

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

УДК 624.072.22.012.454.042(043.3)

КОЛТУНОВ Александр Иванович

**ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПО НАКЛОННЫМ
СЕЧЕНИЯМ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
С ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ
КЛАССА А_t600С**

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции,
здания и сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск - 1999

Работа выполнена в Полоцком государственном университете

Научный руководитель кандидат технических наук,
доцент
Терин В.Д.

Научный консультант доктор технических наук,
профессор
Мадатян С.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Пастушков Г.П.

кандидат технических наук,
доцент
Кандратчик А.А.

Оппонирующая организация - институт БелНИИС Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Защита состоится "___" _____ 1999 г. в ___ часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.05.09 при Белорусской государственной политехнической академии по адресу: 220027, г. Минск, проспект Ф. Скорины, 65, ауд. 202, тел.264-98-65 (0172).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусской государственной политехнической академии.

Автореферат разослан "___" _____ 1999 г.

Ученый секретарь совета по
защите диссертаций Д.02.05.09

Е.М. Сидорович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В связи с резким подорожанием в последние годы арматурных сталей особую актуальность приобретает задача снижения металлоемкости железобетонных изделий. Одним из путей ее решения является применение эффективных видов арматуры с более высокими прочностными характеристиками.

До недавнего времени считалось, что в железобетонных конструкциях без преднапряжения можно эффективно использовать арматуру с нормативным пределом текучести не выше 400 МПа. Однако исследования НИИЖБ, ПГУ и других организаций показали возможность эффективного использования в качестве рабочей арматуры повышенной прочности с пределом текучести до 600 МПа.

В последние годы в Республике Беларусь активно ведутся работы по освоению полного сортамента арматуры класса Ат600С с серповидным профилем, гармонизированным с Евростандартом EN10080. Такая арматура будет конкурентна на мировом рынке и позволит экономно расходовать сталь при изготовлении железобетонных конструкций.

Производство арматуры класса Ат600С освоено на Белорусском металлургическом заводе (БМЗ) из стали марок 25Г2С и 30Г2 по технологии термомеханического упрочнения в потоке прокатного стана.

Технология производства и переработки бунтовой арматуры имеет особенности по сравнению со стержневой, поставляемой потребителю в пакетах прямолинейными стержнями. Это дает основание рассматривать с позиции потребителя данную арматуру, независимо от класса прочности, как отдельный вид проката.

Широкое внедрение арматуры повышенной прочности предполагает ее эффективное использование не только в качестве рабочей продольной, но и поперечной. Однако действующие нормы проектирования при использовании расчетной поперечной арматуры классов выше А400 предписывают принимать в этом случае расчетное сопротивление $R_{sw}=285$ МПа, то есть как для класса А 400.

Экспериментальные данные, подтверждающие или опровергающие это положение, отсутствуют, потому что исследования изгибаемых элементов с поперечной арматурой класса Ат600С ранее не проводились.

Данная работа выполнена в соответствии с комплексной программой "Стройпрогресс 2000" Министерства строительства и архитектуры Российской Федерации, а также во исполнение концепции снижения материалоемкости и энергоемкости, повышения качества, надежности и сокращения сроков строительства на основе совершенствования индустрии сборного железобетона, утвержденной Госстроем Республики Беларусь в 1992 году.

Цель работы: обоснование возможности и условий эффективного использования арматуры класса Ат600С в качестве поперечной в изгибаемых железобетонных элементах.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- исследовать механические свойства бунтовой арматуры опытных партий в состоянии поставки;
- изучить влияние технологических переделов на характеристики механических свойств и геометрические параметры профиля арматуры;
- исследовать прочность и трещиностойкость по наклонным сечениям изгибаемых железобетонных элементов с поперечной арматурой класса Ат600С.

Объектом исследования являлись бунтовая термомеханически упрочненная арматура класса Ат600С и изгибаемые железобетонные элементы с такой арматурой.

Предмет исследования – механические свойства бунтовой термомеханически упрочненной арматуры класса Ат600С, влияние технологических переделов на механические свойства и параметры ее профиля, а также прочность и трещиностойкость железобетонных балок с поперечным армированием такой арматурой.

Методология и методы проведения исследований. При выполнении данной работы использовались экспериментальные методы исследований механических свойств арматуры, прочности и трещиностойкости железобетонных элементов, а также статистические методы обработки экспериментальных данных.

Научную новизну работы составляют :

- результаты экспериментальных исследований механических свойств бунтовой термомеханически упрочненной арматуры диаметром 6 и 8 мм в состоянии поставки;
- установленные зависимости влияния технологических переделов (правка и контактно-точечная сварка) на механические свойства и параметры профиля арматуры;
- впервые полученные экспериментальные данные о прочности и трещиностойкости по наклонным сечениям изгибаемых элементов с поперечной арматурой класса Ат600С;
- предложения по уточнению расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям.

Научная значимость результатов проведенных исследований состоит в том, что они открыли резервы снижения металлоемкости обычного железобетона и способствовали постановке новых исследований с целью уточнения

требований к характеристикам сварных соединений арматуры в сетках и каркасах и возможности эффективного использования гладкой арматуры повышенной прочности.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что проведенные исследования позволили оценить механические свойства бунтовой арматуры класса Ат600С, выпускаемой Белорусским металлургическим заводом, с учетом влияния факторов термомеханического упрочнения стали и последующих технологических переделов и дать предложения в нормы проектирования (проект СНБ) по назначению расчетного сопротивления и модуля упругости указанной арматуры. На основании этого были разработаны технические условия на опытные партии железобетонных конструкций с эффективным армированием, даны рекомендации по режимам контактно-точечной сварки крестообразных соединений арматуры, позволяющие экономить электроэнергию при изготовлении сеток и каркасов.

