и геометрических характеристиках. Ввиду отсутствия нормативных документов, регламентирующих требования к композитной арматуре, имеются различия как в технологии изготовления арматуры, так и в геометрических параметрах образующегося при производстве периодического профиля. Производится арматура с песчаной посыпкой поверхности и без нее. Периодический профиль композитной арматуры производится при ее изготовлении путем спиральной обвивки сырой заготовки стержня крученой нитью из стеклянного волокна, пропитанной связующим материалом. При обмотке нить натянута с определенным усилием, благодаря чему она вдавливается в тело стержня. За счет этого арматура получает дополнительное уплотнение и периодический профиль. При этом является очевидным тот факт, что обладая различными параметрами периодического профиля, композитная арматура различных производителей будет иметь и различные характеристики сцепления с бетоном. Связь обвивки из крученой нити и тела стержня – различна у разных производителей и также оказывает влияние на совместную работу бетона и арматуры. Однако, несмотря на представленные факты, до настоящего

времени каких-либо исследований влияния параметров периодического профиля на сцепление стеклопластиковой арматуры с бетоном не проводилось.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Связь работы с крупными научными темами.** Работа выполнялась в рамках НИОКР Республиканского унитарного предприятия «Институт жилища – НИПТИС им. С. С. Атаева по договору № ИФН/13 «Исследовать работу предварительно напряжённых изгибаемых несущих конструкций, армированных композитной (стеклопластиковой или базальтопластиковой) арматурой с использованием самонапрягающегося бетона, определить область их эффективного использования, разработать методику расчёта, конструирования и технологию изготовления), и ГБ №11-262 «Проблемы взаимодействия европейских и отечественных норм проектирования железобетонных и каменных конструкций зданий и сооружения» кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета.

**Цель и задачи диссертационной работы.** Цель работы – разработка предложений по расчёту анкеровки в бетоне стеклопластиковой стержневой арматуры с учетом геометрических параметров периодического профиля арматуры.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

– исследовать физико-механические характеристики арматуры, а также геометрические параметры профилей стеклопластиковой арматуры, производимой в Республике Беларусь;

– исследовать влияние относительной площади смятия периодического профиля, угла навивки профиля и числа навивок в сечении стеклопластиковой арматуры различных диаметров на прочность сцепления с бетоном;

– исследовать влияние относительной площади смятия периодического профиля, угла навивки профиля и числа навивок в сечении стеклопластиковой арматуры на перемещения арматурных стержней различных диаметров относительно бетона;

– исследовать влияние длины заделки и диаметра стеклопластиковой арматуры на прочность сцепления с бетоном, а также на переме-

щения арматурных стержней с различными геометрическими параметрами профиля относительно бетона;

– разработать предложения к определению среднего значения напряжения сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном, учитывающие параметры периодического профиля арматуры.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являлась стеклопластиковая арматура с различными геометрическими параметрами периодического профиля. Предмет – характеристики сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры с различными величинами относительной площади смятия периодического профиля, углами навивки профиля и числом навивок в сечении.

**Методология и методы проведения исследований.** При выполнении работы использовались экспериментальные методы исследований сцепления арматуры с бетоном, а также статистические методы обработки экспериментальных данных.

**Научную новизну и значимость полученных результатов работы составляют:**

– результаты экспериментальных исследований сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры с различными значениями относительной площади смятия периодического профиля, угла навивки профиля и числа навивок в сечении;

– функциональные зависимости влияния относительной площади смятия периодического профиля, угла навивки профиля и числа навивок в сечении на прочность сцепления с бетоном и перемещения стержней относительно бетона;

– функциональные зависимости длины заделки стеклопластиковой арматуры с различными параметрами периодического профиля на прочность сцепления с бетоном и перемещения стержней относительно бетона;

– предложения по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры с учетом геометрических параметров периодического профиля арматуры.

**Практическая значимость полученных результатов.** Разработаны предложения по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры с учетом геометрических параметров периодического профиля арматуры, позволяющие определять длину анкеровки стеклопластиковой арматуры, учитывая относительную площадь смятия и угол навивки профиля поперечных выступов. Предложения дают возможность назначения оптимальных параметров периодического профиля

при изготовлении стеклопластиковой арматуры, что способствует более эффективному внедрению в строительную отрасль композитной арматуры.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

– методика экспериментальных исследований сцепления с бетоном арматуры, позволяющая оценить влияние геометрических параметров профиля арматуры на характеристики ее сцепления с бетоном;

– впервые полученные результаты исследований влияния угла наклона навивки профиля стеклопластиковой арматуры на ее распорность в совместной работе с бетоном;

– установленные зависимости влияния относительной площади смятия и угла наклона навивки периодического профиля стеклопластиковой арматуры на прочность сцепления с бетоном и перемещения стержней относительно бетона;

– предложения по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры, учитывающие относительную площадь смятия периодического профиля.

**Личный вклад соискателя.** Работа выполнена соискателем самостоятельно на кафедре «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета под научным руководством кандидата технических наук Хотько А. А. Сделаны самостоятельные выводы и предложения по решению рассмотренных в диссертации проблем.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертации доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

– XVII международный научно-методический семинар «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь» (г. Новополоцк, УО «ПГУ», 2012 г.);

– Четвертая международная научная конференция иранских студентов в Беларуси (г. Минск, БГУИР, 2013 г.);

– Международная научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инновационной подготовки инженерных кадров при переходе строительной отрасли на европейские стандарты» (Минск, БНТУ, 26-27 мая 2015 г.)

– XX Международный научно-методический семинар «Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров» (Гродно, ГрГУ, 17-19 февраля 2016 г.);

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные положения диссертации и результаты, выносимые на рассмотрение, опубликованы в научных журналах – 3 статьи, в 5 сборниках научных работ. Общее количество опубликованных материалов по теме диссертации составляет 3,5 печатных листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, состоящей из 4 глав, заключения, списка использованных источников из 132 наименований. Объем работы составляет 119 страниц, включая 73 иллюстрации на 48 страницах, 11 таблиц на 9 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования, определяются основные направления диссертационной работы.

