

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»

Кафедра «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Напряженно-деформированное состояние контактной зоны многослойных железобетонных конструкций

Магистерская диссертация

Направление подготовки 08.04.01 «Строительство»

Направленность (магистерская программа) «Промышленное и гражданское строительство»

Обучающийся

Лучкин Алексей Леонидович

Научный руководитель

Шавыкина Марина Витальевна,

канд. техн. наук, доцент

Москва, 2018

Актуальность темы



Трехслойная стеновая панель

наружные слои – из тяжёлого
конструкционного бетона,
внутренний утепляющий слой –
из лёгкого конструкционно-
изоляционного бетона

Энергосбережение зданий



Повышение
теплозащитных качеств
ограждающих конструкций



Внедрение многослойных
ограждающих конструкций



+

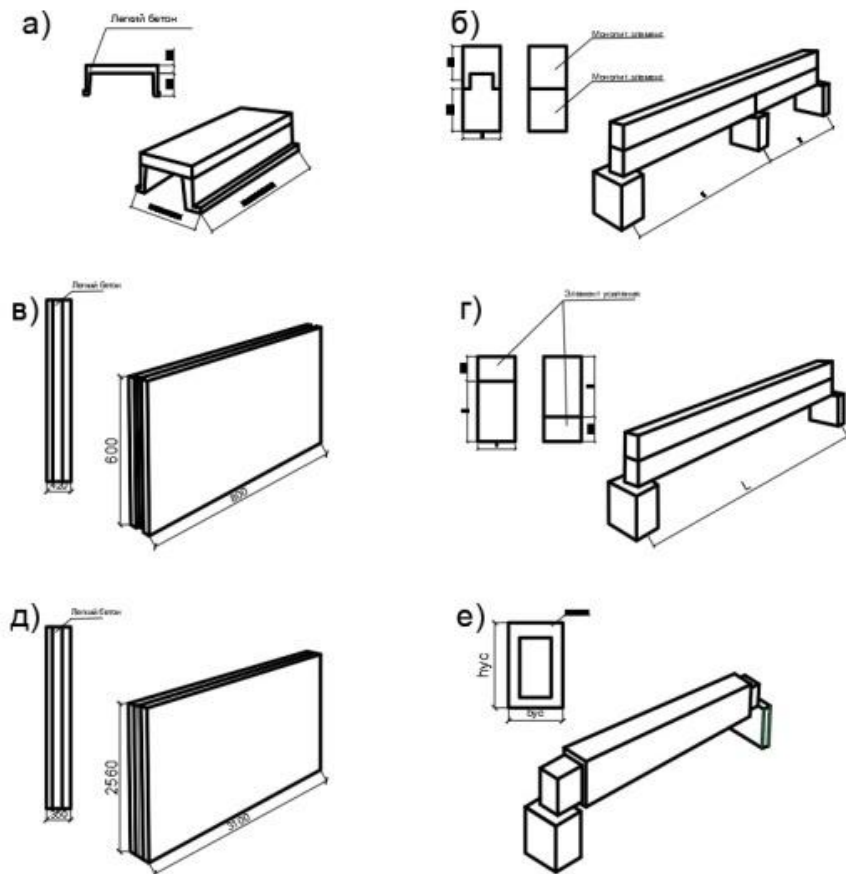
не требуется установка в панелях
гибких и жёстких связей,
подверженных повышенной коррозии

+

существенно упрощается технология
изготовления стеновых конструкций

Актуальность

ТАМЪ



Схемы составных конструкций

а - плиты перекрытия и покрытия; в, д -
стенные панели и блоки; б, г, е -
усиливаемые элементы

Реконструкция зданий



Усиление конструктивных систем методом наращивания, подращивания, созданием рубашек, обойм и другими приёмами, ведущими к нарушению однородности структуры сечения



Вопросы, связанные с определением физико-механических характеристик и напряжённо-деформированного состояния **контактной зоны** двух бетонов, резко отличающихся по



Цель и задачи работы

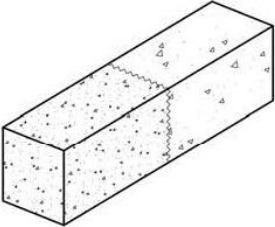
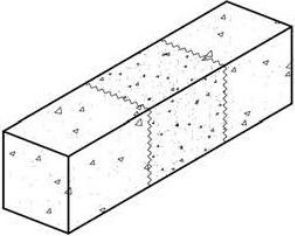
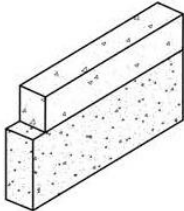
Цель работы

исследование деформирования и трещиностойкости контактной зоны двух бетонов в многослойных бетонных и железобетонных конструкциях, и разработка на этой основе рекомендаций по расчету составных и слоистых конструкций.

Задачи исследования:

1. Разработать расчетную модель сопротивления зоны контакта двух бетонов и методику определения ее прочностных и деформативных характеристик.
2. Определить размеры области видоизмененных свойств материалов и степень их трансформации вблизи шва контакта различных бетонов.
3. Разработать методику определения жесткостных характеристик элементов конструкций составного сечения с учётом неупругих деформаций и трещин в железобетоне.
4. Провести численные исследования составных конструкций с целью выявления резервов их сопротивления силовым воздействиям и разработать предложения по их инженерному расчету.

Анализ экспериментальных исследований

Серия образцов	Эскиз	Кол-во испытанных образцов	Бетон	Плотность, кг/м ³	Предел прочности на сжатие, Мпа		Класс бетона	Начальный модуль упругости Мпа*10
					кубиковый	призменный		
1		12	Тяжелый	2210	25,9	22,1	B20	24,7
			Легкий	1190	6,0	5,2	B5	7,2
2		18	Тяжелый	2200	25,2	21,7	B20	24,1
			Легкий	1220	6,3	5,5	B5	6,4
3		6	Тяжелый	2230	26,4	22,6	B20	27,5
			Легкий	1160	5,8	5,1	B5	6,8

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов

Вычисленное среднее значение сопротивления контактных зон двух бетонов, вызванного растяжением при изгибе (0,64 МПа) на 31% ниже, чем сопротивление растяжению при изгибе легкого бетона, входящего

