

ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

№ в правах рукописи:

Пучка

Пучкарьёв Борис Александрович

УДК 691.327.32:661.33 + 624.С12.4

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАБОТА

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ
ИЗ ТЯЖЕЛЫХ И ЛАКОЦЕЛЮЧНЫХ БЕТОНОВ

Специальность: С5.23.01. Строительные конструкции,
здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1994

Диссертация является рукописью

Работа выполнена на кафедре "Железобетонные конструкции" в Крымском институте природоохранного и курортного строительства и на кафедре "Железобетонные и каменные конструкции" Полтавского инженерно-строительного института.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Пахомов В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Стороженко Л.И.
кандидат технических наук,
доцент Федорчук В.И.

Водущая организация: КрымИИлпроект

Защита состоится "25" января 1995 г. в "13" часов
на заседании специализированного совета К 068.32.01
при Днепропетровской государственной академии строительства и
архитектуры по адресу:

320600, г. Днепропетровск, ул.Чернышевского, 24 "а"

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ПГАС и А.

Автореферат разослан "24" декабря 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета, к.т.н., доц.

В.Л.Седин

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00777372 (X)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работ. Важнейшее направление ресурсосбережения в строительстве - широкое использование в жилищных материальных ресурсах. Ежегодно в СССР накапливалось около 5 млрд. т. отходов, которые занимают свыше 4 млн. га земель. В течение года из содержания отходов горнодобывающей промышленности и энергетики затрачивалось около 500 млн. руб. (в ценах 1989 г.). Доменных шлаков ежегодно накапливалось свыше 50 млн. т., золы и шлаков ТЭС - более 100 млн. т. отходов углеобогащения - более 100 млн. т., а для нужд народного хозяйства и для строительства перерабатывалось соответственно 80, 10 и 5%. В 1990 г. золошлаковых отходов возросло до 125 млн. т., в отходах накопилось около 1 млрд. т. отходов. В будущем намечалось использовать в бетонах, железобетонных конструкциях около 30 млн. т. отходов ТЭС.

В последние годы всё более широкое применение находят шлакощелочные цементы (ШЩЦ) на базе доменных гранулированных шлаков и едких щелочей, отходов металлургических, электротермофосфорных и химических производств. Применение ШЩЦ позволяет получать тяжёлые шлакощелочные бетоны (ШЩБ) классов до В90, обладающих малым рядом положительных качеств, свойств: повышенной активностью, прочностью, коррозийной стойкостью, жаростойкостью и др. ШЩБ можно изготавливать из местных материалов, заполнителей, отходов стройиндустрии, поэтому они на 30-50% дешевле обычных порцецементных бетонов (ПЦБ). Применение ШЩБ даёт возможность заменить ПЦБ, широко использовать отходы промышленности, энергетики, стройиндустрии, химической промышленности и др.

Экспериментально-теоретические исследования автора направлены на исследование действительной работы плит покрытий, перекрытий из тяжёлых ШЩБ, разработку методики их расчёта с учётом их особенностей, современных достижений в теории бетона и железобетона.

Целью работы является: развитие методики расчёта плит покрытий,

перекрытий с учетом полной диаграммы зависимости между напряжениями и деформациями, механики разрушения бетона и железобетона, совместности деформаций бетона и арматуры, контактных усилий между ними, особенностей работы плит и их элементов, экспериментальное её обоснование, сравнение теоретических и экспериментальных значений, их анализ.

Автор защищает: - обоснованную, разработанную методику расчета плит покрытий, перекрытий с учетом особенностей их работы и современных достижений в развитии теории железобетона ;

-экспериментально обоснованные основные характеристики при статистической обработке и дополнительные характеристики, необходимые для расчета по предлагаемой методике: критический коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} , сопротивление сцепления бетона с арматурной сталью $R_{\delta S}$, коэффициентов упругости при кратковременном и длительном действии нагрузок, предельных значений усадки, ползучести (характеристики и меры ползучести), предельных деформаций при сжатии и растяжении и др. ;

- экспериментальные данные по несущей способности, жесткости, трещиностойкости, деформациям железобетонных обычных и предварительно-напряженных плит покрытий, перекрытий из ШЩБ, их сравнение с теоретическими данными и анализ ;

- практические рекомендации по проектированию изгибаемых железобетонных конструкций из ШЩБ по прочности нормальных и наклонных сечений, по трещиностойкости и деформациям ;

- экономическую эффективность применения плит покрытий и перекрытий из ШЩБ, их проектирование по предлагаемой методике.

Научную новизну работы составляют: - совершенствованная методика расчета изгибаемых элементов железобетонных конструкций, плит покрытий, перекрытий по прочности нормальных, наклонных сечений с применением теории составных стержней, по образованию и раскрытию трещин

при использовании механики разрушения бетона и железобетона, теории трещин и расчет по деформациям с учетом развития длительных процессов бетона, нелинейности деформирования ;

- обобщенные физико-механические прочностные, деформативные свойства тяжелых ШЩБ при кратковременных и длительных воздействиях;

- обоснованные расчетные характеристики тяжелых ШЩБ классов В7,5. . . В90 при статистической обработке для проектирования железобетон-

ных конструкций на их основе кроме основных по СНиП 2.03.01-84* и дополнительные характеристики: сопротивление сцепления бетона с арматурной сталью, критическое значение коэффициента интенсивности напряжений, коэффициенты упругости для каждого класса при кратковременном и длительном действии нагрузки, предельные деформации усадки, характеристика и мера ползучести, предельные деформации при сжатии и растяжении дифференцировано для каждого класса тяжелых ШЩБ;

- обобщенные экспериментальные данные по несущей способности, жесткости, трещиностойкости, деформациям плит покрытий, перекрытий из ШЩБ и ПЩБ для сравнения при кратковременных и длительных действиях нагрузок;

- практические методики расчета деформаций, потерь от усадки, ползучести, несущей способности по нормальным, наклонным сечениям, образования, раскрытия трещин, жесткости, деформациям изгибаемых железобетонных конструкций из тяжелых ШЩБ;

- экономическая эффективность применения плит покрытий, перекрытий из тяжелых ШЩБ в строительстве.

Достоверность результатов работы подтверждается многочисленными экспериментальными данными, статистической обработкой, согласованностью теоретических и экспериментальных данных, учетом многочисленных теоретических факторов, дополнительных характеристик бетонов, дифференцированным учетом основных характеристик ШЩБ.

Практическое значение работы: - получены, обобщены и обработаны экспериментальные данные по прочностным и деформативным свойствам, обобщены расчетные характеристики тяжелых ШЩБ классов В7,5...В90 при статистической обработке как основных по СНиП 2.03.01-84*, так и дополнительных характеристик ШЩБ, необходимых для проектирования железобетонных конструкций на их основе с учетом механики разрушения бетона и железобетона, нелинейности деформирования ШЩБ, их усадки, ползучести, их предельных значений;

- усовершенствована теория, разработана новая методика расчета железобетонных конструкций из ШЩБ при использовании новых подходов, моделей как составных стержней с учетом контактных усилий между растянутой арматурой и бетоном, механики разрушения, нелинейного кратковременного и длительного деформирования для плит покрытий, перекрытий;

- дана оценка напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных обычных и предварительно-напряженных плит покрытий, перекрытий из ШЩБ при кратковременных и длительных нагрузках с учетом новых предложений, теоретических разработок;

- дана экономическая оценка, эффективность, перспективы применения ШЩБ, изделий, конструкций, плит покрытий и перекрытий на их основе.