Экономическая значимость полученных результатов заключается в том, что применение арматуры класса Ат600С взамен класса А400 при армировании изгибаемых элементов позволяет снизить их металлоемкость. Внедрение результатов исследований на ряде заводов ЖБИ позволило получить экономию стали при производстве сборного железобетона.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальных исследований механических свойств и параметров профиля бунтовой арматуры опытных партий;
- методика экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных элементов, разрушающихся по наклонным сечениям;
- данные экспериментально-теоретических исследований прочности и трещиностойкости по наклонным сечениям железобетонных конструкций, армированных поперечной арматурой класса Ат600С;
- результаты сопоставительного анализа расчетных (с применением различных методик) значений прочности балок по наклонным сечениям с опытными;
- экспериментальные данные об особенностях напряженно-деформированного состояния балок с различным профилем поперечной арматуры и различными видами соединений ее с продольной;
- предложения по уточнению расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям.

Личный вклад соискателя. Диссертационная работа выполнялась автором самостоятельно на кафедре "Железобетонные и каменные конструкции" Полоцкого государственного университета при научном руководстве кандидата технических наук, доцента В.Д. Терина и научной консультации доктора технических наук, профессора С.А. Мадатяна.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации доложены, обсуждены и опубликованы в трудах следующих конференций и семинаров: научной конференции Могилевского машиностроительного института (1994 г.); международных конференциях "Инженерные проблемы современного бетона и железобетона" (Иваново 1995 г.; Минск 1997 г.); научно-методических межвузовских семинарах "Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь" (Брест 1997 г.; Гомель 1997 г.; Могилев 1998 г.); научно-технической конференции Полоцкого государственного университета (Новополоцк 1992-1998 гг).

Опубликованность результатов. Положения диссертации опубликованы в 5 статьях в сборниках научных трудов и тезисах одного доклада. Общее количество опубликованных материалов составляет 24 страницы печатного текста.

Структура и объем диссертации. Данная диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, содержащей четыре главы, основных выводов, списка использованных источников из 126 наименований. Объем работы 153 страницы, включая 69 страниц машинописного текста, 11 таблиц, 69 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается оценка современного состояния решаемой проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обосновывается необходимость проведения работы.

В общей характеристике работы обосновывается актуальность темы диссертации, связь работы с крупными научными программами, цель и задачи исследования, научная новизна, практическая и экономическая значимость полученных результатов, излагаются основные положения диссертации, выносимые на защиту, указываются научные конференции, на которых были представлены результаты исследований, публикации по теме диссертации, структура и объем диссертации.

Первая глава посвящается анализу состояния вопроса и определению целей исследования.

Экспериментальные и теоретические исследования работы изгибаемых железобетонных элементов по наклонным сечениям, выполненные Ш.А. Алиевым, Т.И. Барановой, И.К. Белобровым, А.С. Залесовым, А.С. Зоричем, Ю.Л. Изотовым, О.Ф. Ильиным, В.Г. Карабашем, А.А. Кондратчиком, Ю.А. Климовым, Р.Л. Маилянном, В.П. Митрофановым, О.А. Рочняком, В.Н. Сахаровым, Б.С. Соколовым, Б.У. Усенбаевым, А.Е. Шиловым, Н.Н. Яромичем и другими

5

позволяют дать четкую классификацию разрушения элементов, показывают влияние различных факторов (пролет среза, процент продольного и поперечного армирования, прочность бетона, размеры поперечного сечения и т.д.) на несущую способность и трещиностойкость. В практике проектирования железобетонных конструкций разных стран применяют отличающиеся по принципам построения и получаемым результатам методы расчета прочности и трещиностойкости на действие поперечных сил. Среди них выделяются методы, принятые ЕКБ и СНиП 2.03.01-84, а также разработанный Ю.А. Климовым.

Белорусским металлургическим заводом на стане 320/150 освоено производство бунтовой термомеханически упрочненной арматуры диаметром 6-8 мм. Особенность технологии производства арматуры малых диаметров заключается в высокой скорости прокатки (60-100 м/с), которая диктует необходимость смотки проката в бунты массой около 1,5 т. При этом не обеспечивается стабильность температурных режимов закалки и отпуска по длине стержня в бунте, что сказывается в конечном итоге на механических характеристиках стали и требует дополнительных исследований.

Технология переработки бунтовой арматуры на заводах железобетонных конструкций также имеет особенности по сравнению со стержневой, поставляемой потребителю в пакетах прямолинейными стержнями. Результаты многочисленных исследований различных марок стали и классов показали, что технологические переделы, которым подвергается арматура при производстве железобетона, оказывают влияние (иногда существенное) на ее свойства. Таким образом, в готовой конструкции арматура имеет свойства, отличные от свойств в состоянии поставки, и для эффективного ее использования важно не только знать об этих изменениях, но и уметь количественно их оценивать.