**В первой главе** выполнен краткий обзор исследований физико-механических свойств композитной арматуры, рассмотрены основные этапы производства стеклопластиковой арматуры, проанализированы проблемы применения стеклопластиковой арматуры при армировании стеклопластобетонных конструкций, а также нормативная методика расчета анкеровки стальной арматуры в железобетонных конструкциях и возможные варианты корректировки данной методики для расчета анкеровки стеклопластиковой арматуры в бетоне. Предложены варианты трехмерного моделирования сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры

Начало изучения свойств и создания технологии изготовления неметаллической композитной арматуры было положено в 1964–1965 годах. Первая линия по производству стеклопластиковой арматуры была разработана НИИЖБ им. А. А. Гвоздева и введена в производство в Республике Беларусь. Однако арматура не получила широкого применения в строительстве по многим причинам, в частности из-за низкой стойкости арматуры в щелочной среде бетона, низких адгезионных свойств арматуры с бетоном при её преднапряжении, и также из-за отсутствия экономической выгоды при её использовании. В 70-ых годах прошлого столетия стеклопластиковая арматура была экспериментально применена в конструкциях из лёгких бетонов, а также в фундаментах, сваях, электролизных ваннах, балках и ригелях эстакад, опорных конструкциях конденсаторных батарей, других конструкциях. Огромный вклад в исследование свойств композитной арматуры и ее внедре-

ние в производство и применение при армировании бетонных конструкций, внес известный советский ученый Фролов Н. П. На современном этапе, исследования композитной арматуры продолжаются как за рубежом, так и в Республике Беларусь, где можно отметить научные работы по изучению совместной работы композитной и стальной арматуры в железобетонных конструкциях, выполняемые в УО «Брестский государственный технический университет» под руководством профессора Тура В. В., а также в государственном предприятии «Институт жилища – НИПТИС им. С. С. Атаева» под руководством профессора Пецольда Т. М.

Внедрение стеклопластиковой арматуры наталкивается на определенные трудности и противоречия, приводящие к ошибкам при проектировании конструкций, содержащих композитную арматуру. Существует ряд недостатков стеклопластиковой арматуры, которые учитываются не в полной мере, либо вовсе не учитываются при ее применении в строительстве, наиболее основными из которых являются низкое значение модуля упругости, трудности получения гнутых изделий из такой арматуры и сложность создания предварительного напряжения стеклопластиковой арматуры.

Сцепление стержневой арматуры с бетоном возникает благодаря действию ряда химических, физических и механических факторов. Степень сцепления принято оценивать величиной условного касательного напряжения сцепления  $\tau_{bond}$ , действующего на условной цилиндрической поверхности контакта арматуры с бетоном. Наибольшее влияние на формирование величины  $\tau_{bond}$  оказывает фактор механического взаимодействия, зависящий от периодического профиля, наносимого на поверхность арматуры в процессе ее изготовления и характеристик бетона.

Главными параметрами периодического профиля, влияющими на сцепление арматуры с бетоном, являются шаг профилировки и высота поперечных выступов. Различными авторами было исследовано влияние этих параметров на характер взаимодействия арматуры с бетоном. Так Н. М. Мулин, учитывая лишь специфику механизма передачи напряжений сцепления, выделил три принципиальные группы поверхностей арматуры в зависимости от отношений высоты поперечных выступов к их шагу, а именно профили, заклинивающиеся при смещении в бетоне, сминающие бетон при смещении и сдвигающие бетон при смещении. Позднее за основу оценки влияния параметров периодического профиля стержневой арматуры на сцепление с бетоном была



принята величина относительной площади смятия, поперечных выступов, как более универсальный параметр, равная отношению площади смятия к площади контакта арматуры с бетоном. Исследованиям влияния параметров периодического профиля арматуры и, в частности, относительной площади смятия поперечных выступов на сцепление арматуры с бетоном посвящены работы Жунусова Т.Ж., Мулина Н.М., Холмянского М.М., Clarek A.P., Rehm G. и др. По результатам испытаний стержней на выдергивание из бетона, выполненных различными авторами, прослеживается достаточно четкая линейная зависимость возрастания предельных напряжений в стержнях с увеличением значения относительной площади смятия. Однако такие испытания обычно проводили с арматурой, имеющей одну определенную конфигурацию периодического профиля на стальной арматуре.

Анализ нормативной методики расчета анкеровки в бетоне ненапрягаемой арматуры показал, что методика расчета анкеровки по СНБ 5.03.01-02 в принципе не отличается от методик расчета некоторых других стран. Расчет анкеровки по СНБ 5.03.01-02 производится с использованием такого параметра, влияющего на сцепление, как среднее значение напряжения сцепления ( $f_{bd}$ ). Однако сама величина  $f_{bd}$  вычисляется по эмпирической формуле, и не зависит от параметров профиля арматуры. Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию влияния профиля арматуры на сцепление ее с бетоном, авторами в основном раскрывался вопрос прочности сцепления. Недостаточно данных о влиянии профиля арматуры на перемещения арматуры относительно бетона.

Все это требует проведения дополнительных экспериментальных исследований влияния параметров периодического профиля арматуры на характеристики ее сцепления с бетоном.

**Вторая глава** посвящена экспериментальным исследованиям влияния параметров периодического профиля арматуры на прочность сцепления с бетоном и перемещения относительно бетона стеклопластиковых стержней различных диаметров и с различными длинами контакта с бетоном в изгибаемых элементах.

Исследования выполнены с стеклопластиковой арматурой трех различных производителей Республики Беларусь (ЧП «Минпласт» г. Минск, ОАО «Стройкомполит, г. Гомель и ООО «Научно-производственная компания «Бизнес-Континент» (г. Брест)), и включали в себя сравнительные испытания балок на свободных опорах, армированных стержнями стеклопластиковой арматуры диаметром от 4 мм до 10 мм

указанных производителей с различными длинами контакта арматуры с бетоном ( $10\emptyset$ ,  $20\emptyset$  и  $30\emptyset$ ). Исследуемые образцы стержней имели различные параметры периодического профиля арматуры, отличающиеся такими важнейшими критериями, как относительная площадь смятия поперечных выступов (от 0,015 до 0,25), угол наклона навивки профиля (от  $28^\circ$  до  $80^\circ$ ), число навивок (крученной нити из стеклянного волокна, образующей периодический профиль) в сечении стержня (одну и две навивки в сечении).

Поперечное сечение опытных образцов принято прямоугольным с размерами сторон  $b \times h = 150 \times 300$  мм. Длина образцов  $L = 1500$  мм. Опытная балка в середине разделена на две части. Эффективная высота бетона (высота сжатой зоны бетона) зафиксирована путем установки стальных уголков в пределах высоты  $x_{eff} = 80$  мм с шарниром между ними (рисунок 1). В нижней части в пределах зоны чистого изгиба (в пределах 600 мм) бетон отсутствует. При этом в одной части заделки ( $l_b$ ) композитная арматура находилась в контакте с бетоном, а в другой части (150 мм и  $300 - l_b$ ) сцепление искусственно исключено. Поперечная и сжатая арматура отсутствует. Величина относительного пролета среза принята постоянной и равной 450 мм.