Внедрение результатов исследования и разработок. Экспериментально-теоретические разработки автора использовались при разработке следующих нормативных документов:

Инструкции по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ШЩБ. ВСН-65.23-87 / Минюгстрой, НИИЖБ. - М.: Минюгстрой, 1987. - 280 с., ил.

Рекомендации по расчету и проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых ШЩБ для ПГС. РД 65.125-87 / Минюгстрой, НИИЖБ. - М.: Минюгстрой, 1987. - 301 с., ил.

Рекомендации по проектированию бетонных и железобетонных конструк-

ций из ШЩБ на дисперсных заполнителях для ПГС.РД 65.127-87 /
Минюгстрой.НИИЖБ.-М.:Минюгстрой,1987.-147 с.,ил.

Руководство по проектированию бетонных и железобетонных кон-
струкций из тяжелых ШЩБ для ПГС.РД 65.128-87/Минюгстрой,НИИЖБ.-
М.:Минюгстрой,1987.-319 с.,ил.

Руководство по проектированию бетонных и железобетонных кон-
струкций из легких ШЩБ для ПГС.РД.129-87/Минюгстрой.НИИЖБ.-М.:
Минюгстрой,1987.-185 с.,ил.

Внедрение ШЩБ производилось с участием автора на объектах
гражданского и промышленного назначения ТСО "Крымстрой" с 1988 г.
Справки и акты по внедрению прилагаются в прилож. II диссертации.

Результаты исследования свойств и характеристик ШЩБ включены в
отчет по теме 5,7 плана сотрудничества стран-членов СЭВ, а также в
отчеты 1982-85 г.г. в соответствии с программой 0.55.16.264 НИР и
ОКР Минпромстроя СССР и хозтеме при разработке Рекомендаций
ЦНИИЭП-сельстроя.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертаци-
онной работы докладывались на: научно-технических конференциях
СФ ДИСИ, г. Симферополь-1979-1987 г.г.;

- координационном совещании специалистов советских институтов-
соисполнителей по теме 5.7 "Физико-механические характеристики бе-
тонов" плана сотрудничества стран-членов СЭВ (г. Симферополь, 20 -
23 апреля 1982 г.);

- на 43,44,45, и 46 научных конференциях Полтавского ИСИ ,г. Пол-
тава - 1991-1994 г.г.

Основные результаты, положения диссертации опубликованы в
5 нормативных документах (Инструкция, Рекомендации, Руководства)
и в 5 научных статьях, тезисах.

Работа выполнялась в СФ ДИСИ (КИПИКС), Полтавском ИСИ, были использованы результаты исследования, испытания ШЩБ, плит покрытий, перекрытий СФ ДИСИ (КИПИКС) с участием автора, НИИСК Украины, УПИ (г. Челябинск), КРГИ (г. Кривой Рог) и других соискателей, аспирантов, исследователей.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, пяти глав, выводов по главам, Заключения, списка литературы и Приложения. Работа изложена на 290 страницах, содержит 131 страницу основного текста, 70 иллюстраций, 54 таблиц и библиографий 156 наименований; Приложение содержит основные и дополнительные характеристики тяжелых ШЩБ, справки и акты по внедрению результатов исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении приводятся краткие сведения о ШЩБ, изделиях и конструкциях на их основе, об актуальности, цели, новизне, задачах и практическом значении исследований, их использовании, апробации, публикациях, кратком содержании диссертации.

Первая глава посвящена обзору состояния вопроса, особенностям работы натуральных железобетонных плит покрытий и перекрытий, целям и задачам исследований. Теоретические основы ШЩБ и ШЩЦ разработаны докт. техн. наук, проф., заслуженным деятелем науки Украины В. Д. Глуховским, В. В. Константиновым, Л. А. Сильченко и нашли своё развитие в трудах их учеников, последователей. Значительный объем работ выполнен докт. техн. наук проф. П. В. Кривенко, И. А. Пашковым, В. А. Паховым, Р. Л. Серых, Р. Ф. Руновой, канд. техн. наук, доц. В. В. Гончаровым, Г. С. Ростовской, В. П. Ильиным, Г. В. Румыной, С. А. Слюсаренко, Е. А. Старчевской, В. В. Чирковой, Н. И. Асталовым, В. В. Жигной, С. Ф. Крисановым, А. Д. Лучко, В. М. Сребняком, И. О. Сикорским и др. Исследования прочностных и деформативных свойств тяжелых ШЩБ проводились в КИСИ, НИЖБе, НИИСКе, КРГИ,

СФ ДИСИ (КИПИКС), Полтавском ИСИ, ЧПИ и др., а плит покрытий, перекрытий из ШЩБ в НИИСК Украины под руководством А.Б.Гольшева, в СФ ДИСИ под руководством В.А.Пахомова, в КГРИ (г. Кривой Рог) под руководством Л.И.Стороженко, ЧПИ (г.Челябинск) под руководством А.А. Оатула, а также в комбинате "Крымстрой", ЗЖБИ "Укрторгстрой", ПО "Укрэнергоконструкция" в Крыму, в г.г. Сумы, Черкассы, Тула и др.

Большой вклад в исследование проблемы прочности и деформаций бетона и железобетона, построение, развитие теории их расчета с учетом кратковременного и длительного нагружения, деформирования внесли работы ученых: А.А.Гвоздева, С.В.Александровского, И.Н.Ахвердова, В. Н. Байкова, Ю.М.Баженова, В.В.Болотина, В.М.Бондаренко, В.М.Баташева, П.И. Васильева, В.А. Вознесенского, А.Б.Гольшева, В.Н.Гусакова, П.Ф.Дроздова, Ф.В.Зайцева, Н.И.Карпенко, Е.Н.Львовского, Р.Л.Маиляна, Н.А. Маркарова, И.Е.Прокоповича, А.Р.Ржаницына, И.А. Рыбьева, Я.В. Столярова, И.И.Улицкого, С.Е. Фрайфельда, В.Д. Харлаба, М.М. Холмянского, З.Н. Цилосани, Е.А.Чистякова, А.И.Шейкина, Е.Н.Шербакова, А.Ф. Яреминко, А.В.Яшина, Е.А.Яценко и мн.др.

Методика, теория расчета железобетонных конструкций должна учесть нелинейность, необратимость деформирования бетона и железобетона, аналитическую полную зависимость между напряжениями и деформациями, их особенность работать с трещинами, физическую механику разрушения, совместность деформирования бетона и арматуры, характер распределения контактных усилий между арматурой и бетоном, изменение их с течением времени, усадку, ползучесть, предельное деформирование и т.п.

Железобетонные элементы конструкций являются составными конструкциями. Расчет железобетонных элементов как составных конструкций, по теории А.Р. Ржаницына разрабатывались и предложены В.Н.Байковым, Л.В. Байковой, П.Ф. Дроздовым, В.А. Пахомовым, И.Е.Прокоповичем, А. П. Пшеничкиным и др. При расчете составных стержней обязательен учет

сдвигающих (контактных) усилий, связей сдвига, сдвиг стержней и др. Всё это дает возможность более реально определить напряженно-деформированное состояние, работу железобетонных изгибаемых конструкций.

Глава 2 дает обзор, содержит данные по структуре бетонов, ШЩБ, по учету структурных их характеристик, по прочности, теориям прочности материалов, родственных бетону, изложены основы механики разрушения, теоретические предложения для анализа напряженно-деформированного состояния бетона и железобетона с трещинами. Учет особенностей структуры бетона дает возможность более реально оценить его технические свойства. По структуре цементного камня и бетона в настоящее время накоплен значительный экспериментально-теоретический материал. В работах Ю.В. Зайцева показано, что структура бетона должна рассматриваться на различных уровнях, каждому из которых присущи свои дефекты и неоднородности. И.А. Рыбьев создал общую теорию искусственных строительных конгломератов, с помощью которой можно получить новые искусственные строительные конгломераты оптимальных структур.