Полученные ранее результаты экспериментальных исследований изгибаемых железобетонных элементов при действии поперечных сил, а также теории расчета прочности и трещиностойкости основаны на изучении конструкций с арматурой в наклонных сечениях классов А400 и ниже. Вопросы рационального использования высокопрочных сортов арматуры для армирования наклонных сечений изгибаемых железобетонных конструкций не рассмотрены в достаточной мере. Кроме того, недостаточно изучена изменчивость механических свойств термомеханически упрочненной арматуры, наблюдаемая в результате влияния технологических факторов металлургического производства и переделов на заводах железобетонных конструкций. Отсутствуют данные о прочности, сопротивлении образованию и раскрытию трещин в наклонных сечениях железобетонных конструкций, армированных поперечными стержнями из высокопрочной стали, прикрепленных к продольной арматуре каркаса в виде сварных и вязанных соединений.

Вышеуказанные обстоятельства сдерживают массовое внедрение в практику строительства высокопрочной свариваемой арматуры класса Аt600С, которая дает по сравнению с традиционно применяемым классом А400 экономию стали до 30 %. Для полной замены арматуры класса А400 на арматуру класса А600 необходимы специальные исследования условий ее применения в наклонных сечениях изгибаемых элементов.

Во второй главе изложены результаты исследований механических свойств и параметров профиля бунтовой арматуры опытно-промышленных партий.

Для изучения механических свойств, а также влияния на них технологических переделов использовали арматуру опытно-промышленных партий диаметром 6 и 8 мм из сталей марок 25Г2С и 30Г2.

Изучение механических свойств арматуры осуществляли путем испытаний на растяжение (согласно ГОСТ 12004-81) натуральных образцов. Для испытания отбиралось по 12 образцов от разных частей бунтов - начала, середины и конца в состоянии поставки и для сравнения - после правки на станках типа СМЖ-142.

Для объективной оценки свойств определенного класса арматуры и назначения нормативных и расчетных сопротивлений необходимо изучение их изменчивости. Неоднородность характеристик механических свойств исследовали путем статистической обработки данных по результатам испытаний натуральных образцов. При этом определяли средние значения характеристик и их среднеквадратическое отклонение в партии - плавке S_0 и в генеральной совокупности - S .

Выборку результатов для составления генеральной совокупности данных производили с соблюдением следующих условий:

- от каждой партии в выборку включали случайно отобранные результаты испытаний двенадцати образцов;

- в тех случаях, когда количество образцов от партии составляло менее двенадцати, их результаты засчитывались дважды или трижды, чтобы общее количество составляло 12. При составлении генеральной совокупности были использованы данные авторов, а также результаты приемо-сдаточных испытаний образцов от 52 опытно-промышленных партий арматуры Белорусского металлургического завода за период 1992-1994 годов, которые по сертификационным данным соответствовали классу Аt600С. Были получены численные значения характеристик для генеральной совокупности данных.

Средние значения σ_{02} и σ_{01} в состоянии поставки - 682 и 860 МПа, их среднеквадратические отклонения $S = 92$ и 80 МПа.

Полученные данные свидетельствуют о большей неоднородности механических свойств термомеханически упрочненной бунтовой арматуры по сравнению с аналогичной стержневой.

Для исследований прочности крестообразных соединений правленной арматуры типа К1 по ГОСТ 14098 стержни сваривались на контактно-точечной машине типа Мт2510 при параметрах режимов, различающихся по степени "жесткости" и по величине относительной осадки.

"Жесткость" режима определялась силой сварочного тока регулируемой трансформатором контактной машины, выдержкой под током и величиной относительной осадки. Чем выше сварочный ток и меньше выдержка под током (при одинаковой величине относительной осадки), тем жестче режим сварки.

При испытаниях на растяжение (ослабление рабочего стержня диаметром 6 мм из стали класса Аt600С) сварные соединения арматуры всех образцов, выполненные на оптимальных режимах изготовления, разрушались при испытаниях по основному металлу вдали от места сварки при нагрузках, соответствующих пределу прочности стали.

При этом арматура не разупрочнялась даже при одновременно весьма высоких показателях прочности, мягком режиме и большой осадке стержня в стержень, т.е. факторах, увеличивающих возможность разупрочнения, из чего следует, что разупрочнить данную арматуру даже при существенных нарушениях технологии весьма затруднительно.

Независимо от прочности исходной стали, жесткости режимов и практически независимо от величины осадки все образцы при испытаниях на срез характеризуются пределом прочности выше требований европейских норм, по которым прочность на срез должна быть не менее 1/3 от прочности исходного материала.

В третьей главе изложена методика проектирования, изготовления и испытаний опытных образцов.

В соответствии с поставленными задачами запроектированы и изготовлены железобетонные балки прямоугольного профиля в количестве 12 штук с размерами сечения 150x300 мм, армированные продольными стержнями диаметром 12 мм из стали класса Аt600С. Характеристики опытных образцов приведены в табл. 1.

В качестве варьируемых факторов эксперимента приняты:

- класс поперечной арматуры (Аt600С, А250);
- профиль поперечной арматуры (гладкий, периодический);
- процент поперечного армирования $\mu_{пр}$, % (0,25; 0,36; 0,5);
- тип соединения продольной и поперечной арматуры ("равнопрочное", сварное и "вязанное");
- пролет среза c/h_0 (1.35; 2.3; 3.3).