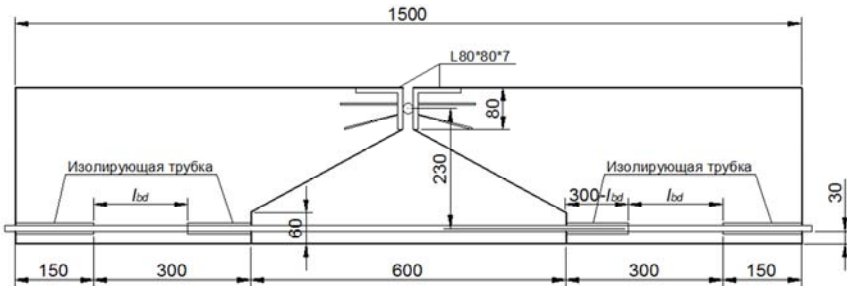


Рисунок 1. – Геометрические характеристики опытных балок

Опытные образцы-балки изготовлены в разборной деревянной опалубке с формованием в горизонтальном положении (для арматуры). Призменная прочность бетона по результатам испытаний составила 36,5 МПа в возрасте 28 суток. Среднее значение прочности бетона на растяжение при изгибе по результатам испытаний 5 балок сечением  $100 \times 100 \times 400$  мм на изгиб составило  $f_{ct} = 3,0$  МПа.

Испытания проведены на гидравлическом прессе кафедры ЖБК БНТУ с расстоянием между двумя точками приложения нагрузки на

балку 500 мм, расположенными симметрично относительно центра пролета. Расстояние от опоры до места приложения нагрузки было принято 450 мм.

Для изучения влияния параметров периодического профиля стеклопластиковых арматурных стержней на прочность сцепления с бетоном и перемещения относительно бетона композитной арматуры различных диаметров и с разными длинами контакта с бетоном в изгибаемых железобетонных элементах, контролировался характер разрушения опытных образцов и максимальную нагрузку, при котором сцепление стеклопластиковой арматуры с бетоном не нарушено ( $P_{max}$ ), а также перемещения незагруженного (свободного) ( $s_1$ ) и загруженного ( $s_0$ ) концов арматурного стержня относительно наружных граней бетона на обоих концах образца. Схема установки для проведения испытаний представлена на рисунке 2.

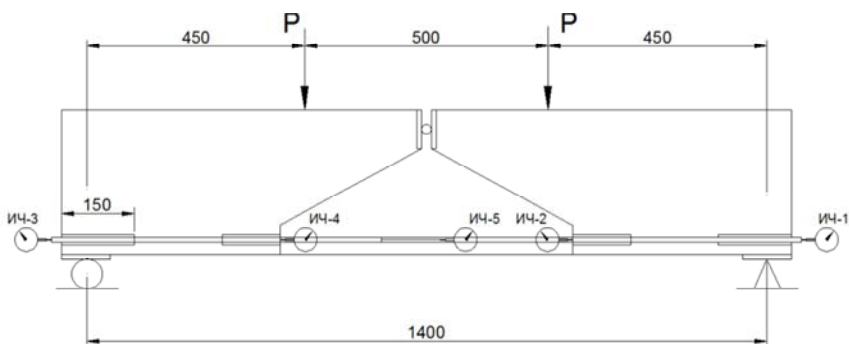


Рисунок 2. – Схема установки для испытаний

Разрушение опытных образцов происходило в результате возникновения одного из трех случаев: проскальзывания арматуры относительно бетона, скалывания защитного слоя бетона или разрыва композитной арматуры.

Предельная нагрузка перед разрушением образцов зависела как от параметров периодического профиля арматуры, так и от величины заделки арматуры в бетон и диаметра стеклопластиковой арматуры. На представленных графиках (рисунок 3, 4 и 5) подписи рядом с маркерами указывают величину относительной площади смятия периодического профиля арматуры опытных образцов. Причем маркером в виде квадратика помечены образцы с арматурой периодического профиля с двумя навивками в сечении стержня и углом наклона навивок профи-

ля –  $28^{\circ}$ . Остальные образцы (обозначены маркером в виде ромба и кружка) имели одну навивку в сечении стержня. Маркером в виде ромба указаны образцы с углом наклона навивок  $60^{\circ}$ , а в виде кружка – образцы с углом наклона навивок  $80^{\circ}$ .

Разрушение балок, сопровождающееся проскальзыванием стеклопластиковой арматуры относительно бетона, происходило практически во всех образцах с длиной заделки арматурных стержней в бетон равной  $10\varnothing$  и  $20\varnothing$  (рисунок 3). При этом полное нарушение сцепления арматуры с бетоном наблюдалось на одном из концов испытываемого образца. Исключение составили два образца с длиной заделки арматуры бетоном  $20\varnothing$ , со стеклопластиковыми стержнями (диаметром 9,5 мм), имеющими значение угла наклона навивок профиля  $28^{\circ}$  (величина относительной площади смятия 0,15, число навивок в сечении стержня – 2), разрушение которых происходило вследствие скалывания защитного слоя бетона на одной из половинок опытной балки. Данные два случая свидетельствуют о большей распорности периодического профиля стеклопластиковой арматуры, имеющей наименьший угол наклона навивок профиля.

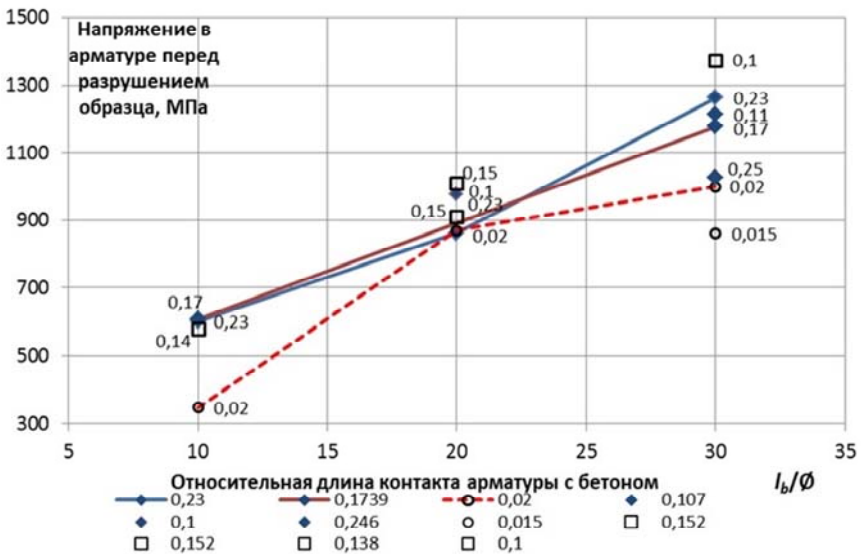


Рисунок 3. – График зависимости предельных напряжений в арматуре в момент разрушения образцов от относительной длины контакта арматуры с бетоном

Четыре опытных образца с длиной заделки арматуры в бетон равной  $30\varnothing$  разрушались по причине разрыва стеклопластиковой арматуры. При этом, три образца из разрушившихся по причине разрыва арматуры ( $\varnothing 6$  мм,  $\varnothing 7,7$  мм и  $\varnothing 10$  мм), были со стержнями, имеющими наибольшие значения относительной площади смятия  $f_r = 0,2$ ,  $f_r = 0,23$  и  $f_r = 0,17$ . Угол наклона навивок профиля для указанных образцов составлял  $60^0$ . Четвертый образец из разрушившихся по причине разрыва стержня ( $\varnothing 5$  мм) был с арматурой периодического профиля с двумя навивками в сечении, с углом наклона навивок профиля  $28^0$  и значением относительной площади смятия  $f_r = 0,1$ .