В теориях разрушения используются различные критерии, но начало разрушения обуславливает растягивающие напряжения и особенно для бетона. В бетонах и железобетонных конструкциях именно прочность на растяжение определяет характер разрушения. Применяя критерий А.А. Гриффитса для бетона, железобетона в предельных состояниях с использованием разработок для родственных материалов (керамики, стекла, горных пород и др.), используя методы механики разрушения В.А. Пахомовым с участием автора вводятся понятия угла φ_0 и коэффициента μ_0 внутреннего трения, которые пронормированы для всех классов тяжелых ШЩБ (рис. 1), обосновываются зависимости для определения ширины, высоты трещин, расстояние между трещинами.

Анализируются экспериментальные данные, обосновываются теоретические зависимости для определения критического значения коэффициента интенсивности напряжений, которые пронормированы для каждого класса бетона, ШЩБ.

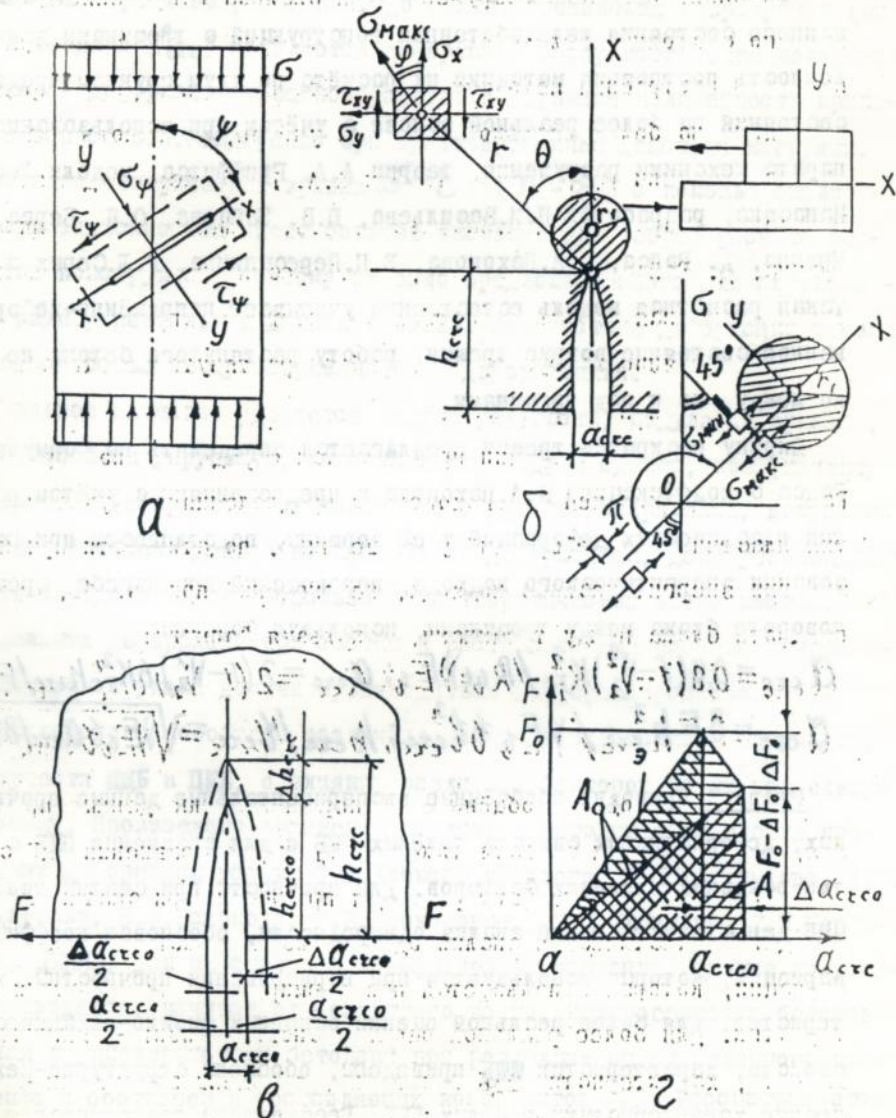


Рис. 1. Напряжённое состояние у трещины, раскрытие трещины
 а - идеально тонкая наклонная трещина при сжатии;
 б - компоненты напряжений, сдвиг, система координат
 у кончика трещины;
 в, г - развитие трещины и освобождённая энергия.

ШЦБ.

Применение механики разрушения для анализа напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций с трещинами дает возможность построения методики их расчёта по двум группам предельных состояний на более реальной основе с учётом, при использовании аппарата механики разрушения, теории А.А. Гриффитса, модели Леонова-Паносака, разработок П.И.Васильева, В.В. Зайцева, О.Я. Берга, Д. Ирвина, Д. Райса, В.А.Пахомова, Э.Н.Пересилкина, Р.Л.Серых и др. Такая расчётная модель естественно учитывает напряженно-деформированное состояние вокруг трещин, работу растянутого бетона не только ко мекду, но и над трещинами.

Ширину раскрытия трещин предлагается определять по формуле Д. Райса с модификацией В.А.Пахомова и предложениями с учётом развития пластических деформаций у её вершин, податливости при использовании энергетического подхода, перемещений при изгибе, срезе и повороте блока между трещинами, используя формулы:

$$\alpha_{срез} = 0,8(1 - \nu_2^2) K_{IC}^2 / R_{bt} \sqrt{E_b}; \quad \alpha_{срез} = 2(1 - \nu_2^2) b K_{IC}^2 h_{срез} / F \sqrt{E_b};$$

$$\alpha_{срез} = 8 F h_{срез}^3 / \sqrt{E_b} b l_{срез}^3; \quad h_{срез} / l_{срез} = \sqrt{E_b b \alpha_{срез} / 8 F} \quad (1)$$

Глава 3 приводит обобщённые экспериментальные данные прочностных, деформативных свойств тяжёлых ШЦБ и для сравнения ШЦБ с учётом основных влияющих факторов. Для прочности при сжатии тяжёлых ШЦБ дан статистический анализ однородности, обоснован коэффициент вариации, который используется при нормировании прочностных характеристик. Для более реальной оценки основных физико-механических свойств, характеристик ШЦБ приведены, обобщены структурно-механические характеристики тяжёлых БЕТ. Рассмотрены теоретические зависимости прочностных и деформативных свойств бетонов с учётом разработок С.В.Александровского, О.Я. Берга, В.И.Бондаренко, В.В. Зайцева, В.А.Пахомова, Р.Л.Серых и ин.др. Произведено выделение

частных деформаций: усадки, упруго-мгновенных, нелинейных, быстрона-
текающих, трещинообразования. До момента появления микротрещины (ниж-
него предела R_{ctc}) появляются деформации быстронатекающей ползучести,
а выше - деформации трещинообразования. Функция нелинейности приня-
та в записи В.И.Бондаренко при кратковременном действии нагрузки.
Выражение эмпирических кривых $\sigma - \varepsilon$ ($\eta - \xi$) с помощью аналити-
ческих зависимостей имеет большое значение для теории расчёта эле-
ментов конструкции, поэтому их было предложено много для аппроксима-
ции экспериментальных данных (рис.2). Все частные деформации связаны
с зависимостью между напряжениями и деформациями.

Большое внимание уделяется модулю упругости, модулю деформации,
коэффициенту упругости, пластичности, модулю сдвига, коэффициенту
поперечных деформаций, их изменению с уровнем напряжений, возрастом
бетона. Обобщены данные по предельным деформациям, даны рекомендации
по их определению при использовании теоретических зависимостей. Учёт
предельных деформаций при сжатии и растяжении для расчёта железобе-
тонных конструкций должен производиться дифференцированно.