Таблица 1

Характеристика опытных образцов

Шифр балок	С/№	Тип соединения продольной и поперечной арматуры	Класс арматуры хомутов	Шаг хомутов в пролете среза S, мм	Прочность бетона		Условные обозначения
					R _b , МПа	R _{ср} , МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8
Б-II-I	1.35	Р	Ат600С	110	14.9	1.2	□
Б-II-III	3.3	Р	Ат600С	110	14.9	1.2	○
Б-I-II	2.3	Р	Ат600С	75	14.9	1.2	▽
Б-II-II	2.3	Р	Ат600С	110	14.9	1.2	△
Б-II-II-B	2.3	В	Ат600С	110	14.9	1.2	◇
Б-II-II-C	2.3	С	Ат600С	110	14.9	1.2	◻
Б-II-II-I	2.3	Р	А25008	110	14.9	1.2	●
Б-II-II	2.3	Р	Ат600С	150	14.9	1.2	○
Б-II-II	2.3	Р	Ат600С (гл.)	110	12.4	0.98	●
Б-II-II-Г	2.3	Р	Ат600С	110	12.4	0.98	▲
Б-II-II-B	2.3	В	Ат600С	110	12.4	0.98	●
Б-II-II-C	2.3	С	Ат600С	110	12.4	0.98	◆

Примечание. В графе 3 для типов соединений продольной и поперечной арматуры балок приняты следующие условные обозначения: Р – "равнопрочное", С – сварное, В – "вязанное".

Соединения продольной и поперечной арматуры в каркасах балок выполнялись в трех вариантах:

- "равнопрочные" в виде замкнутых хомутов, огибающих продольную арматуру;

- сварные, выполненные при помощи контактно-точечной сварки с предварительным подбором режима, обеспечивающего при испытаниях крестообразных соединений на срез усилие, равное 30 % разрывного усилия хомутов;

- "вязанные", обеспечивающие только фиксацию положения стержня в каркасах.

Контактно-точечная сварка продольной и поперечной арматуры в каркасах балок, обеспечивающая 30 % разрывного усилия хомутов, принята с целью опытной проверки влияния данного типа соединения на работу изгибаемых элементов по наклонным сечениям.

В качестве поперечной использовалась арматура диаметром 6 мм из стали 25Г2С БМЗ, а также диаметром 8 мм класса А250 из стали марки СтЗпсЗ. При этом отбирались арматурные стержни со стабильными механическими свойствами.

Для определения прочности и деформативности одновременно с изготовлением основных образцов изготавливались контрольные образцы бетона в виде кубов с размером ребра 150 мм и призм с размерами 150x150x600 мм.

Испытания опытных образцов на изгиб проводились в гидравлическом прессе ПР-500. Нагрузка на балки передавалась через распределительную траверсу и систему цилиндрических опор в виде двух сосредоточенных, симметрично расположенных относительно опор сил. Расстояние между точками приложения сил принято постоянным, равным 250 мм.

В процессе испытаний конструкций проводились измерения: деформаций поперечных стержней, расположенных в пределах пролета среза у каждой опоры; усилий образования и раскрытия трещин; ширины раскрытия и длины трещин, прогибов в середине пролета балок.

При измерении деформаций использованы индикаторные тензометры с ценой деления 0,01 мм, установленные на базе измерения 200 мм, а также тензометры с базой измерения 50 мм. Реперы для установки индикаторов закреплялись на поперечной арматуре до бетонирования и изолировались от бетона. Тензорезисторы приклеивались на поверхности бетона конструкций. Показания тензорезисторов регистрировались автоматическим тензометрическим комплексом ЦТК-1.

Ширина раскрытия наклонных трещин измерялась в местах пересечения ими стержней поперечной арматуры при помощи микроскопа МПБ-2 с точностью 0,05 мм.

В середине пролета балок проводились измерения перемещений точек с точностью 0,01 мм прогибомерами 6ПАО с использованием специальной рамки, позволившей исключить включение осадок опор конструкций и получить непосредственное значение прогибов.

После разрушения одного из пролетов среза эти участки балок усиливались стяжными болтами и также доводились до разрушения, что позволило дублировать результаты измерений.

В четвертой главе изложены результаты экспериментальных исследований и дана их расчетная оценка.

Разрушение опытных образцов происходило по двум схемам. По первой схеме в результате раздробления бетона в полосе, образованной наклонными трещинами, разрушалась балка с $s/h = 1.35$. По второй схеме в результате раздробления бетона сжатой зоны разрушались все остальные образцы.

Балки с "вязанными" соединениями поперечных стержней разрушались при нагрузках, на 40...50 % меньших, чем балки со сварными и "равнопрочными" соединениями. Несущая способность образцов со сварными и "равнопрочными" соединениями оказалась приблизительно одинаковой. Усилия, соответствующие ширине раскрытия наклонных трещин, равных 0,4 мм, были получены на уровне (0,9...0,95 Q_u), т.е. за одну или две ступени до разрушения образцов. Исключение составили балки в которых ширина раскрытия наклонных трещин оказалась менее 0,4 мм.

При исследовании влияния класса стали стержней поперечной арматуры установлено, что несущая способность балки с поперечной арматурой диаметром 8 мм класса А250 и балки с поперечной арматурой диаметром 6 мм класса Ат600С была приблизительно одинаковой.

Ширина раскрытия наклонных трещин, равных 0,4 мм, в балке с поперечными стержнями из мягкой стали класса А250 наблюдалась на значительно ранней ступени нагружения по сравнению с другими элементами, т.е. на уровне 0,67, что связано с низким пределом текучести стали.

Отличие типов профиля сечения поперечной арматуры в балках не оказало заметного влияния на их несущую способность.