Следует отметить, что один образец с длиной заделки  $30\varnothing$  с арматурой периодического профиля с углом наклона навивок профиля  $60^0$  (число навивок в сечении стержня – 2), и значением относительной площади смятия  $f_r = 0,11$ , который разрушился вследствие проскальзывания арматуры относительно бетона, достиг предельной нагрузки перед разрушением, соответствующей напряжениям в арматуре  $\sigma = 1213$  МПа. Учитывая, что данное значение соответствует временному сопротивлению разрыва стеклопластиковой арматуры, можно сделать вывод, что арматура в предельном состоянии перед разрушением образца, была близка к разрыву. Наиболее низкие показатели прочности сцепления арматуры с бетоном показали образцы с арматурой с наименьшими значениями относительной площади смятия ( $f_r = 0,015$  и  $f_r = 0,02$ ), в которых разрушение балок со всеми длинами контакта стержней с бетоном сопровождалось проскальзыванием арматуры относительно бетона.

Перемещения незагруженного конца арматуры относительно наружных слоев бетона определены на каждом этапе нагружения с помощью индикаторов часового типа ИЧ-1 (ИЧ-3), установленным на арматуре на торцах образца. Величина перемещения загруженного конца арматуры ( $s_1$ ) определена как разница между деформациями, установленными по показаниям индикаторов часового типа, закрепленных на струбине, на загруженном конце арматуры в непосредственной близости от торца образца и вычисленных деформаций участка арматуры от точки закрепления струбины до начала заделки стержня в бетон, соответствующих данному этапу нагружения. Построены графики зависимости перемещений арматуры от напряжений на загруженном конце стержня. При этом для всех образцов перемещения незагруженного конца арматуры относительно бетона с увеличением нагрузки увеличивались примерно по линейной зависимости до

уровня, соответствующего 0,7 от предельной нагрузки, соответствующей нарушению сцепления стержней с бетоном. После достижения этой нагрузки наблюдалось увеличение приращений перемещений при увеличении нагрузки. Предельная величина перемещений незагруженного конца стержней относительно бетона в момент разрушения балок для образцов с арматурой с наименьшими значениями относительной площади смятия варьировалась в зависимости от диаметра стержней и от длины контакта с бетоном от 0,02 мм до 0,22 мм. Данная величина для образцов с арматурой с большими значениями относительной площади смятия варьировалась в зависимости от диаметра стержней и от длины контакта с бетоном от 0,07 мм до 4,0 мм. Влияние диаметра арматуры на величину ее перемещений относительно бетона сказывалось незначительно, хотя установлено, что наибольшие перемещения незагруженного конца арматуры для стержней соответствовали образцам с большим диаметром арматуры.

Перемещения загруженного конца арматуры относительно бетона для всех образцов увеличивались более равномерно, чем незагруженного конца, что связано с тем, что на данную величину большое влияние оказывали собственные деформации растяжения стеклопластиковых стержней.

**В третьей главе** выполнен анализ результатов экспериментальных исследований сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры с различными параметрами периодического профиля. Результаты испытания опытных образцов представлены в сводной таблице 1. На основании результатов опытных данных установлено влияние геометрических параметров периодического профиля и длины заделки арматуры на величину перемещений стеклопластиковых стержней относительно бетона (рисунок 4).

Таблица 1. – Сводная таблица результатов испытания опытных образцов

Шифр образца	Максимальные напряжения на нагруженном конце стержня, $\sigma_{\max}$ , МПа	Значение предела прочности сцепления $f_{bd}$ , МПа		Предельная величина перемещений незагруженного конца стержня, мм	Предельная величина перемещений нагруженного конца стержня, мм	Характер разрушения опытных балок
		соответствующие максимальным напряжениям в арматуре	соответствующие моменту начала сдвига арматуры, относительно бетона			
B2/7,5*10-80-1	296,8	6,06	5,18	0,16/0,22	0,33/0,38	Пр
B2/7,5*20-80-1	870,4	7,61	7,61	0,11/0,15	0,75/1,03	Пр
B1/5,5*30-80-1	860,9	5,02	5,02	0,03/0,02	0,82/0,71	Пр
B2/7,5*30-80-1	1000,1	5,84	5,84	0,07/0,08	2,42/2,27	Пр
B5/9*10-28-2	441,5	10,12	7,72	1,0/2,75	1,41/3,21	Пр
B6/9,5*20-28-2	1010,0	8,83	8,83	0,07/0,04	1,97/1,82	Рас
B6/9,5*20-28-2	911,9	7,98	7,98	0,1/0,05	1,89/0,94	Рас
B3/5*30-28-2	1375,1	8,03	8,03	0,01/0,02	2,01/1,95	P
B7/7,7*10-60-1	401,5	10,6	7,02	3,0/4,0	3,65/4,54	Пр
B8/10*10-60-1	418,2	10,53	7,32	1,7/3,8	2,45/4,35	Пр
B3/4*20-60-1	868,1	8,55	7,6	0,1/0,11	2,0/2,7	Пр
B8/10*20-60-1	716,8	7,54	6,27	0,22/0,5	2,17/1,07	Пр
B9/6*30-60-1	1026,4	6,67	6,67	0/0	2,05/2,25	P
B7/7,7*30-60-1	1177,2	6,9	4,72	0,11/0,07	4,45/4,35	P
B4/8*30-60-1	1212,6	7,07	7,07	0,07/0,08	3,74/3,59	Пр
B8/10*30-60-1	1263,1	7,37	7,37	0,14/0,07	5,45/5,7	P

Маркировка опытного образца представлена аббревиатурой БХ/У\*Z-R-W. Первый символ маркировки опытных образцов представлен буквой Б. Второй символ маркировки содержит шифр относительной площади смятия ( $f_r$ ). Третий символ после наклонной черты обозначает диаметр арматуры  $\varnothing$  (мм). Четвертый символ после знака (\*) указывает длину контакта арматуры с бетоном, деленную на диаметр ( $l_b/\varnothing$ ). Пятый символ после знака дефис указывает угол наклона навивки профиля арматурного стержня, и шестой символ – число навивок в сечении арматуры.

Условные обозначения:

«Пр» – проскальзывание композитной арматуры относительно бетона на одном из концов балки;

«Р» – разрушение образцов в результате разрыва композитной арматуры.