Исследованы, обобщены различные данные с их анализом по усадке,
ползучести $\sigma_{цб}$ и $\sigma_{цд}$, о влиянии различных факторов на их предельную
величину. Произведено сравнение различных методов определения пре-
дельных деформаций усадки С.В.Александровского, И.И. Акведова, В.И.
Бондаренко, В.А.Пахомова, И.Е.Прокопевича, И.М.Улицкого, В.И.Корба-
кова, ЦНИИ, дан их анализ с коэффициентом вариации. Данные по усад-
ке приводятся, начиная от цементного камня, мелкозернистых бетонов и
кончая крупнозернистыми бетонами при различных видах водочного ком-
понента и соотношения составляющих компонентов ГПД. Рассмотрены
ненапряжённая и напряжённая усадка бетонов.

Для оценки ползучести бетонов в основу положено реологическое
уравнение В.А.Пахомова, полученное на основе универсальной реолопи-
ческой зависимости В.И.Бондаренко с учетом разработок С.В.Алексан-
дровского, И.И.Васильева, А.А.Гвоздева, И.В.Галустова, А.В. Яшина,

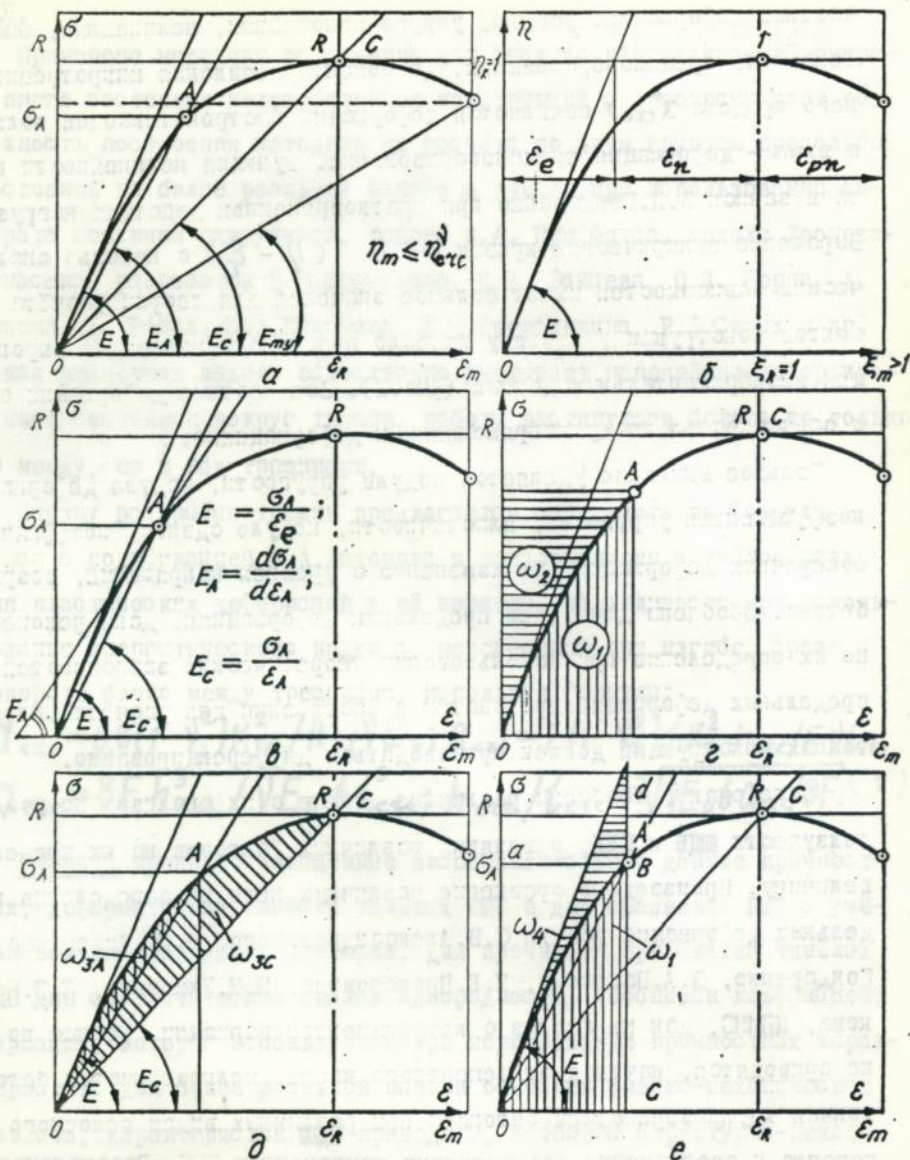


Рис. 2. Зависимости между напряжениями и деформациями
 а, б - общий вид диаграммы в абсолютных и относительных
 координатах; в - характеристики диаграммы производной
 и секущей; г, д, е - интегральные (энергетические) ха-
 рактеристики диаграммы.

И.В.Прокоповича, И.И.Улицкого и др., которая дополнительно учитывает свободную и напряженную усадку, нелинейность деформаций усадки, ползучести, рост прочности и начального модуля упругости .

На рис. 3. показано влияние прочности бетона на удельную деформацию ползучести, а на рис.4 зависимости удельной ползучести ШЩБ от возраста бетона в момент загрузки, вида щелочного компонента и состава ШЩБ. При длительном действии нагрузки ползучесть с учетом уровня напряжений оказывает большое влияние на предельные деформации бетона.

Для учета контактных напряжений, усилий между бетоном и арматурой необходимо знать и использовать расчетное сопротивление сцепления бетона с арматурной сталью $R_{\delta S}$. Поэтому произведено обобщение экспериментальных данных по сцеплению ШЩБ с арматурной сталью при испытании на выдергивание при кратковременных и длительных действиях нагрузок, а также и при проталкивании.

На основании многочисленных экспериментально-теоретических исследований коллектива сотрудников с участием автора под руководством В. А. Пахомова обоснованы и пронормированы основные прочностные, деформативные расчетные характеристики тяжелых ШЩБ классов В10...В90 кроме основных по СНиП 2.03.01-84* и дополнительные характеристики дифференцировано для каждого класса бетона: $R_{\delta S}$ - сопротивление сцепления бетона с арматурной сталью; K_{Ic} - критическое значение коэффициента интенсивности напряжений; упруго-пластические, деформативные характеристики: предельные деформации при сжатии и растяжении, предельная усадка, характеристика, мера ползучести, коэффициенты упругости при кратковременном и длительном действии нагрузок; рекомендованы теоретические зависимости для их определения.