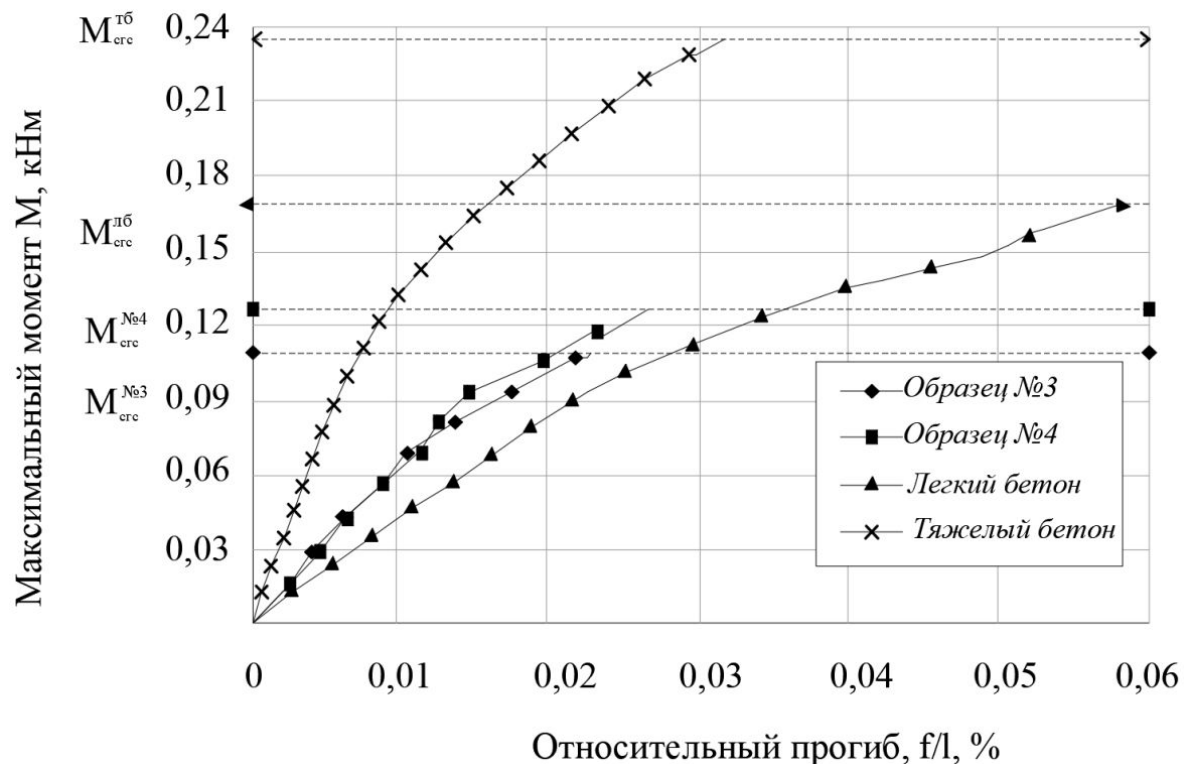
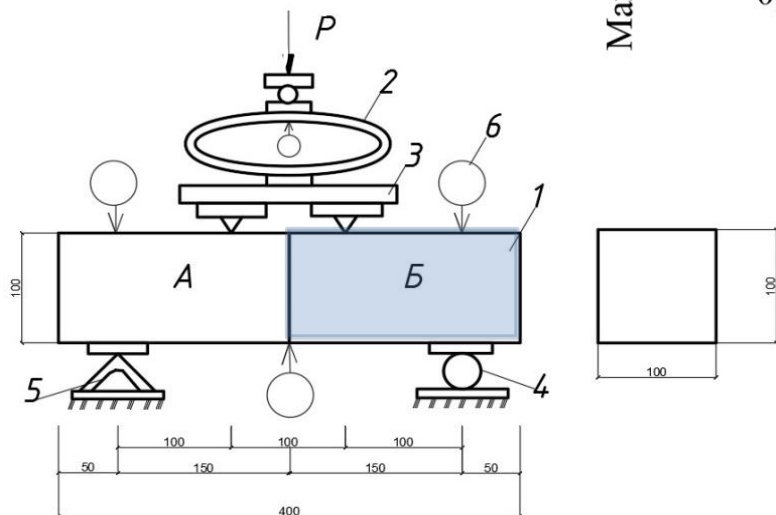
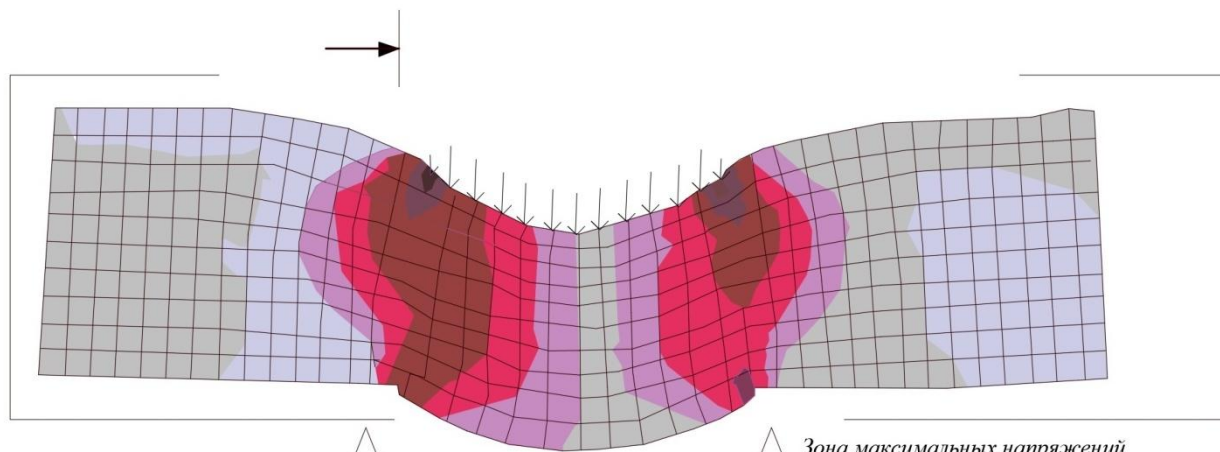
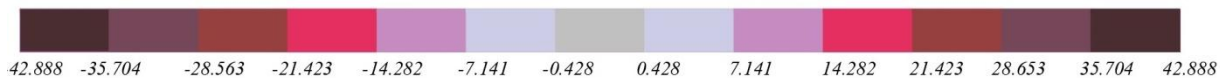


Схема испытания образцов первой серии

1 – опытный образец; 2 – динамометр; 3 – нагрузочная траверса; 4,5 – подвижный и неподвижный шарнир; 6 – индикатор часового типа; А – тяжелый бетон; Б – легкий бетон