«Рас» – раскол защитного слоя бетона

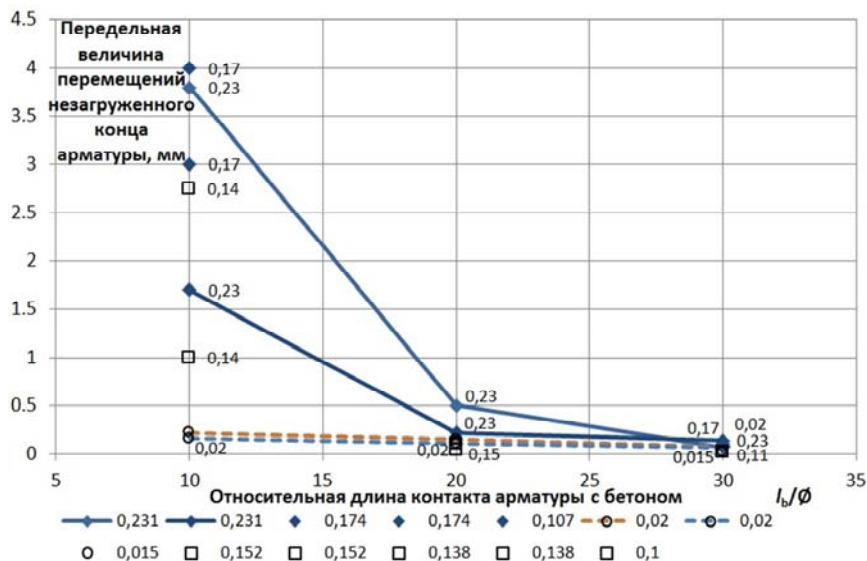


Рисунок 4. – График зависимости предельной величины перемещений незагруженного конца арматуры от относительной длины контакта стержней с бетоном



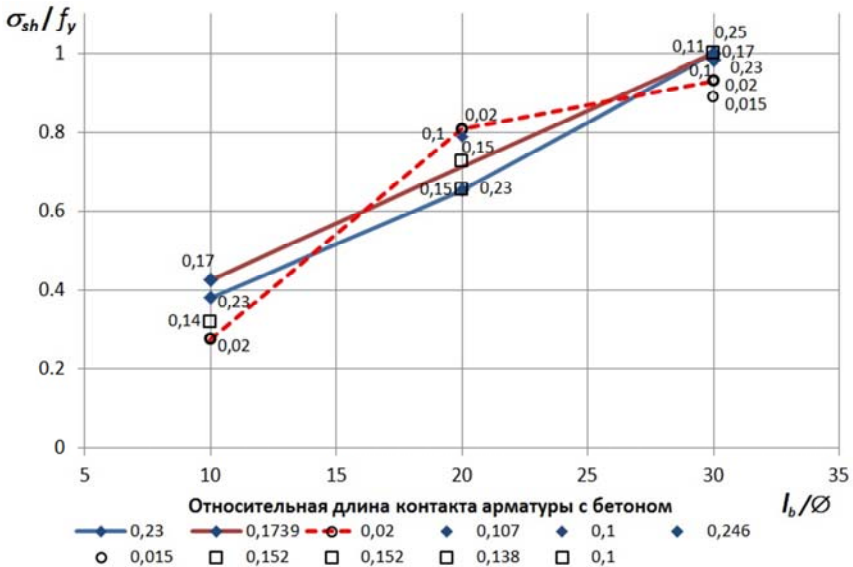
В результате эксперимента установлено, что при длине заделки арматурных стержней в бетон, равной  $30\varnothing$ , параметры периодического профиля не оказывали значительного влияния на величину перемещений незагруженного конца стержня.

При длинах заделки арматурных стержней в бетон  $20\varnothing$  и менее, с увеличением относительной площади смятия периодического профиля наблюдалось увеличение предельной величины перемещений арматуры, что связано с более высокой предельной нагрузкой в момент разрушения образцов. Результаты сопоставления опытных данных, полученных на образцах с арматурой, имеющей примерно одинаковые значения относительной площади смятия поперечных выступов показали, что образцы с арматурой с двумя навивками в сечении стержня и углом наклона навивок профиля  $28^0$  (на графике помечены маркером в виде квадрата) имели меньшие значения величины перемещений незагруженного конца стержня, по сравнению с образцами с одной навивкой в сечении и с углом наклона профиля  $60^0$ .

Величина перемещений арматуры снижалась также при увеличении заделки арматуры в бетоне. Причем, для арматуры с большими значениями относительной площади смятия профиля это уменьшение происходило более интенсивно.

Длина анкеровки арматуры в бетоне должна быть такой, чтобы при длительном действии нагрузки не происходило дальнейшего смещения незагруженного конца арматуры. Поэтому, важным критерием сцепления является величина напряжений в арматуре при начале сдвига всего стержня. Измеряемые в процессе испытаний перемещения незагруженного конца стержня не вполне четко характеризуют этот момент, так как включают в себя помимо собственно сдвига арматуры также и перемещения бетона, полученные в результате депланации торца образца, деформаций смятия под выступами периодического профиля. Один из подходов предполагает за критерий такой нагрузки принимать усилия, соответствующие перемещению незагруженного конца арматуры на величину  $0,2$  мм.

Для определения момента начала сдвига стержня, по шкале силоизмерителя регистрировались усилия, соответствующие перемещениям незагруженного конца стержня на  $0,2$  мм, определенным по показаниям индикатора часового типа. График зависимости максимальных напряжений в арматуре в момент начала сдвига стержня от длины контакта арматуры с бетоном представлен на рисунке 5.



$\sigma_{sh}$  – максимальные напряжения в арматуре образцов  
в момент начала сдвига стержня,

$f_y$  – среднее значение предела прочности арматуры на разрыв

Рисунок 5. – График зависимости относительных максимальных напряжений в арматуре в момент начала сдвига стержня от относительной длины контакта арматуры с бетоном

Результаты анализа опытных данных показали, что сдвиг всего стержня не наблюдался вплоть до момента разрушения всех образцов (достижения максимальных напряжений в стержнях) с длиной заделки стержней в бетон  $30\varnothing$ . При длине заделки стержней в бетон  $20\varnothing$  сдвиг стержня не наблюдался вплоть до момента разрушения образцов с арматурой с наиболее низкими значениями относительной площади смятия профиля (это связано с меньшими предельными напряжениями на нагруженном конце стержня у этих образцов), а также с арматурой, имеющей меньшее значение угла наклона навивок профиля ( $28^0$ ).

Момент начала сдвига арматурного стержня относительно бетона во всех образцах с длиной заделки  $10\varnothing$  наступал ранее момента разрушения образцов. Причем, усилие соответствующее моменту начала сдвига арматуры относительно бетона составляло:

– 0,66...0,7 от усилия, соответствующего наблюдаемым в опытах максимальным напряжениям в арматуре с относительной площадью смятия  $f_r = 0,17...0,23$  и с углом наклона навивок профиля  $60^0$ ;

– 0,74...0,79 от усилия, соответствующего максимальным напряжениям в арматуре с относительной площадью смятия  $f_r = 0,14$  и с углом наклона навивок профиля  $28^0$ ;

– 0,85 от усилия, соответствующего максимальным напряжениям в арматуре с относительной площадью смятия  $f_r = 0,02$  и с углом наклона навивок профиля  $80^0$ .