В главе 4 приводится общий обзор состояния вопроса по напряженно-деформированному состоянию изгибаемых железобетонных конструкций, которые работают без и с трещинами, дана краткая история развития теории расчета железобетонных конструкций, обоснованы основные нап-

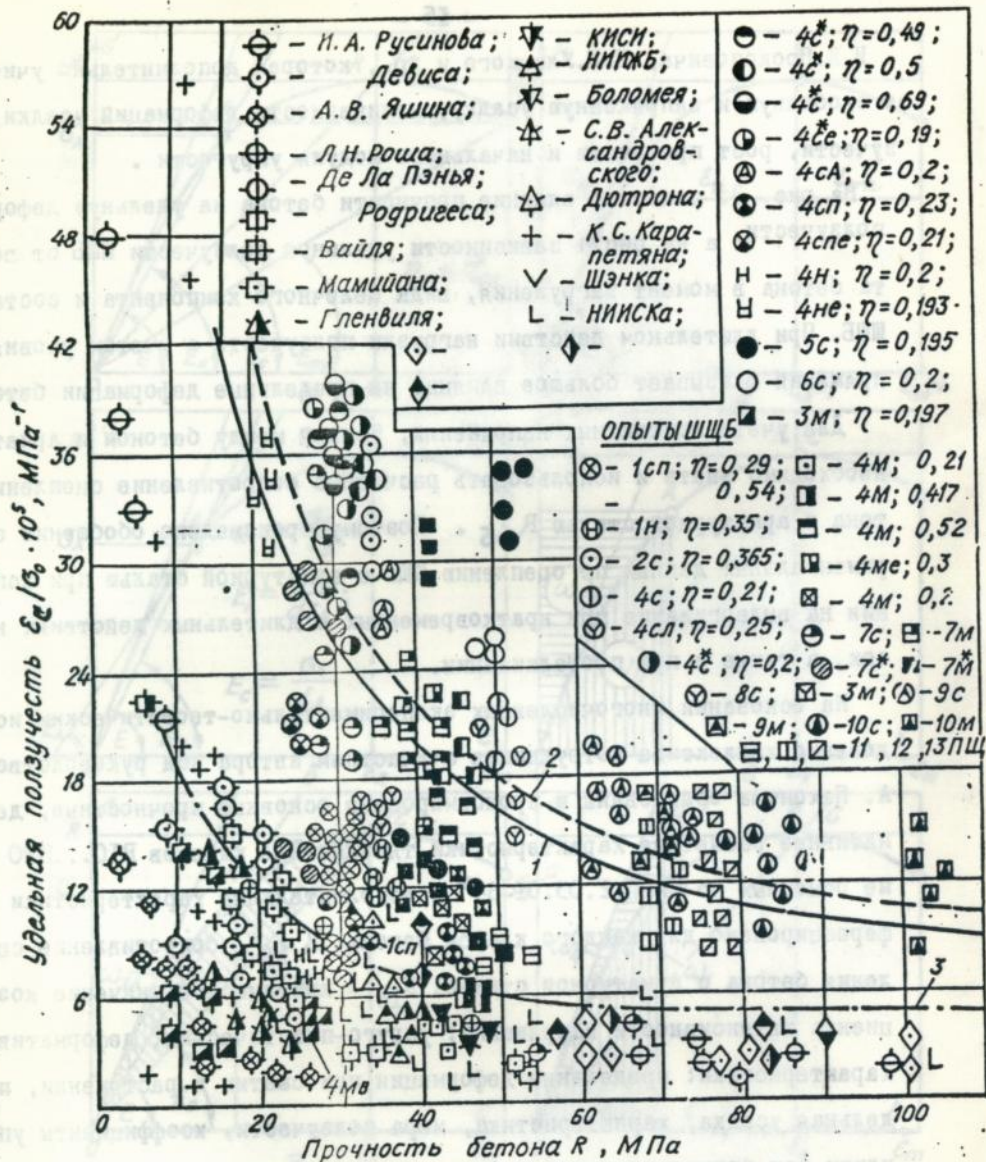


Рис. 3. Влияние прочности бетона на удельную деформацию ползучести

- 1,2 - кривые регрессии для шлакощелочных бетонов с обеспеченностью 0,95 и по средним точкам;
- 3 - кривая регрессии для портландцементных бетонов по средним точкам.

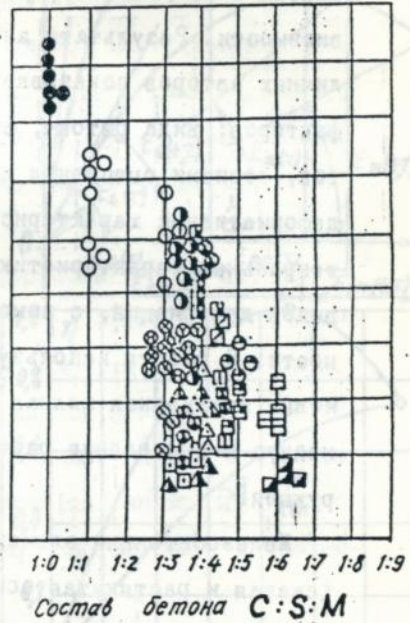
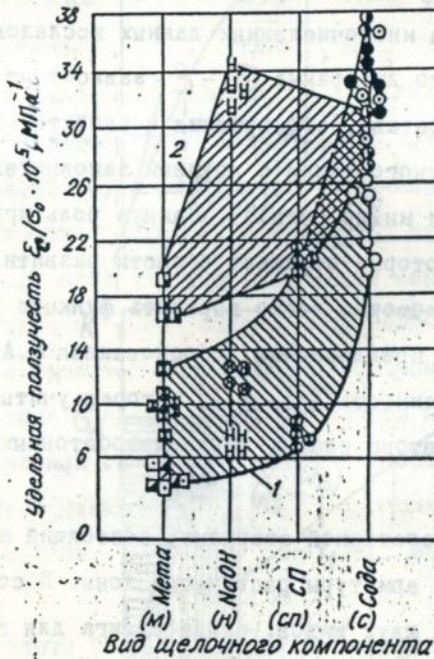
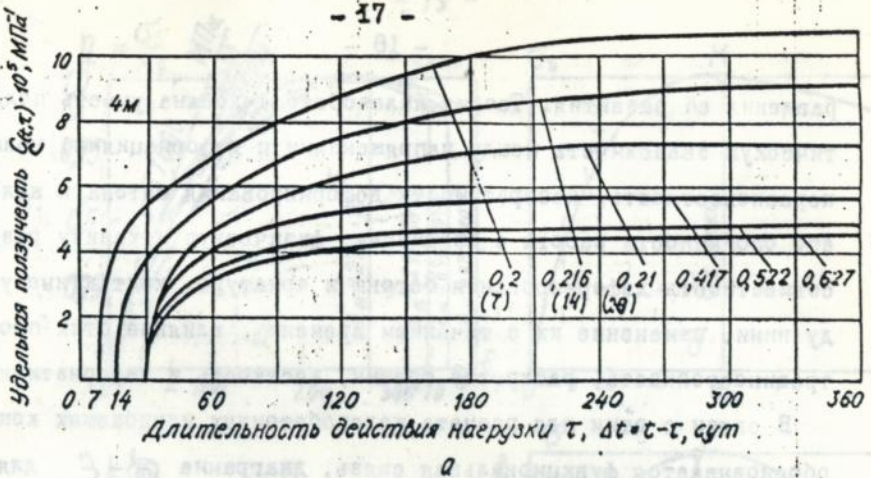


Рис. 4. Зависимости удельной ползучести шлакощелочных бетонов от возраста бетона в момент загрузки, вида щелочного компонента и состава бетона

а, б, в - влияние соответственно возраста бетона, вида щелочного компонента и состава бетона: 1, 2 - значения для бетонов пропаренных и естественного твердения.

равления её развития. Теория железобетона должна учесть полную аналитическую зависимость между напряжениями и деформациями, нелинейность, неравномерность, необратимость деформирования бетона и железобетона, его особенности работы с трещинами, физическую механику разрушения, совместность деформирования бетона и арматуры, контактные условия между ними, изменение их с течением времени, влияние этих процессов на трещиностойкость, раскрытие трещин, жесткость и деформативность.