Результаты численного моделирования образцов второй серии

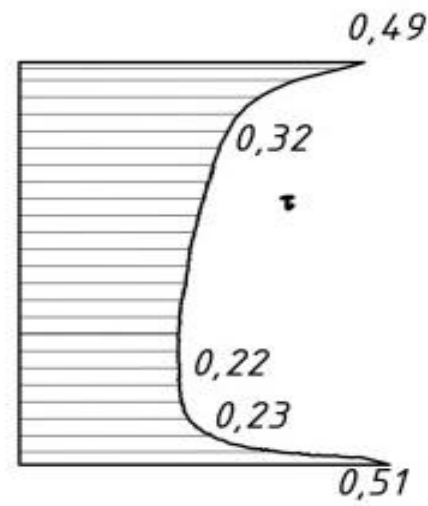
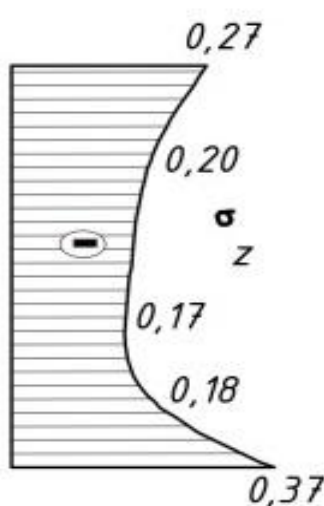


Изополя касательных

x

Загружение 1
Изополя напряжений по T_{xz}
Единицы измерения – т/м²

Эпюры нормальных и касательных напряжений в



Сравнение теоретических и экспериментальных результатов

Вычисленное среднее значение модуля сдвига шва по контакту двух бетонов для испытанных образцов составило 460 МПа, что по отношению модуля сдвига бетона среднего слоя (640 МПа)

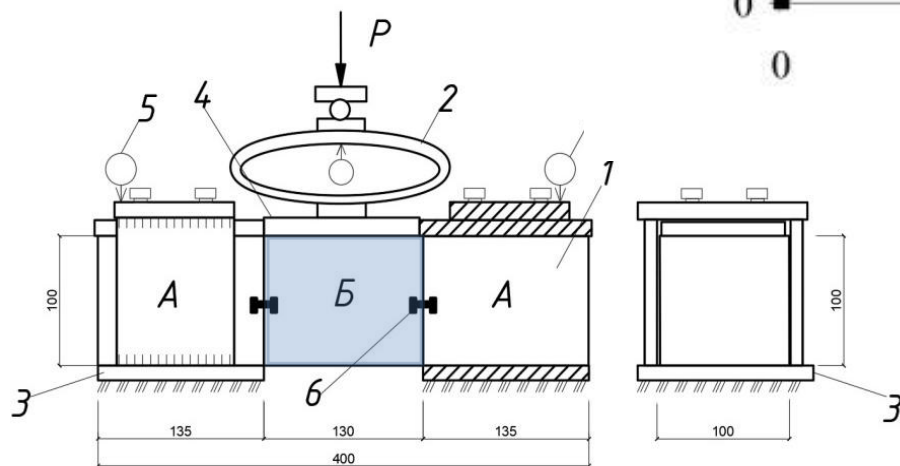
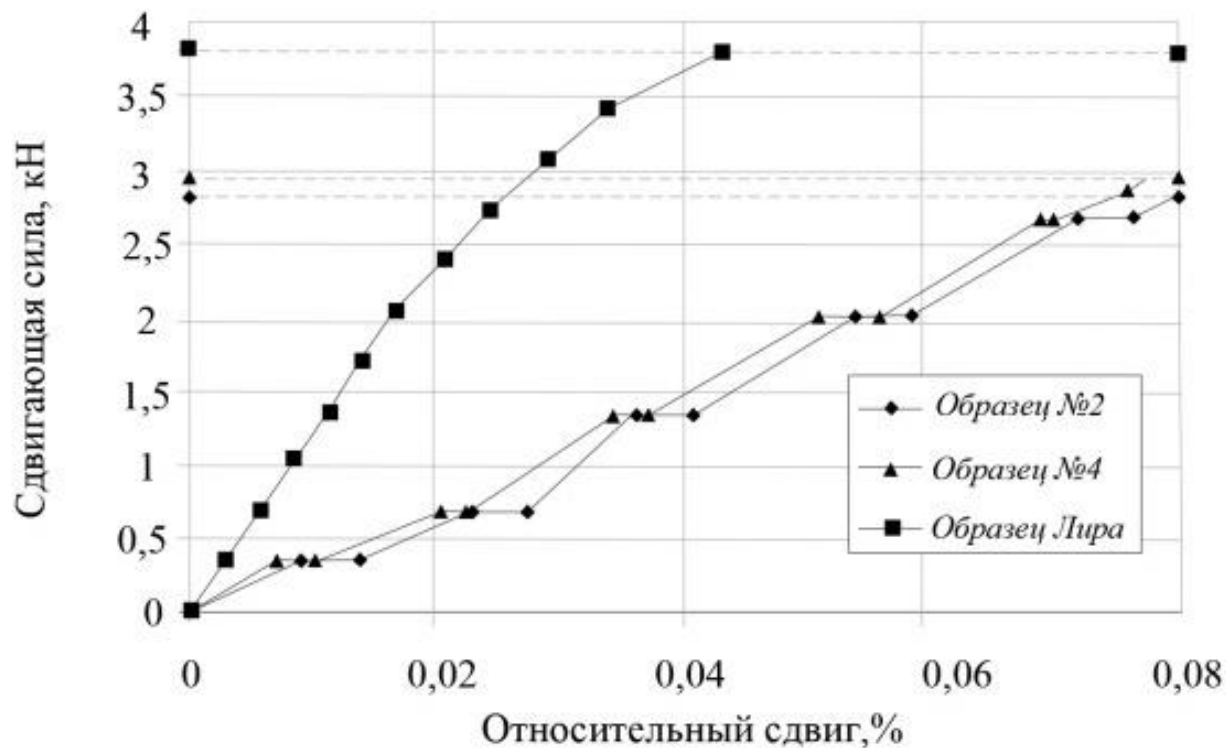
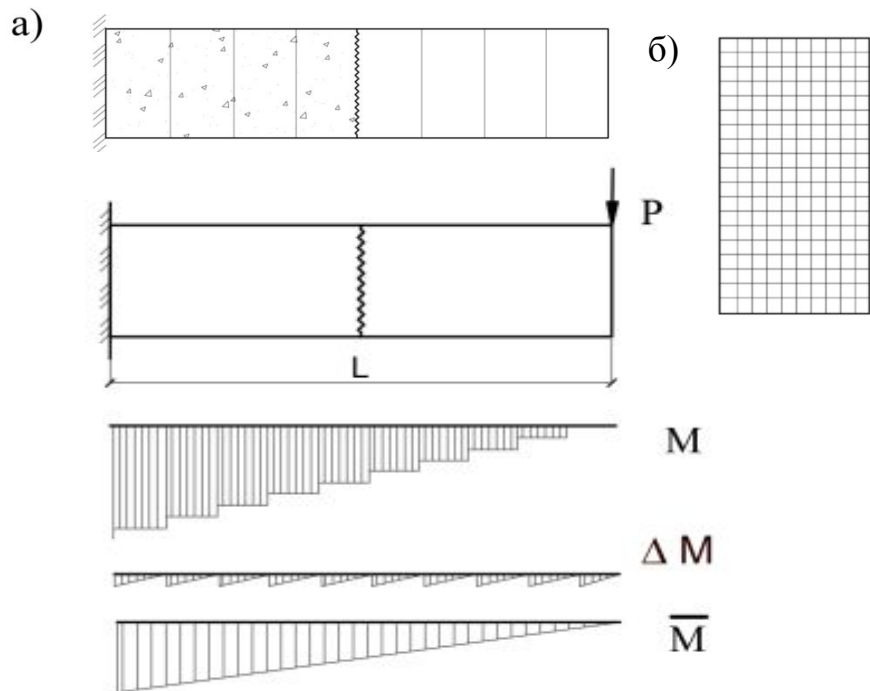