На основании проведенных измерений взаимных перемещений точек закрепления индикаторных тензометров, расположенных по линиям размещения поперечных стержней в исследованных балках, получены значения средних деформаций и определены некоторые закономерности их развития.

Представленный ниже характер изменений деформаций, соответствующих каждому из рассматриваемых поперечных стержней пролетов среза, в зависимо-

сти от уровня внешней нагрузки на опытные образцы позволил установить, что на начальных стадиях нагружения, до момента образования наклонных трещин, зависимость "Q-ε" близка к линейной. После образования первых трещин эта зависимость получает перелом и переходит, как правило, в нелинейную. Скорость развития деформаций отдельных стержней в стадии раскрытия трещин неодинакова. Деформации хомутов, располагающихся в середине пролета среза, развивались более интенсивно по сравнению с деформацией хомутов, находящихся вблизи опоры или точки приложения внешней нагрузки.

Сопоставление форм кривых зависимости "Q-ε" поперечных стержней опытных балок позволяет отметить также явление перераспределения усилий между отдельными хомутами пролета среза. В результате того, что после уровня деформаций $(250...300) \times 10^{-5}$ напряжения в средних поперечных стержнях увеличиваются, подчиняясь нелинейной зависимости, т.е. приращение напряжений не пропорционально соответствующей ступени увеличения деформаций.

По этой причине, видимо, доля усилий от увеличивающей внешней нагрузки, которую не способны воспринять средние стержни пролета среза, перераспределяется на менее нагруженные крайние стержни, что сопровождается приращением ширины наклонных трещин в бетоне.

Эпюры, построенные по значениям предельных деформаций поперечной арматуры балок, измеренных в стадиях нагружения, предшествующих разрушению, имеют в целом симметричную конфигурацию относительно середины пролета опытных образцов. Некоторые отклонения от симметричной формы эпюры распределения деформаций в хомутах связаны, кроме прочего, с особенностью методики испытания, которая предусматривала повторные нагружения балок после усиления разрушившегося пролета среза у одной из опор.

Предельные деформации крайних хомутов, наиболее удаленных от середины пролета среза всех рассмотренных балок, не превышали, как правило, значений 100×10^{-5} . В стержнях хомутов, располагавшихся вблизи середины пролетов среза балок, предельные деформации значительно превышали предельные деформации крайних хомутов и достигали значений в отдельных образцах порядка $(500...700) \times 10^{-5}$, что зависело от рассматриваемых варьируемых факторов эксперимента.

Несущая способность балок с поперечной арматурой класса Ат600С диаметром 6 мм благодаря реализации более высоких напряжений в сечениях хомутов оказалась примерно равной несущей способности балок с поперечной арматурой класса А250 диаметром 8 мм.

Следовательно, как показал эксперимент, существуют возможности замены армирования поперечных стержней из стали обычной прочности (А250 и пр.) на армирование из сталей повышенной прочности, не имеющей физического предела текучести, и в частности на сталь Ат600С, что позволит получить экономию стали до 48 %.

Для оценки соотношения опытных и расчетных значений прочности наклонных сечений производился расчет несущей способности опытных балок на действие поперечной силы по методике СНиП 2.03.01-84, методу ферменной аналогии и методике Ю.А. Климова (табл. 2).

При сопоставлении опытных и расчетных данных несущей способности по методике СНиП 2.03.01-84 определено (рис. 1), что без учета более высокого предела текучести стали класса А600 фактическая несущая способность балок превышала теоретическую в 1,48...1,76 раза. При введении в расчет сопротивления поперечной арматуры, равного пределу текучести стали класса Ат600, значение теоретической несущей способности повышается в среднем на 15 % и несколько сближается с опытной. Анализ составляющих расчетных и опытных величин несущей способности показал, что поперечная сила, воспринимаемая хомутами балок (Q_{sw}), во всех случаях, за исключением варианта "вязанного" соединения стержней в каркасе, оказалась несколько большей, чем получено в расчетах. Кроме того, полученная в расчетах поперечная сила, воспринимаемая бетоном (Q_b), составила примерно 50 % от доли усилий (Q_u), приходящихся на другие факторы составляющие несущую способность балок.

Наилучшая сходимость расчетных значений несущей способности с опытными данными получена по модели, предложенной Ю.А. Климовым, которая наиболее полно учитывает особенности напряженно-деформированного состояния и максимальное количество факторов, составляющих прочность наклонных сечений, однако представляется более сложной и трудоемкой по сравнению с другими методами.

Результаты расчетов по рассмотренным выше методам, основанным на данных исследований изгибаемых элементов, армированных поперечными стержнями из сталей классов не выше А400, а также результаты экспериментальных исследований излагаемой работы показали, что применение стали класса Ат600 для поперечного армирования балок позволяет повысить несущую способность наклонных сечений, или при сохранении несущей способности снизить расход стали до 48 % (при переходе с класса А250). Использование более высокого расчетного сопротивления поперечных стержней, соответствующего пределу текучести стали Ат600, сближает опытные и теоретические значения прочности элементов.