В связи с этим для расчета железобетонных изгибаемых конструкций обосновывается функциональная связь, диаграмма $\sigma - \epsilon$ для бетона скатых зон. Дан обзор по их применению, рассмотрены различные зависимости. Результаты анализа многочисленных данных исследований различных авторов показывает, что диаграмма $\sigma - \epsilon$ зависит от многих факторов: вида бетона, его состава, соотношения и свойств компонентов, степени сцепления цементного камня с крупным заполнителем, их деформативных характеристик и ин.др. (рис.5). Важную роль играют интегральные характеристики, которые отражают области развития всех видов деформаций, с помощью которых легко выразить функцию нелинейности. В работе используется предложенная, обоснованная В.А. Пахомовым нелинейная полная зависимость $\sigma - \epsilon$, которая учитывает линейную и нелинейную работу бетона скатых зон железобетонных конструкций.

Железобетонный элемент - составной стержень, состоящий из бетона (сжатая и растянутая зона) и арматуры растянутой зоны. В составном стержне связи представляются двух видов: связи сдвига для восприятия сдвигающих усилий вдоль шва составного стержня и поперечные связи, сдерживающие отрыв стержней друг от друга или прижатие друг к другу. В железобетонных элементах эти два вида связей совмещаются за счет наличия сцепления между бетоном и арматурой, поперечных и отогнутых стержней арматурного каркаса. Такую работу железобетонных изгибаемых элементов можно отметить в работах, начиная с Гене-

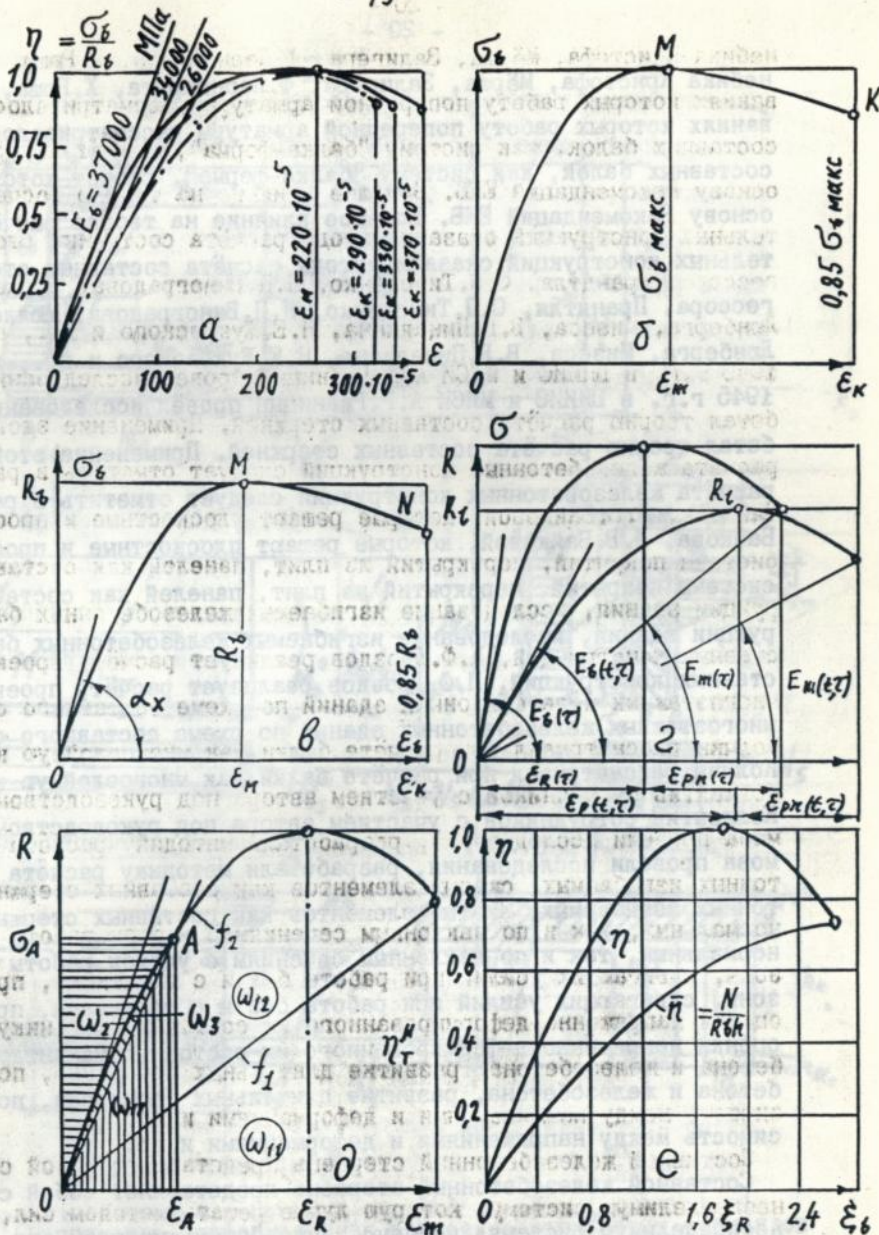


Рис. 5. Зависимости $\sigma = f(\epsilon)$

- а - зависимость ЕКБ-МПИ; б - то же, в нормах США;
- в - то же, В.Н. Байкова и др.; г - то же В.М. Бондаренко;
- д - двучленная зависимость В.А. Пахомова;
- е - зависимость В.Н. Гусакова.

небика Кристофа, Мёрша, Залигера, Ф. Леонгардта, Х. Роша, в исследованиях которых работу поперечной арматуры рассматривалось как шпонки составных балок, как систему "балка-ферма", расчёт которой лег в основу Рекомендаций ЕКБ. Большое влияние на теорию расчёта строительных конструкций оказали методы расчёта составных стержней Энгессора, Прандтля, С. П. Тимошенко, Н. П. Виноградова, Мюллера-Бреслау, Лунберга, Мизеса, В. В. Пинаджана, Н. Е. Жуковского и др., а с 1936 по 1945 г.г. в ЦНИИС и МИСИ А. Р. Ржаницын провёл исследования и разработал теорию расчёта составных стержней. Применение этой теории для расчёта железобетонных конструкций следует отметить в работах В. Н. Байкова, Л. В. Байковой, которые решают плоскостные и пространственные системы покрытий, перекрытий из плит, панелей как составные конструкции здания, исследование изгибаемых железобетонных балок как составных конструкций, П. Ф. Дроздов реализует расчёт, проектирование многоэтажных железобетонных зданий по схеме составного стержня. Г. Б. Колчин рассматривал при расчёте балки как многослойную конструкцию. Коллектив сотрудников с участием автора под руководством В. А. Похомова провели исследования, разработали методику расчёта железобетонных изгибаемых, сжатых элементов как составных стержней как по нормальным, так и по наклонным сечениям с учётом работы контактной зоны, сдвигающих усилий при работе без и с трещинами, привлекая к оценки напряжённо-деформированного их состояния механику разрушения бетона и железобетона, развитие длительных процессов, полную зависимость между напряжениями и деформациями и др.

Составной железобетонный стержень представляет собой статически неопределимую систему, которую лучше решать методом сил, где неизвестными являются сдвигающие суммарные $T(z)$ и погонные $S(z)$ усилия, связь между которыми равна $S(z) = T'(z)$, а касательные напряжения $\tau(z) = S'(z) = T''(z)$ между бетоном и арматурной сталью (рис. 6).

При определении усилий рассматриваются действительная и вспомогательная системы железобетонного изгибаемого стержня (рис. 6, б, в).