Схема испытания образцов второй серии

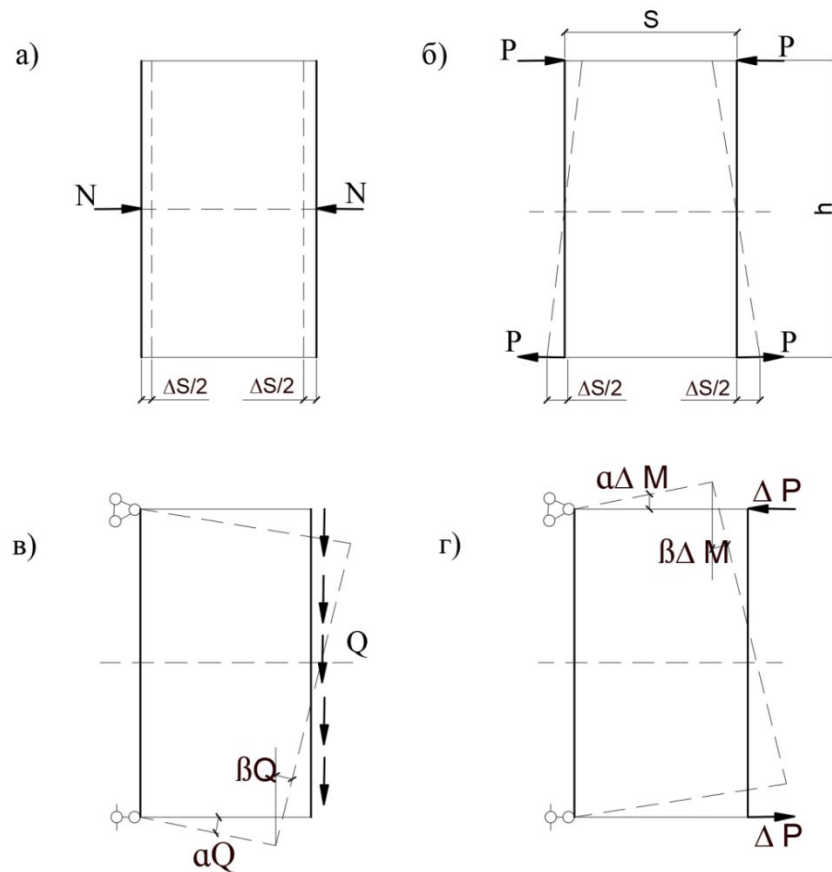
1 — опытный образец; 2 — динамометр; 3 — жесткая обойма для фиксации образца; 4, 5 — жесткая нагрузочная пластина; 6 — электромеханический тензометр

Расчетная схема фрагмента составной конструкции



Двухуровневая расчетная схема фрагмента составной конструкции

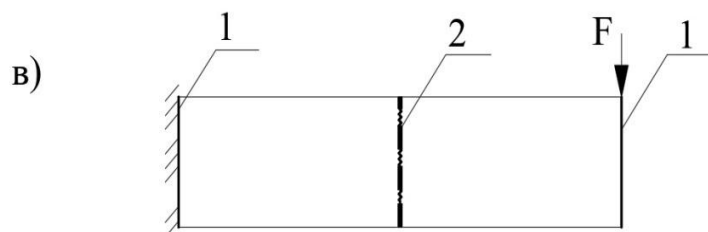
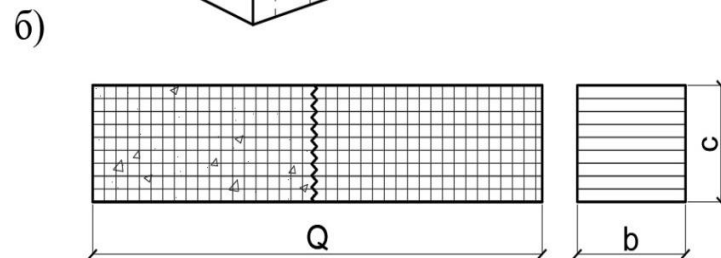
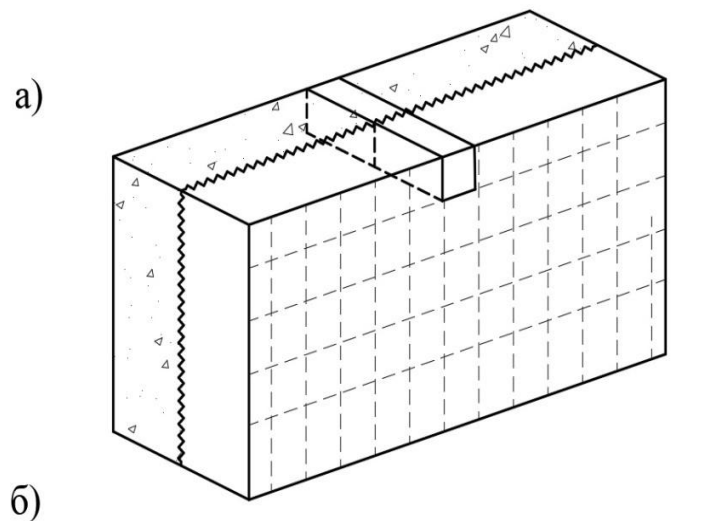
а – разбивка двухслойной балочки на элементы (расчетная схема 1-го уровня); б – разбивка элемента на конечные элементы (расчетная схема 2-го уровня)