**В четвертой главе** представлены предложения по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры с различными параметрами периодического профиля. Решить задачу определения длины анкеровки стеклопластиковых арматурных стержней в бетоне с учетом параметров периодического профиля арматуры представляется возможным, если установить зависимость между средним значением предельного напряжения сцепления ( $f_{bd}$ ) и значениями относительной площади смятия поперечных выступов арматуры ( $f_r$ ) и углом наклона навивок профиля. Согласно СНБ 5.03.01-02, для условий проведенных испытаний ( $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 1$ ,  $\alpha_1 = 0,7$ ), расчетная длина анкеровки ненапрягаемой арматуры должна быть не менее величины, рассчитанной по формуле:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot l_b = 0,7 \cdot \left(\frac{\varnothing}{4}\right) \left(\frac{f_{yd}}{f_{bd}}\right) = 0,7 \cdot \left(\frac{\varnothing}{4}\right) \cdot \left(\frac{f_{yd}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}}\right), \quad (1)$$

где  $\varnothing$  – диаметр арматурного стержня, мм;

$f_{yd}$  – расчетное сопротивление арматуры, МПа;

$f_{bd}$  – среднее значение напряжений сцепления по контакту арматуры с бетоном, МПа;

$f_{ctd}$  – расчетное сопротивление бетона растяжению, МПа (при  $\gamma_c = 1,5$ ).

$\eta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние условий сцепления и положение стержней при бетонировании;

$\eta_2$  – коэффициент, учитывающий влияние диаметра стержня;

$\eta_3$  – коэффициент, учитывающий форму профиля арматуры.

Заменяя в данном выражении расчетное сопротивление бетона растяжению ( $f_{ctd}$ ) фактической прочностью на растяжение ( $f_{ct}$ ) и расчетное сопротивление арматуры ( $f_{yd}$ ) фактическими нормальными напряжениями в стеклопластиковой арматуре ( $\sigma_s$ ), по опытным значениям напряжений, соответствующих нарушению сцепления арматурного стержня

с бетоном (наступлению момента начала сдвига арматурного стержня относительно бетона), можно определить опытные значения коэффициента  $\eta_3$ , зависящего от параметров периодического профиля арматуры:

$$\eta_3 = \frac{0,7 \cdot \sigma_s \cdot \emptyset}{4 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ct} \cdot l_b}, \quad (2)$$

где  $\sigma_s$  – предельные напряжения на загруженном конце стеклопластиковой арматуры, соответствующие нарушению сцепления арматурного стержня с бетоном (наступлению момента начала сдвига арматурного стержня относительно бетона), МПа;

$f_{ct}$  – прочность бетона на растяжение, МПа;

$l_b$  – длина контакта стеклопластиковой арматуры с бетоном, мм.

Построены зависимости влияния относительной площади смятия поперечных выступов арматуры на опытные значения коэффициента  $\eta_3$ , которые изображены на рисунке 6.

Методом регрессионного анализа построены эмпирические зависимости коэффициента  $\eta_3$  от относительной площади смятия профиля ( $f_r$ ) для случаев с углом наклона навивок профиля  $60^0$  (зависимость 3) и для случаев с углом наклона навивок профиля  $28^0$  (зависимость 4). Достоверность построенных математических моделей опытным данным составляет  $R^2 = 0,8352$  и  $R^2 = 0,9597$ , соответственно для углов наклона навивок  $60^0$  и  $28^0$ .

$$\text{для } \alpha = 60^0 \rightarrow \eta_3 = 0,22 \cdot \ln(f_r) + 2,77, \quad (3)$$

$$\text{для } \alpha = 28^0 \rightarrow \eta_3 = 0,44 \cdot \ln(f_r) + 3,64. \quad (4)$$

Заменяя числовые параметры в зависимостях (3) и (4) на буквенные обозначения, получим зависимость:

$$\eta_3 = G_1 \cdot \ln(f_r) + G_2, \quad (5)$$

где  $f_r$  – значение относительной площади смятия поперечных выступов стеклопластиковой арматуры;

$G_1$  и  $G_2$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от угла наклона навивок профиля и принимаемые согласно таблице 2.

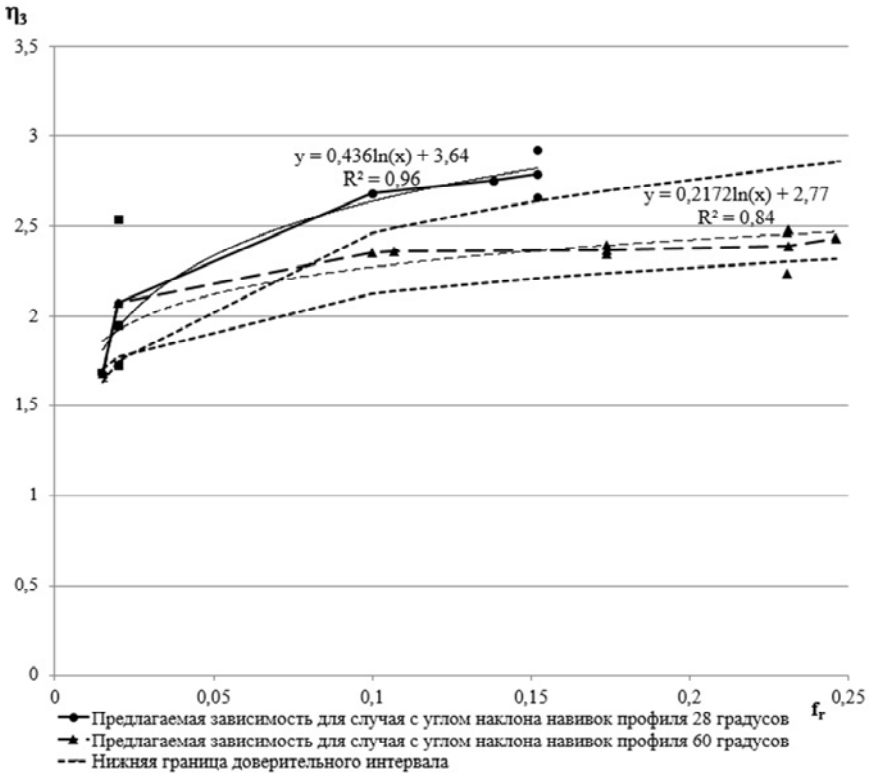


Рисунок 6. – Зависимость опытных значений коэффициента  $\eta_3$  от относительной площади смятия поперечных выступов стеклопластиковой арматуры

Таблица 2. – Значения коэффициентов  $G_1$  и  $G_2$  к зависимости (5) и (6)

Значение угла наклона навивок профиля, $\alpha,^\circ$	Значение безразмерного коэффициента $G_1$	Значение безразмерного коэффициента $G_2$
28	0,44	3,64
60	0,22	2,77

Для промежуточных значений углов наклона навивок профиля значение коэффициента  $\eta_3$  предлагается определять интполяцией.