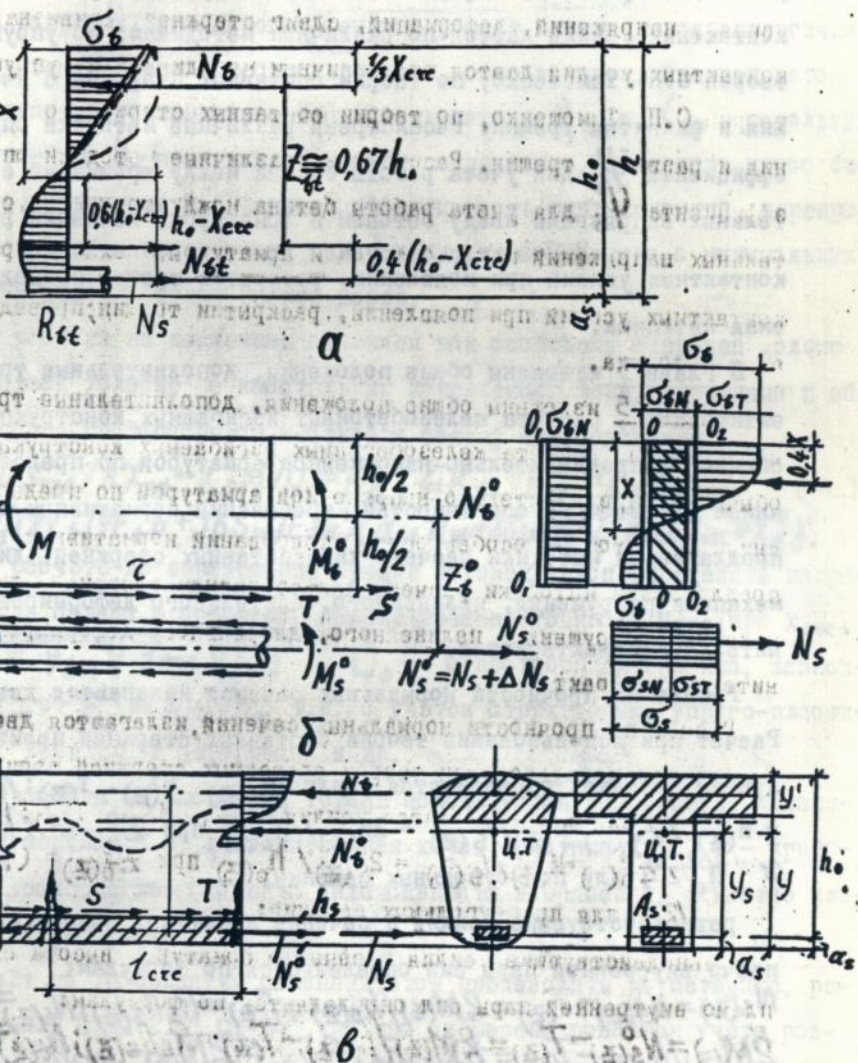


Рис. 6. Напряженно-деформативное состояние изгибаемых элементов как составных стержней
 а - в стадии Ia; б, в - схемы усилий и напряжений в нормальном поперечном сечении.

В результате разработана методика расчета, определение контактных усилий, напряжений, деформаций, сдвиг стержней, кривизна. Определение контактных усилий дается по различным методикам: по упругой стадии, теории С.П. Тимошенко, по теории составных стержней с учетом появления и развития трещин. Рассмотрены различные методики определения коэффициента Ψ_s для учета работы бетона между трещинами, с учетом касательных напряжений между бетоном и арматурой, механики разрушения, контактных усилий при появлении, раскрытии трещин; приведена предлагаемая методика.

В главе 5 изложены общие положения, дополнительные требования проектирования, расчета железобетонных изгибаемых конструкций из ШЩБ с обычной и предварительно-напряженной арматурой по предельным состояниям с учетом их особенностей, требований нормативных документов, предлагаемой методики расчета как составных стержней, диаграммы $\sigma-\epsilon$ механики разрушения, нелинейного, длительного деформирования, дополнительных характеристик.

Расчет по прочности нормальных сечений, излагаются две методики. Расчет при использовании теории составных стержней производится в следующем порядке: определяются усилия $M_0(z)$, $M^0(z)$, $T(z)$; $N_s^0 = -N_b^0 = -M(z)/Z_b^0 = -M(z)/y_s(z) = 2M(z)/h_0(z)$ при $Z_b^0(z) = (h_0 - \alpha_s)/2 \approx h_0/2$; для прямоугольных сечений; (2)

равнодействующие усилия и сечение арматуры, высота скатой зоны, плечо внутренней пары сил определяются по формулам:

$$N_s(z) = N_s^0 - T(z) = 2M(z)/h_0(z) - T(z) = R_s A_s(z); N_b(z) = N_b^0 - T(z) = 2M(z)/h_0(z) - T(z) = \delta X(z) R_b; A_s(z) = (2M(z) - T(z)h_0(z))/R_s h_0(z) \quad (3)$$

$$X(z) = (2M(z) - T(z)h_0(z))/\delta h_0(z) R_b; Z_b(z) = h_0(z) / (2(1 - T(z)h_0(z)/2M(z))).$$

При использовании основных положений СНиП 2.03.01-84* расчет производится по известным формулам, но при $Z_b(z) = h_0(z) \cdot 0,4X$ с учетом положения центра тяжести скатой зоны бетона при принятой диаграмме $\sigma-\epsilon$.

Расчет производится с помощью табличных коэффициентов, составлена

для них таблица.

Для тавровых, двутавровых сечений расчёт производится аналогично, но с учётом положения нейтральной оси, свесов полок. Рекомендуется оптимальное проектирование при использовании $\xi_{op} = \alpha_{op}$, используя положение $\chi = h_f$ производить расчёт, определять, назначать класс бетона по требуемому R_b , повышая эффективность плит покрытия, перекрытий, рекомендуя практически минимальные классы бетона с минимальным расходом цемента более низких марок.

При расчёте по наклонным сечениям как составных стержней должно обладаться условие по касательным напряжениям между стержнями и обечечивания по коэффициентам жёсткости связей их соединения:

$$\tau_{bs} = QS_{red} / \delta J_{red} = K_d^2 M / y_s = K_d^2 T \leq R_{ts}; \quad K_d^2 = \epsilon_d \delta; \quad (4)$$

$$\epsilon_d \geq 1 / (2Z_b / N E_b \delta + 16 S_w / E_s w \pi d_w n_w + 8 S_{inc} / E_s \pi d_{inc} n_{inc}) \geq K_d^2 \delta.$$

При расчёте по образованию трещин рекомендуется определять напряжения для бетона и арматуры, момент трещиностойкости M_{cr} при χ_{cr} .

$$V_{b,cr} = V_{b0} \sqrt{1 - (\eta_{cr}^v)^2}, \quad \zeta_0$$

— коэффициент графика, зависимость ζ_0 от $\xi = \chi_{cr} / h_0$, т.е. с учётом структурных, упруго-пластических, нелинейных деформаций и др.

При расчёте на раскрытие трещин используются зависимости механики разрушения (1), дополнительная характеристика $K_{Ic,5\sigma}$ — критическое значение коэффициента интенсивности напряжений, развитие пластических деформаций.

Расчёт по деформациям рекомендуется производить по методике, рекомендуемой СНиП 2.03.01-84*, но при дифференцированном учёте развития нелинейности деформирования, усадки, ползучести. Так при определении кривизны коэффициент ψ_{bt} учитывает влияние бетона маркированной ползучести бетона (С, 85; С, 8; С, 7 по СНиП), а для ШБ $\psi_{bt} = V_{b0}$ — коэффициент упругости, пропорциональный для каждого класса, ШБ;

$$\psi = 1 + 0,5 \psi_{cu} = 1 + C_{cu} E_b, \quad (5)$$

где ψ_{cu} , C_{cu} — характеристика, мера ползучести каждого класса ШБ.

При определении кривизны выгиба от усадки и ползучести производится по соответствующим потерям от усадки и ползучести ШЩБ, которые определяются по уточненной методике с учетом обобщения экспериментальных данных.