Расчетные схемы элемента при простейших напряженных состояниях

а – сжатие (растяжение); б – изгиб; в – сдвиг; г – изгиб от дополнительного действия

Определение толщины пограничного слоя



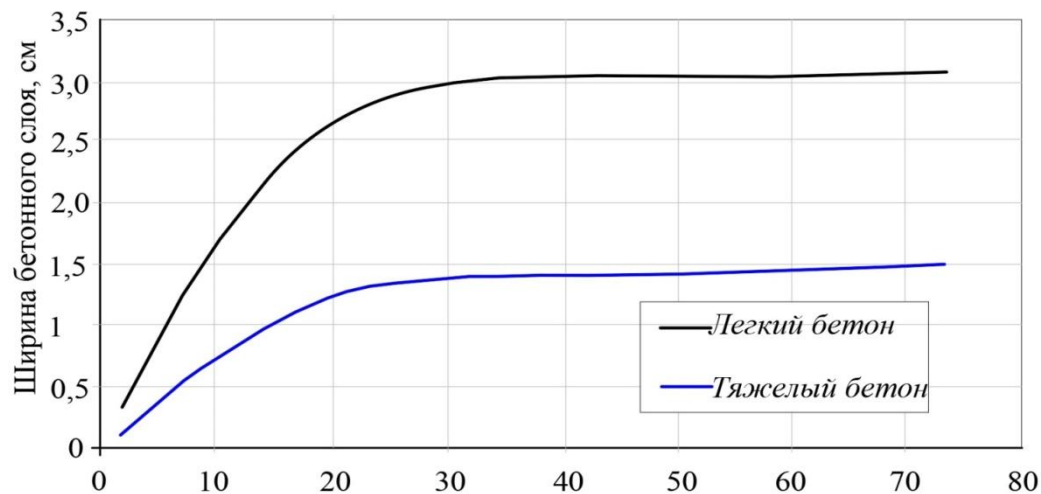
Ширина зоны материалов, входящих в состав пограничного слоя, определялась по результатам численных исследований по характерному отклонению деформаций (градиенту) от гипотезы плоских сечений

Расчетная схема элементов, принятых для численных исследований

а – разбивка двухслойного блока на элементарные составные балочки; б – разбивка двухэлементной балочки на конечные элементы; в – расчетная схема;

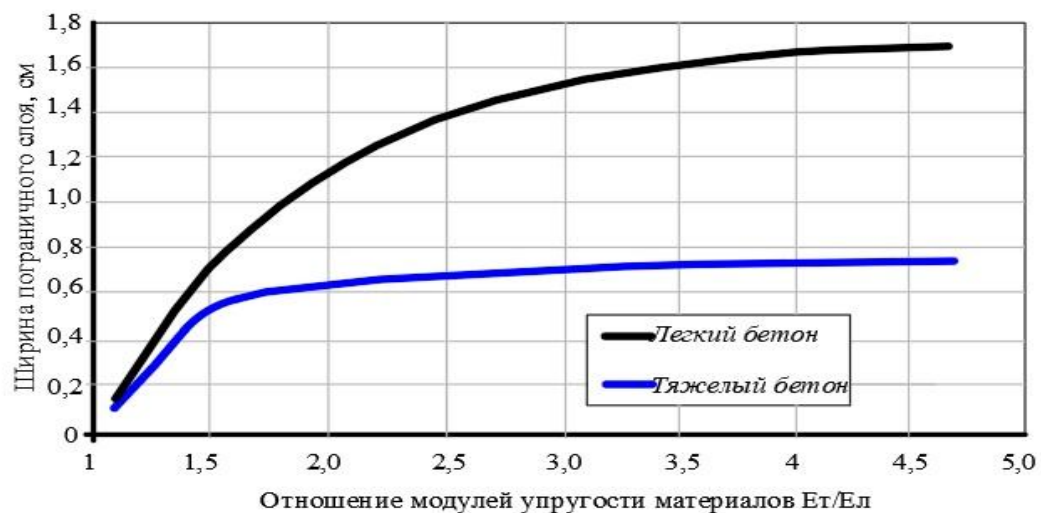
1 – жесткие вставки, принятые при численных исследованиях для снижения концентраций напряжений в местах приложения сил, 2 – исследовательская жесткая вставка

Определение толщины пограничного слоя



Зависимость толщины пограничного слоя от длины зоны контакта

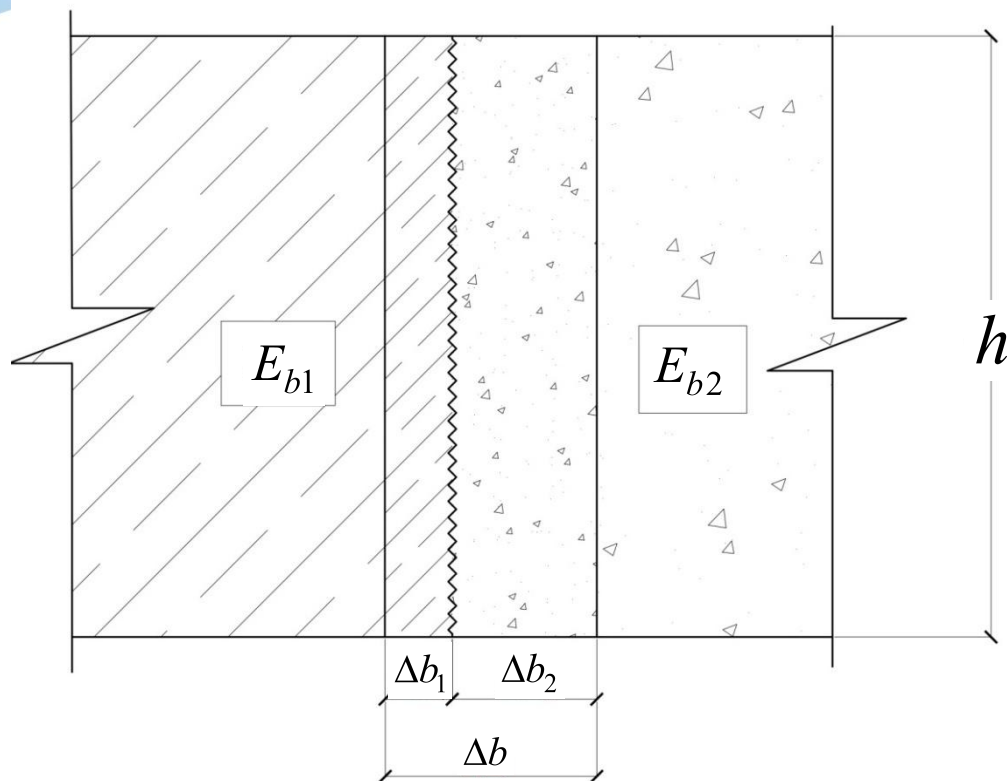
при соотношении модулей упругости материалов 3,85