С целью назначения коэффициента  $\eta_3$  с доверительной вероятностью 95%, значение данного коэффициента предлагается снижать на величину границы доверительного интервала, равную ( $t \times S$ ). Тогда зависимость, коэффициента  $\eta_3$  от относительной площади смятия профиля ( $f_r$ ) будет представлена в виде:

$$\eta_3 = G_1 \cdot \ln(f_r) + G_2 - 0,24, \quad (6)$$

где 0,24 – граница доверительного интервала с обеспеченностью 0,95.

Полученные логарифмические модели справедливы при значениях относительной площади смятия 0,015...0,25 и углах наклона профиля от  $28^0$  до  $60^0$ .

Используя полученные логарифмические модели, построен сводный график сопоставления длины анкеровки, полученной расчетным методом по предлагаемым рекомендациям, с фактическим ее значением. Среднеквадратическое отклонение, характеризующее рассеивание эмпирических точек вокруг линии среднего значения относительной длины анкеровки равно  $S = 0,765$ . Коэффициент вариации составляет 3,1%. Расчетные данные вполне хорошо согласуются с результатами опытных данных.

Таким образом, расчетную длину анкеровки стеклопластиковой арматуры в бетоне предлагается определять согласно нормативной методике СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» для расчета анкеровки стальной арматуры при условии назначения коэффициента  $\eta_3$  в формуле для определения предельного напряжения сцепления по контакту арматуры с бетоном ( $f_{bd}$ ), по рекомендуемой зависимости (6). При этом, указанная зависимость справедлива при значениях относительной площади смятия от  $f_r = 0,01$  до  $f_r = 0,25$  и углах наклона профиля от  $28^0$  до  $60^0$ , а также при фактической прочности бетона на сжатие, соответствующей классу C30/37.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации:

1. Экспериментальные исследования показали большую распорность периодического профиля стеклопластиковой арматуры, имеющей наименьший угол наклона навивок профиля, составляющий  $28^{\circ}$ , что в дальнейшем позволит прогнозировать вероятность раскалывания стеклопластбетонных образцов [5, 6, 8].

2. Впервые установлены опытные зависимости, показывающие, что прочность сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры повышается с увеличением относительной площади смятия поперечных выступов профиля [4, 7, 8].

3. Получены экспериментальные зависимости, показывающие, что увеличение длины заделки арматуры в бетон приводит к снижению величины перемещений арматурных стержней относительно бетона. Причем, для арматуры с большими значениями относительной площади смятия профиля это снижение происходит более интенсивно, что подтверждает актуальность назначения более высоких значений относительной площади смятия поперечных выступов профиля при изготовлении арматуры с целью снижения взаимных перемещений стеклопластиковых стержней и бетона в стеклопластбетонных конструкциях [3, 8, 9].

4. В результате эксперимента установлено, что при длине заделки арматурных стержней в бетон, равной  $30\varnothing$ , параметры периодического профиля не оказывают значительного влияния на величину перемещений незагруженного конца стержня. При длине заделки арматуры в бетон, равной  $20\varnothing$  и менее, при примерно одинаковом значении относительной площади смятия профиля стержней образцы с арматурой с двумя навивками в сечении стержня и меньшим углом наклона навивок имели меньшие значения перемещений незагруженного конца стержня. Полученные данные позволяют установить наиболее полный перечень факторов, влияющих на величину перемещений стеклопластиковой арматуры относительно бетона [3, 8, 10, 11].

5. На основании экспериментально-теоретических исследований с использованием методов регрессионного анализа определены значения коэффициента  $\eta_3$  в формуле для определения среднего значения предельного напряжения сцепления по контакту стеклопластиковой арматуры с бетоном, учитывающего относительную площадь смятия периодического профиля и угол наклона навивок профиля. Получены

опытные функциональные зависимости, позволяющие определять значения коэффициента  $\eta_3$  для стеклопластиковой арматуры с различными значениями относительной площади смятия поперечных выступов профиля и с различными углами наклона навивок профиля [1, 2, 3].

6. Разработаны предложения по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковой стержневой арматуры с учетом геометрических параметров периодического профиля арматуры. Предложения позволяют решить важную прикладную задачу назначения оптимальных параметров периодического профиля при изготовлении стеклопластиковой арматуры, что способствует эффективному внедрению в строительную отрасль композитной арматуры. Сопоставление опытной и расчетной длины анкеровки показало, что методика расчета с использованием предлагаемых рекомендаций дает хорошее приближение к экспериментальным данным [2].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов:**

С целью обоснованного применения композитной арматуры в строительстве, рекомендуется при конструировании изгибаемых стеклопластбетонных конструкций назначать длину анкеровки стеклопластиковой арматуры согласно нормативной методике СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции» для расчета анкеровки стальной арматуры при условии назначения коэффициента  $\eta_3$  в формуле для определения предельного напряжения сцепления по контакту арматуры с бетоном ( $f_{bd}$ ), по рекомендуемой зависимости (5.5). При этом указанная зависимость справедлива при значениях относительной площади смятия от  $f_r = 0,01$  до  $f_r = 0,25$  и углах наклона профиля от  $28^0$  до  $60^0$ , а также при фактической прочности бетона на сжатие, соответствующей классу С30/37.



## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных журналах

1. Садин, Э. Я. Анкеровка в бетоне стеклопластиковой арматуры, производимой в Республике Беларусь / Э. Я. Садин // Архитектура и стр-во. – 2016. – № 3. – С. 68–71.

2. Садин, Э. Я. Расчетная оценка анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры производимой в Республике Беларусь / Э. Я. Садин // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 4. – С. 308–314.

3. Садин, Э. Я. Экспериментальные исследования деформативности сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры производства Республики Беларусь / Э. Я. Садин, А. А. Хотько // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикл. науки. Строительство. – 2016. – № 8. – С. 79–84.

### Статьи в сборниках научных трудов, материалах конференций

4. Хотько, А. А. Экспериментальные исследования сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XIX Междунар. науч.-метод. семинара , Брест, 23-25 окт. 2014 г. / БрГТУ. – Брест, 2014. – Ч. 1. – С. 292–297.

5. Хотько, А. А. Экспериментальные исследования прочности сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры производителей Республики Беларусь / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Актуальные проблемы инновационной подготовки инженерных кадров при переходе строительной отрасли на европейские стандарты : БПИ – БГПА – БНТУ, 1920–2015 : 95 лет : сб. Междунар. науч.-техн. ст. (материалы науч.-метод. конф., Минск, 26–27 мая 2015 г.) / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т, строит. фак-т ; [редкол.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа]. – Минск, 2015. – С. 124–131.

6. Хотько, А. А. Сравнительные испытания на прочность сцепления с бетоном / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : материалы XX Междунар. науч.-метод. семинара (Гродно, 17–19 февр. 2016 г.) / М-во образования Респ. Беларусь, Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы ; [редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред.) и др.]. – Гродно, 2016. – С. 193–198.

7. Хотько, А. А. Анкерующая способность стеклопластиковой арматуры в бетоне / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева, Минск, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т, Гос.предпр. «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», Союз строителей Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – С. 139–144.