Для элементов с трещинами деформации бетона, арматуры определяются с учетом диаграммы скатой зоны, функций нелинейности, коэффициентов неравномерности деформаций на участках с трещинами, коэффициента полноты эпюры скатой зоны.

Приводятся многочисленные результаты испытания, расчета по СНиП, по предлагаемой методике плит покрытий и перекрытий из ШЩБ и для сравнения из ПЩБ, полученные в г.г. Северодонецке, Симферополе, Киеве (НИИСК Челябинске (ЧПИ), дан им анализ) сделаны выводы и предложения.

Приводятся технико-экономические показатели при производстве ШЩБ, ПЩБ, плит покрытий и перекрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Плиты покрытий и особенно перекрытий наиболее распространенные железобетонные конструкции в строительстве, для производства которых требуется большое количество бетона, железобетона. Наиболее рационально, эффективно для их производства применять ШЩБ, широко использовать местные, некондиционные, попутно добываемые материалы, отходы стройиндустрии, металлургических, химических производств. Действительная работа плит покрытий, перекрытий имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при их расчете, проектировании.

2. ШЩБ имеет свои особенности. Особенности структуры, деформативности, усадки, ползучести ШЩБ изменяют напряженно-деформированное состояние обычных, предварительно-напряженных натуральных конструкций плит покрытий, перекрытий, требуют учета основных факторов направления развития теории железобетона.

3. При разработке методики расчета плит избран теоретический подход, направленный на разработку общих закономерностей работы изгибае-

мых железобетонных конструкций по двум группам предельных состояний полной диаграммы $\sigma - \epsilon$ с нисходящей ветвью, нелинейного деформирования, совместного деформирования $\epsilon_s = \epsilon_b$ бетона и арматуры, контактных сил между ними, механики разрушения бетона и железобетона, усадки, ползучести, предельного деформирования, необходимых дополнительных характеристик.

4. Проведены, обобщены многочисленные экспериментальные результаты испытаний прочностных, деформативных, специальных свойств, характеристик тяжелых ШЩБ, пронормированы основные расчетные и дополнительные характеристики ШЩБ, необходимые для расчета, проектирования железобетонных конструкций из ШЩБ с учётом всех указанных факторов.

5. Разработана, изложена методика расчёта железобетонных изгибаемых конструкций по прочности нормальных, наклонных сечений, по трещиностойкости, раскрытию трещин, по жесткости, деформациям как составных стержней с учётом контактных усилий, с применением механики разрушения, нелинейности деформирования, длительных процессов деформирования и т. п.

6. Приведены многочисленные результаты испытания, теоритического расчёта плит покрытий, перекрытий из ШЩБ и для сравнения из ПЩБ, полученные в г.г. Симферополе, Северодонецке, Киеве (НИИСК), Челябинске (ЧПИ), их сравнение, анализ, выводы и рекомендации.

7. Собраны данные, произведены расчеты технико - экономических показателей ПЩБ, ШЩБ и конструкций на их основе, где отражено их преимущество и высокая технико-экономическая эффективность.

8. Экспериментально-теоритические исследования, результаты разработок были использованы, опубликованы в пяти нормативных документах, в пяти статьях, тезисах, докладывались на 43...46 научных конференциях профессоров, преподавателей и студентов Полт. ИСИ, на научно-технических конференциях СФ ДИСИ, координационном

совещании по теме 5.7 СЭВ.

9. Результаты исследований, разработок внедрялись с участием автора на объектах строительства. Справки и акты прилагаются.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Инструкция по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ШЩБ. ВСН-65.23-87/Минюгстрой, НИИЖБ.-М.: Минюгстрой, 1987.- 280 с., ил.
2. Рекомендации по расчёту и проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлых ШЩБ для ПГС.РД. 65.125-87/Минюгстрой, НИИЖБ.-М.: Минюгстрой, 1987.-301 с., ил.
3. Рекомендации по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ШЩБ на дисперсных заполнителях для ПГС.РД 65.127-87/Минюгстрой, НИИЖБ.-М.: Минюгстрой, 1987.-147 с., ил.
4. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлых ШЩБ для ПГС.РД 65.128-87/Минюгстрой, НИИЖБ.-М.: Минюгстрой, 1987.-319 с., ил.
5. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из лёгких ШЩБ для ПГС.РД 65.129-87/Минюгстрой, НИИЖБ.-М.: Минюгстрой, 1987.-185 с., ил.
6. Пахомов В.А., Пушкарёв Б.А. Перспективы освоения и производства железобетонных конструкций из ШЩБ в Крыму/Тезисы докладов 43 научной конференции ПОЛТ. ИСИ.- Полтава: 1991.с. 110.
7. Пахомов В.А., Пушкарёв Б.А. Расчёт пустотных плит перекрытий как составных конструкций/Тезисы докладов 44 научной конференции Полт.ИСИ.-Полтава : 1992, с.127.
8. Пахомов В.А., Пушкарёв Б.А. Расчет пустотных плит перекрытий по теории составных стержней/Тезисы докладов 45 научной конференции Полт.ИСИ.- Полтава : 1993,с.234.
9. Пахомов В.О., Пушкарёв Б.О. Розрахунок плит покриття I пере-

крить із ШЛБ по II групі граничних станів з врахуванням основних факторів. /Тезиси доповіді 46 наукової конференції Полт. ІБІ. - Полтава : 1994 с. 24.

10. Пушкарєв В.О. Резерв економії матеріалів при проектуванні плит покриття I перекриття /Тезиси доповіді 46 наукової конференції Полт. ІБІ. - Полтава: 1994, с. 25.

456508

Ав 31.988

Pushkaryov B.O. Effective roofs and overlaps made of heavy slag-alkaline concrete (SAC); the methods of calculation of flexible elements of ferro-concrete constructions, slabs of roofs and overlaps made of SAC are suggested with the application of the theory of compound pivots, mechanics of broaking of concrete and ferro-concrete, the theory of cracking and non-linear deformation; the main and subsidiary steady and deformed characteristics of heavy SAC (classes B7,5 ... B90) are fixed for projecting of ferro-concrete construction.

Investigated: work of slabs of roofs and overlaps, the effective properties of heavy slag-alkaline concretes (SAC); the methods of calculation of flexible elements of ferro-concrete constructions, slabs of roofs and overlaps made of SAC are suggested with the application of the theory of compound pivots, mechanics of broaking of concrete and ferro-concrete, the theory of cracking and non-linear deformation; the main and subsidiary steady and deformed characteristics of heavy SAC (classes B7,5 ... B90) are fixed for projecting of ferro-concrete construction.

Пушкарьов Б.О. Дієсна робота залізобетонних плит покриттів і перекриттів із важких шлаколукових бетонів, рукопис.

Дисертація на здобуття зченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.23.01. - будівельні конструкції, будівлі і споруди. Придніпровська Державна Академія будівництва та архітектури. 1994 р.

Досліджені: робота плит покриттів і перекриттів, дієсні властивості важких шлаколукових бетонів (ШЛБ); запропонована методика розрахунку гнучких елементів залізобетонних конструкцій, плит покриттів і перекриттів із важких ШЛБ з застосуванням теорії складних стержнів, механіки руйнування бетону і залізобетону, теорії тріщин, нелінійності деформування; проноормировані для проектування залізобетонних конструкцій основні і додаткові міцні і деформативні характеристики важких ШЛБ класів B7,5 ... B90.

Ключевие слова: дополнительные характеристики шлакощелочных бетонов, плиты покрытия и перекрытия - составные стержни, нелинейность деформирования.