Зависимость толщины пограничного слоя от соотношения модулей упругости материалов

на контакте для шва длиной 100 мм

Определение толщины пограничного слоя



Коэффициент жёсткости шва с учётом прогнозируемой толщины пограничного слоя:

$$\zeta_{\text{ш}} = \frac{\Delta b_1 \cdot E_{b1} + \Delta b_2 \cdot E_{b2}}{6 \cdot \Delta b^2}$$

Толщина пограничного слоя:

$$\Delta b = \Delta b_1 + \Delta b_2,$$

где Δb_1 и Δb_2 – составляющие части пограничного слоя тяжёлого и лёгкого бетонов;

$$\Delta b_i = \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}} - 1 \right)^n \cdot \frac{h}{10},$$

где

$\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$ – отношение модулей упругости бетонов, образующих контакт;

n – коэффициент, принимаемый

для тяжелого бетона $n = 1$,

для легкого бетона $n = 0,5$;

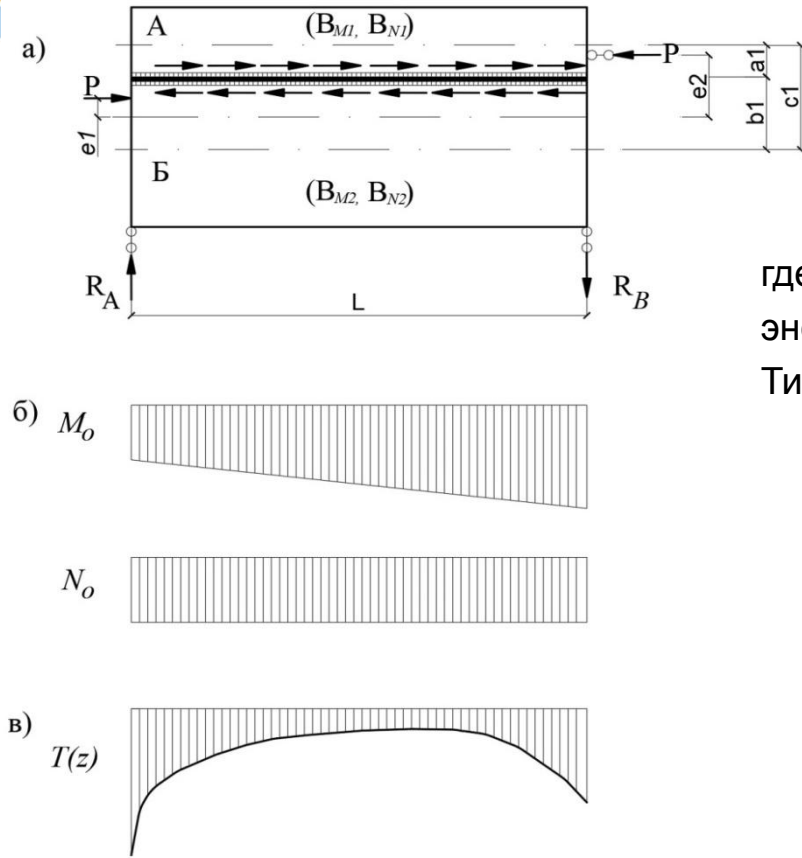
h – длина пограничного слоя, $h \leq 220$ мм.

Расчёт на действие касательных напряжений в шве



Расчётные схемы двухслойного элемента

а – разбивка двухслойного блока на элементарные составные фрагменты; б – разбивка двухслойного фрагмента на элементы; в – действие касательных напряжений в шве; г – действие продольной силы; д – действие изгибающего момента; е, ж – действие



Функция распределения касательных напряжений по длине шва:
 $\tau(z) = (A \cdot z^2 + B \cdot z + C) \cdot \xi,$

где значения констант A, B, C определены на энергетической основе с использованием метода Ритца-Тимошенко:

$$A = \frac{105}{4 \cdot \xi \cdot l^3} \cdot P \cdot S \cdot (B_M + B_{N2} \cdot e_1 \cdot c_1),$$

$$B = \frac{30}{\xi \cdot l^2} \cdot P \cdot S \cdot (B_M + B_{N2} \cdot e_1 \cdot c_1),$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \xi \cdot l} \cdot P \cdot S \cdot [15 \cdot B_M + B_{N2} \cdot (17 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2) \cdot c_1],$$

$$B_M = B_{M1} + B_{M2},$$

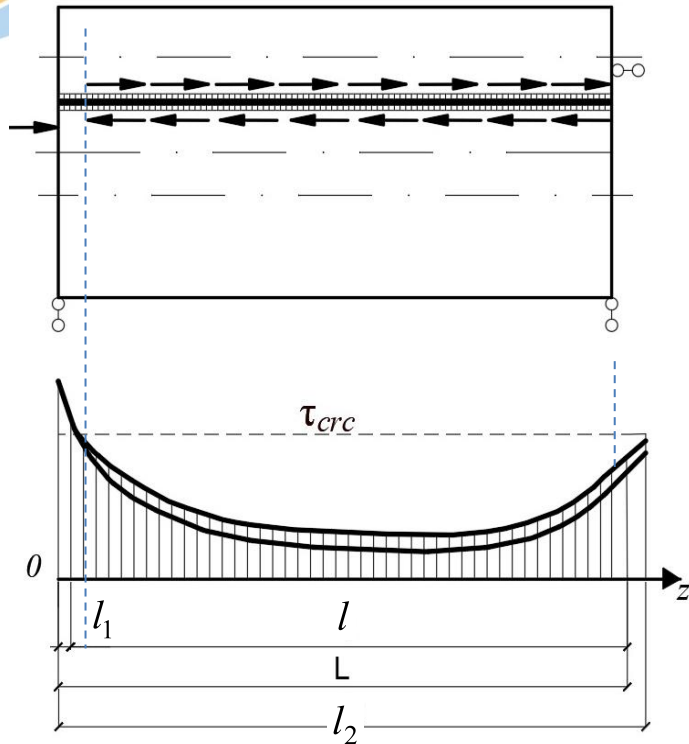
$$c_1 = a_1 + b_1,$$

$$S = \frac{B_{N1} \cdot B_{M1} \cdot B_{M2}}{[(B_{M1} + B_{M2}) \cdot [B_{N1} \cdot B_{N2} \cdot (a_1^2 \cdot B_{M2} + b_1^2 \cdot B_{M1}) + B_{M1} \cdot B_{M2} \cdot (B_{N1} + B_{N2})]]}$$

B_N, B_M – осевая и изгибная жёсткости слоёв.