Таблица 2

Соотношение опытных и расчетных значений несущей способности балок

Шифр балок	Опытные значения $Q_{u,кН}$	Расчетные значения $Q_{u,кН}$													
		По СНиП 2.03.01-84*						По ферменной аналогии						По модели Ю.А. Климова	
		Q_{u400}	Q_{u600}	$\frac{Q_u}{Q_{u400}}$	$\frac{Q_u}{Q_{u600}}$	Q_{u400}	Q_{u600}	$\frac{Q_u}{Q_{u400}}$	$\frac{Q_u}{Q_{u600}}$	Q_{u400}	Q_{u600}	$\frac{Q_u}{Q_{u400}}$	$\frac{Q_u}{Q_{u600}}$		
Б-II-I	210/218	192	1,12	1,12	1,12	39	59	5,48	3,63	192	204	1,11	1,05		
Б-II-III	145/152	92	1,61	1,40	1,40	39	59	3,82	2,53	122	136	1,22	1,10		
Б-II-II	165/192	117	1,34	1,61	1,40	57	86	3,30	2,18	172	189	1,09	1,00		
Б-II-II	172/177	104	1,17	1,68	1,50	39	59	4,50	2,97	149	161	1,17	1,09		
Б-II-II-B	115/119	104	1,13	1,00	1,00	39	59	3,00	1,96	149	161	0,79	0,73		
Б-II-II-C	167/174	97	1,75	1,50	1,50	32	53	5,31	3,21	141	152	1,21	1,12		
Б-II-II-I	165/169	112	1,49	1,49	1,49	48	48	3,48	3,48	149	149	1,12	1,12		
Б-II-II	155/159	95	1,65	1,47	1,47	29	44	5,41	3,57	136	144	1,15	1,09		
1Б-II-II	138/140	90	1,54	1,35	1,35	39	59	3,56	2,36	119	130	1,17	1,07		
1Б-II-II-Г	138/142	90	1,55	1,36	1,36	39	59	3,59	2,36	119	130	1,18	1,08		
1Б-II-II-B	95/104	90	1,11	0,97	0,97	39	59	2,56	1,69	119	130	0,84	0,77		
1Б-II-II-C	137/143	87	1,61	1,41	1,41	32	53	4,38	2,64	116	124	1,21	1,13		
Среднее отклонение m_x			1,53	1,36	1,36			4,03	2,72			1,10	1,03		
Среднее отклонение $\sigma_m, \%$			5,83	5,25	5,25			28,2	18,79			4,10	3,91		
Границы доверительного интервала при $P_{доп}=0,95$	m_{max}		1,65	1,47	1,47			4,65	3,12			1,19	1,11		
	m_{min}		1,40	1,24	1,24			3,42	2,30			1,02	0,94		
Коэффициент вариации $v, \%$			3,81	3,86	3,86			7,00	6,91			3,73	3,80		

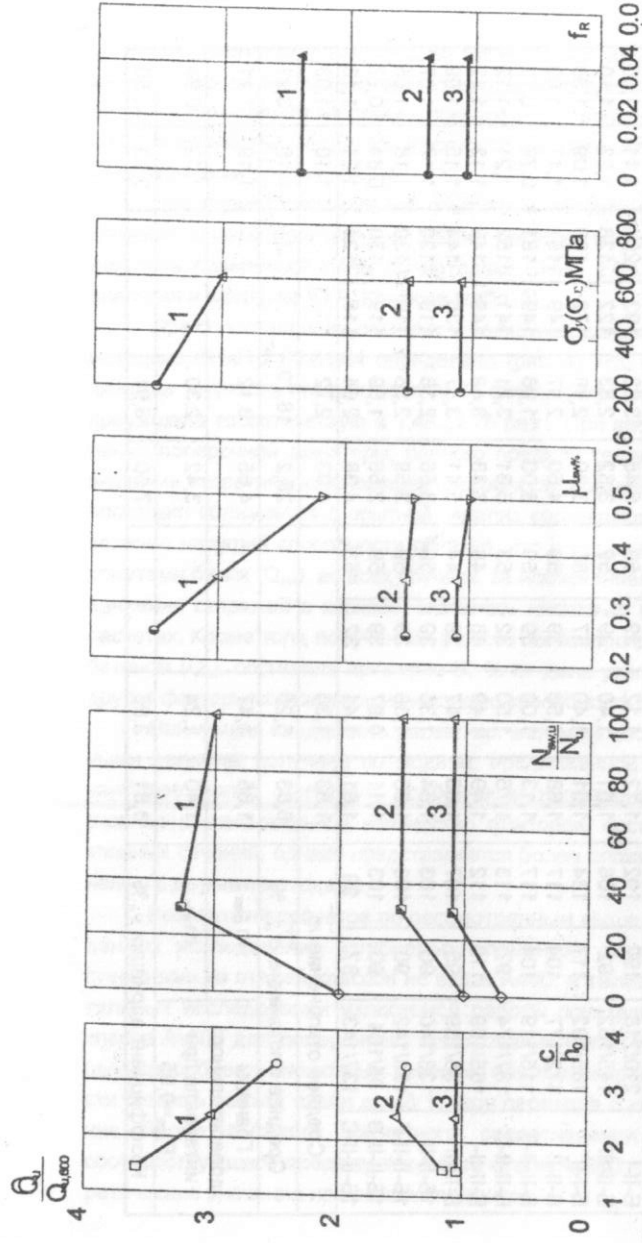


Рис. 1. Зависимости отношения опытной и расчетной несущей способности по наклонным сечениям балок от пролета среза (c/h_0), типа соединения продольной и поперечной арматуры ($N_{sw,av}/N_u$), процента поперечного армирования (μ_{sw}), класса арматуры (σ_y, σ_{02}) и типа профиля (f_R) поперечных стержней.
 $Q_{u,000}$ - поперечная сила вычисленная по методу ферменной аналогии (1), по СНиП 2.03.01-84 (2) и методике Ю.А. Климова (3) с учетом сопротивления поперечных стержней соответствующего пределу текучести арматуры класса Ат600С;
 Q_u - предельная поперечная сила, воспринимаемая наклонными сечениями опытных балок.