8. Хотько, А. А. Сцепление с бетоном стеклопластиковой арматуры с различными параметрами периодического профиля / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. трудов / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2016. – Вып. 8. – С. 307–320.

### **Тезисы докладов**

9. Садин, Э. Я. Проблемы эффективного применения стеклопластиковой арматуры при армировании стеклопластбетонных конструкций / Э. Я. Садин // IV Междунар. научная конференция иранских студентов в Беларуси / БГУИР. – Минск, 2013. – С. 55.

10. Хотько, А. А. Свойства композитной арматуры разных производителей. 1 / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т ; [редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко]. – Минск, 2014. – Т. 2. – С. 377–378.

11. Хотько, А. А. Свойства композитной арматуры разных производителей. 2 / А. А. Хотько, Э. Я. Садин // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т ; [редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко]. – Минск, 2014. – Т. 2. – С. 378–379.

**РЭЗЮМЭ****Садін Эбраім Ягуб****СУМЕСНАЯ РАБОТА БЕТОНА І ШКЛОПЛАСТЫКАВАЙ  
АРМАТУРЫ З РОЗНЫМІ ВІДАМІ ПЕРЫЯДЫЧНАГА  
ПРОФІЛЮ**

Ключавыя словы: шклопластыкавая арматура, кампазітабетонныя канструкцыі, счাপленне, анкероўкі, трываласць, дэфармацыі.

Аб'ектам даследавання ў з'яўляецца шклопластыкавая арматура з рознымі геаметрычнымі параметрамі перыядычнага профілю.

Прадметам даследавання з'яўляюцца характарыстыкі счাপлення з бетоном шклопластыкавай арматуры з рознымі велічынямі адносна плошчы змятага перыядычнага профілю, кутамі навіўкі профілю і лікам навівак ў перасеку.

Мэта работы складаецца ў распрацоўцы прапановы па разліку анкероўкі ў бетоне шклопластыкавай стрыжневай арматуры з улікам геаметрычных параметраў перыядычнага профілю арматуры.

Пры выкананні працы выкарыстоўваліся эксперыментальныя метады даследавання ў счাপлення арматуры з бетоном, а таксама статыстычныя метады апрацоўкі эксперыментальных дадзеных.

У працы выкананы эксперыментальныя даследаванні счاپлення з бетоном і анкероўкі шклопластыкавай арматуры з рознымі геаметрычнымі параметрамі перыядычнага профілю. Упершыню атрыманы дадзеныя пра ўплыў адноснай плошчы змятых перыядычнага профілю шклопластыкавай арматуры, а таксама вугла нахілу навівак профілю на трываласць счاپлення з бетоном і перамяшчэння стрыжняў адносна бетону. Распрацаваны прапановы па разліку анкероўкі ў бетоне шклопластыкавага арматурных стрыжняў, якія дазваляюць вызначаць даўжыню анкероўкі шклопластыкавага арматуры, улічваючы адносную плошчу змятых папярочных выступаў і кут нахілу навівак профілю.

Вынікі даследаванняў даюць магчымасць абгрунтаванага вызначэння сярэдняга значэння гранічнага напружання счاپлення па кантакце з бетоном для ужывальных відаў шклопластыкавай арматуры, а таксама спрыяюць ўкараненню ў практыку будаўніцтва шклопластыкавага арматуры з іншымі параметрамі перыядычнага профілю.

**РЕЗЮМЕ****Садин Эбраим Ягуб****СОВМЕСТНАЯ РАБОТА БЕТОНА И СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ  
АРМАТУРЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО  
ПРОФИЛЯ**

Ключевые слова: стеклопластиковая арматура, композитобетонные конструкции, сцепление, анкеровка, прочность, деформации.

Объектом исследований является стеклопластиковая арматура с различными геометрическими параметрами периодического профиля.

Предметом исследования являются характеристики сцепления с бетоном стеклопластиковой арматуры с различными величинами относительной площади смятия периодического профиля, углами навивки профиля и числом навивок в сечении.

Цель работы состоит в разработке предложений по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковой стержневой арматуры с учетом геометрических параметров периодического профиля арматуры.

При выполнении работы использовались экспериментальные методы исследований сцепления арматуры с бетоном, а также статистические методы обработки экспериментальных данных.

В работе выполнены экспериментальные исследования сцепления с бетоном и анкеровки стеклопластиковой арматуры с различными геометрическими параметрами периодического профиля. Впервые получены данные о влиянии относительной площади смятия периодического профиля стеклопластиковой арматуры, а также угла наклона навивок профиля на прочность сцепления с бетоном и перемещения стержней относительно бетона. Разработаны предложения по расчету анкеровки в бетоне стеклопластиковых арматурных стержней, позволяющие определять длину анкеровки стеклопластиковой арматуры, учитывая относительную площадь смятия поперечных выступов и угол наклона навивок профиля.

Результаты исследований дают возможность обоснованного определения среднего значения предельного напряжения сцепления по контакту с бетоном для применяемых видов стеклопластиковой арматуры, а также способствуют внедрению в практику строительства стеклопластиковой арматуры с другими параметрами периодического профиля.

**SUMMARY**  
**Sadin Ebrahim Yaghoub**

**COMBINED ACTION OF CONCRETE AND FIBERGLASS REBAR  
WITH DIFFERENT TYPES OF PERIODIC PROFILE**

Keywords: fiberglass reinforcement, composite concrete structures, bond, anchoring, durability, deformations.

The subject of research is fiberglass rebar with different geometrical parameters of a periodic profile.

The subject of research are characteristics of bonding of fiberglass rebar with different values of a relative area of bearing of a periodic profile rib, tilt angles of profile rib and a number of ribs in section with concrete.

The aim of the work is to develop proposals for calculation of embedment within the concrete of fiberglass rod rebar taking into account geometrical parameters of a periodic profile of rebar.

In performing the work there were used investigations of bond as well as statistical methods of processing of experimental data.

In the work there were performed the experimental researches of bonding with concrete and anchoring in it of fiberglass rebar with different geometrical parameters of periodic profile. For the first time ever there were obtained evidences of influence of relative rib area of periodic profile, as well as tilt angle of profile ribs of fiberglass rebar on durability and shifts of rods relative to the concrete. The proposals on calculation of anchoring within the concrete of fiberglass reinforcement rods allowing to determine the length of anchoring of fiberglass rebar were developed, taking into account a relative rib area of transverse projections and tilt angle of profile ribs.

Research results give a possibility to determine reasonably by the contact with concrete the bond limiting stress mean value for the used types of fiberglass reinforcement and also to promote the implementation in the construction practices the fiberglass reinforcement with other parameters of periodic profile.

Научное издание

**САДИН**  
**Эбраим Ягуб**

**СОВМЕСТНАЯ РАБОТА БЕТОНА  
И СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ  
С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности  
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Подписано в печать 12.04.2017. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,27. Тираж 80. Заказ 293.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.