Исследование влияния варьируемых факторов эксперимента на трещиностойкость балок показало, что во всех случаях опытное сопротивление раскрытию трещин выше теоретических значений, полученных по различным методикам. При этом методика расчета, предложенная Ю.А. Климовым, дает лучшую сходимость экспериментальных и теоретических результатов, чем методика норм проектирования, благодаря более точной оценке напряжений в поперечной арматуре.

Снижение прочности соединения контактной точечной сваркой поперечных и продольных стержней в каркасе до 30 % временного сопротивления арматуры хомутов не повлияло на сопротивление раскрытию трещин как в опытных балках при испытаниях, так и в расчетах. Повышение класса стали поперечных стержней, их количество в сечениях (μ_{sw}) существенно увеличивают сопротивление раскрытию трещин, что учитывают рассмотренные методы расчетов при достаточно высокой обеспеченности и надежности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, выполненные в работе, позволяют решить важную прикладную задачу по обоснованию возможности и условий эффективного использования арматуры класса Ат600С в качестве поперечной в изгибаемых железобетонных элементах. По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Бунтовая термомеханически упрочненная арматура диаметром 6 и 8 мм производства Белорусского металлургического завода в состоянии поставки обладает более высокой изменчивостью механических характеристик, чем аналогичная стержневая /1, 2/.

Правка бунтовой арматуры в технологическом цикле производства арматурных изделий приводит к увеличению прочностных и снижению пластических характеристик, повышая при этом стабильность данных показателей.

2. Значение модуля упругости арматуры опытных партий изменяется в пределах от $1.97 \cdot 10^5$ до $2.1 \cdot 10^5$ МПа. На основании этого в проект СНБ 2.05.01-97 "Конструкции бетонные и железобетонные. Нормы проектирования" внесено предложение о назначении величины модуля упругости арматуры класса Ат600С, равной $2 \cdot 10^5$ МПа /1, 2/.

3. Исследованная арматура из стали марок 25Г2С и 30Г2 может быть отнесена к свариваемой и использоваться для изготовления сеток и каркасов путем соединения стержней контактно-точечной сваркой /2, 5, 6/.

4. Интенсивность поперечного армирования изгибаемых железобетонных элементов при применении класса Ат600С рекомендуется определять при расчетном сопротивлении хомутов $R_{sw}=405$ МПа /5, 6/.

5. Армирование опытных балок гладкими поперечными стержнями класса Ат600С при равнопрочном соединении их с продольными не повлияло на несущую способность и незначительно снизило сопротивление раскрытию трещин, что указывает на принципиальную возможность применения гладкой арматуры малых диаметров в качестве поперечной /5, 6/.

6. Рассмотренные методы расчетов прочности и трещиностойкости изгибаемых элементов с учетом расчетного сопротивления класса Ат600С в поперечных стержнях показывают превышение опытных результатов над расчетными /3, 5, 6/.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Терин В.Д., Колтунов А.И. Влияние технологических факторов на механические свойства бунтовой арматуры // Инженерные проблемы современного бетона и железобетона: Материалы международной конференции. - Иваново, 1995. - С.433-438.
2. Терин В.Д., Колтунов А.И. Прочность и трещиностойкость балок по наклонным сечениям с арматурой класса Ат-IVC //Сб.: Научные труды общества железобетонщиков Сибири и Урала. - Вып.3. - Новосибирск, 1995. - С.96-98
3. Терин В.Д., Колтунов А.И., Лещкевич О.Н. Перспективы производства и применения ненапрягаемой арматуры повышенной прочности // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сборник научных трудов /Под ред. Т.М. Пецольда. - Минск: БГПА. - 1996. - С.47-51
4. Терин В.Д., Колтунов А.И., Соловьев Д.С. Применение арматуры класса Ат600С в качестве поперечной в изгибаемых железобетонных элементах // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сборник статей III межвузовского семинара /Под ред. Т.М. Пецольда. - Брест: Брестский политехн. ин-тут. - 1997. - С.142-145.
5. Терин В.Д., Колтунов А.И., Соловьев Д.С. Исследование работы изгибаемых железобетонных элементов с поперечной арматурой класса Ат600С // Инженерные проблемы современного бетона и железобетона: Материалы международной конференции. - Минск. - 1997.-Т.1 Ч.2.- С.168-172.
6. Терин В.Д., Колтунов А.И. Механические и технологические свойства арматуры класса Ат-IVC малых диаметров // Проблемы качества и надежности машин: Тез. докл. республик. научно-техн. конф. - Могилев, 1994 - С.122.

РЭЗЮМЭ

Калтуноў Аляксандр Іванавіч МОЦНАСЦЬ І ТРЭШЧЫНАСТОЙКАСЦЬ ПА НАХІЛЕННЫХ СЯЧЭННЯХ ВЫГІНАЕМЫХ ЖАЛЕЗАБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАЎ З ПАПЯРЭЧНАЙ АРМАТУРАЙ КЛАСА АТ600С

Ключавыя словы: моцнасць па нахіленых сячэннях, трэшчынастойкасць, напружанні, дэфармацыі, бунтавая арматура, параметры профілю, механічныя ўласцівасці арматуры.

Аб'ектам даследавання з'яўляліся доследныя партыі бунтавай тэрмамеханічна ўмацаванай арматуры павышанай моцнасці, а таксама выгінаемыя элементы, у якіх указаная арматура выкарыстоўвалася ў якасці разліковай папярэчнай.

Прадмет даследавання – механічныя ўласцівасці бунтавай тэрмамеханічна ўмацаванай арматуры класа Ат600С, уплыў тэхналагічных перапрацовак на механічныя ўласцівасці і параметры яе профілю, а таксама моцнасць і трэшчынастойкасць жалезабетонных балак з папярэчным арміраваннем такой арматурай.

Мэтай работы з'яўляецца абгрунтаванне магчымасці і ўмоў эфектыўнага выкарыстання арматуры класа Ат600С у якасці папярэчнай у выгінаемых жалезабетонных элементах.

Пры выкананні данай работы прымяняліся эксперыментальныя метады даследаванняў механічных уласцівасцей арматуры, моцнасці і трэшчынастойкасці жалезабетонных элементаў, а таксама статыстычныя метады апрацоўкі эксперыментальных даных.

У рабоце даследаваны механічныя ўласцівасці бунтавай тэрмамеханічна ўмацаванай арматуры класа Ат600С, устаноўлены залежнасці уплыву тэхналагічных пераробліванняў на механічныя ўласцівасці і параметры профіля данай арматуры, даследавана моцнасць і трэшчынастойкасць па нахіленых сячэннях выгінаемых жалезабетонных элементаў з папярэчнай арматурай класа Ат600С, дадзены прапановы па ўдакладненню разліку моцнасці жалезабетонных элементаў па нахіленых сячэннях з такой арматурай.

Вынікі даследаванняў выкарастаны пры распрацоўцы нарматыўных дакументаў Рэспублікі Беларусь, укаранены ў вытворчасць доследных партый жалезабетонных вырабаў.

РЕЗЮМЕ

Колтунов Александр Иванович

**ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
С ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ КЛАССА АТ600С**

Ключевые слова: прочность по наклонным сечениям, трещиностойкость, напряжения, деформации, бунтовая арматура, параметры профиля, механические свойства арматуры.

Объектом исследований являлись опытные партии бунтовой термомеханически упрочненной арматуры повышенной прочности, а также изгибаемые элементы, в которых указанная арматура использовалась в качестве расчетной поперечной.

Предмет исследования – механические свойства бунтовой термомеханически упрочненной арматуры класса АТ600С, влияние технологических переделов на механические свойства и параметры ее профиля, а также прочность и трещиностойкость железобетонных балок с поперечным армированием такой арматурой.

Целью работы является обоснование возможности и условий эффективного использования арматуры класса АТ600С в качестве поперечной в изгибаемых железобетонных элементах.

При выполнении работы использовались экспериментальные методы исследования механических свойств арматуры, прочности и трещиностойкости железобетонных элементов, а также статистические методы обработки экспериментальных данных.

В работе исследованы механические свойства бунтовой термомеханически упрочненной арматуры класса АТ600С, установлены зависимости влияния технологических переделов на механические свойства и параметры профиля данной арматуры. Исследована прочность и трещиностойкость по наклонным сечениям изгибаемых железобетонных элементов с поперечной арматурой класса АТ600С, даны предложения по уточнению расчета прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям с такой арматурой.

Результаты исследований использованы при разработке нормативных документов Республики Беларусь, внедрены в производство опытных партий железобетонных изделий.

SUMMARY

Koltynov Alexander Ivanovich

**STRENGTH AND CRACK RESISTANCE OF INCLINED SECTIONS OF
FLEXURAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH CLASS AT600C
LATERAL REINFORCEMENTS**

Key words: strength of inclined sections, crack resistance, stress, strain, bundled reinforcing rods, profile parameters, reinforcement's mechanical properties.

The research was carried out on bundled, thermomechanical hardened high strength reinforcing rods, as well as on flexural elements in which the mentioned reinforcing rods were used as lateral reinforcement.

Research subject – mechanical properties of thermomechanical hardened high strength reinforcing rods class AT600C, technological influence on mechanical and profile properties of reinforcements, as well as strength and crack resistance of reinforced concrete beams with lateral reinforcing rods class AT600C.

The aim of the work is to necessitate the effectiveness in using class AT600C reinforcements as lateral reinforcement in flexural reinforced concrete elements.

Experimental research methods on reinforcement's mechanical properties, strength and crack resistance of reinforced concrete elements, as well as experimental data processing methods were used during the research.

The work involved research on AT600C reinforcement's mechanical properties, the relationship of technological influence on mechanical properties and profile parameters of reinforcements, strength and crack resistance of inclined sections of flexural concrete elements with class AT600C lateral reinforcements, and a proposition in updating the strength designing of inclined sections of reinforced concrete elements was presented.

Research results were used in the formulation of Belorussian building standards and in the production of reinforced concrete elements in "Reinforced Concrete products" plants.

КОЛТУНОВ Александр Иванович

ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ПО НАКЛОННЫМ
СЕЧЕНИЯМ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
С ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРОЙ
КЛАССА А_t600 С

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 15.02.99 г.
Усл. п.л. 1.16. Уч. изд. л. 1.02

Формат 60x84/16.
Печать ксероксная
Тираж 110. Заказ 35

Отпечатано на ризографе ПГУ
211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29