а – расчетная схема двухслойного элемента (**А** – тяжелый бетон, **Б** – легкий бетон); **б** – характер эпюр внутренних усилий в элементе; **в** – характер эпюры касательных напряжений, полученный в результате численного

Определение длины трещины в шве



Трещины начинают образовываться в месте приложения активных сил к лёгкому бетону, затем реактивных к тяжёлому, с последующим их замыканием.

В качестве критерия разрушения принято образование трещин с обоих торцов рассматриваемого элемента:

$$l_2 \leq L,$$

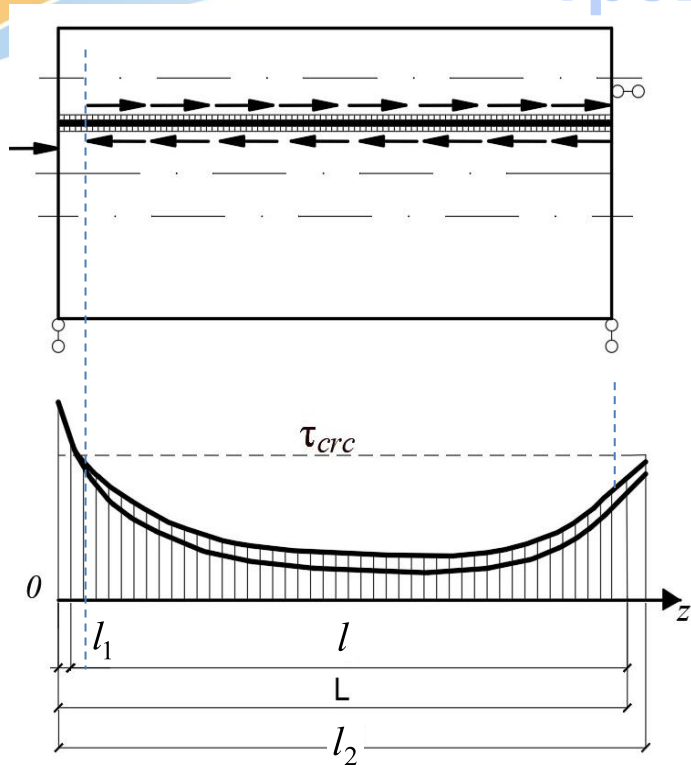
где l_1 – длина образовавшейся трещины;
 l_2 – координата z начала второй трещины;
 L – первоначальная длина шва составной конструкции.

Длина трещины определяется из решения квадратного уравнения при достижении максимальных касательных напряжений сопротивлению сдвигу:

$$\tau_{crc} = (A \cdot z^2 + B \cdot z + C) \cdot \xi,$$

$$l_1 = \frac{1}{2 \cdot A} \cdot \left(-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot \left(C - \frac{\tau_{crc}}{\xi} \right)} \right), \quad l_2 = \frac{1}{2 \cdot A} \cdot \left(-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot \left(C - \frac{\tau_{crc}}{\xi} \right)} \right)$$

Определение касательных при наличии трещины в шве



При наличии трещины только с одной стороны, касательные напряжения перераспределяются в оставшемся объеме путем наполнения эпюры, и конструкция продолжает работать.

Функция распределения касательных напряжений по длине шва после образования трещины:

$$\tau(z) = (A_1 \cdot z^2 + B_1 \cdot z + C_1) \cdot \xi,$$

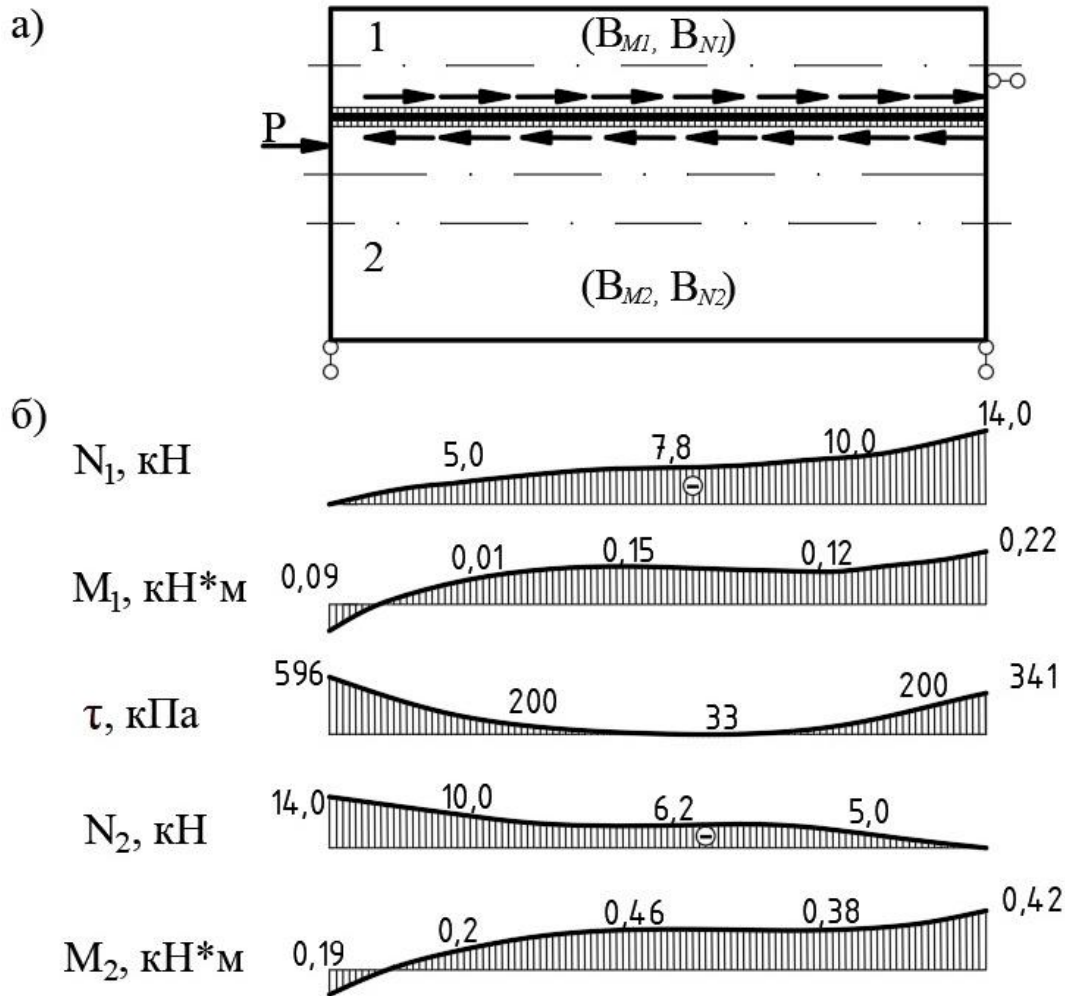
где константы аппроксимации A_1, B_1, C_1 определяются с помощью метода Ритца-Тимошенко:

$$A_1 = \frac{105}{4 \cdot \xi \cdot l^4} \cdot P \cdot S \cdot [(B_M + B_{N2} \cdot e_1 \cdot c_1) \cdot l + [B_{N2} \cdot c_1 \cdot (2 \cdot e_1 + e_2) + B_M] \cdot l_1],$$

$$B_1 = \frac{30}{\xi \cdot l^3} \cdot P \cdot S \cdot [(B_M + B_{N2} \cdot e_1 \cdot c_1) \cdot l + [B_{N2} \cdot c_1 \cdot (2 \cdot e_1 + e_2) + B_M] \cdot l_1],$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \xi \cdot l^2} \cdot P \cdot S \cdot [[15 \cdot B_M + B_{N2} \cdot (17 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2) \cdot c_1] \cdot l + 15 \cdot [B_{N2} \cdot c_1 \cdot (2 \cdot e_1 + e_2) + B_M] \cdot l_1]$$

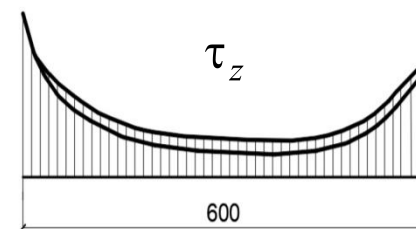
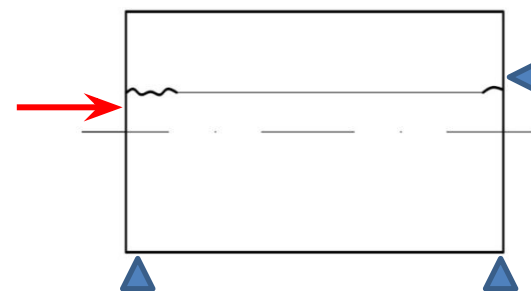
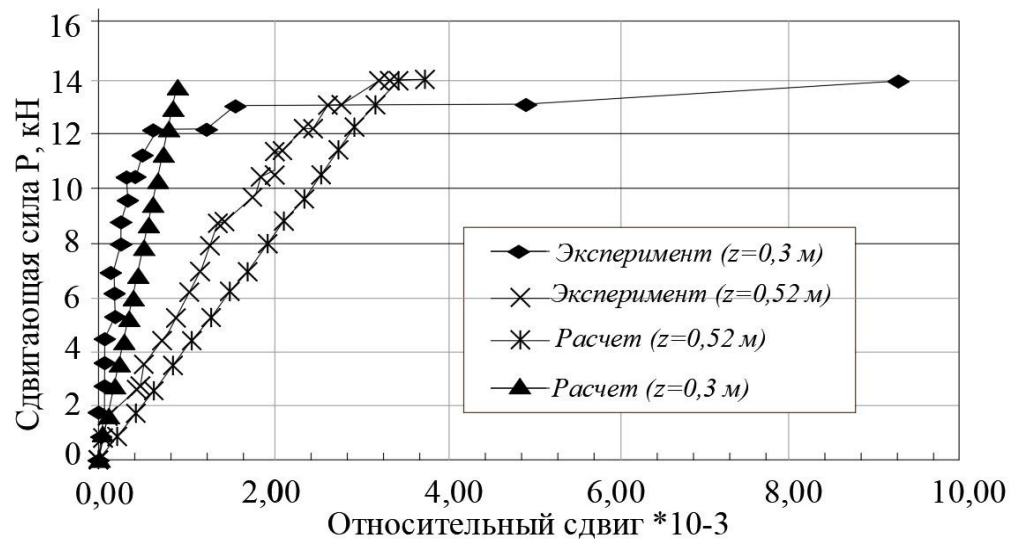
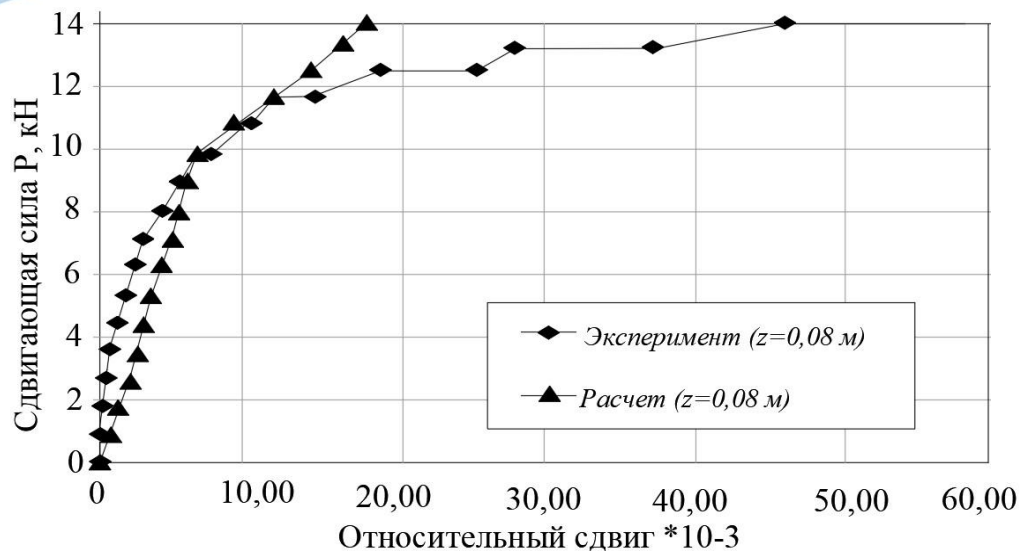
Результаты численного анализа образцов третьей серии



Использование в расчетной модели упрощенного вида функции распределения касательных напряжений в пограничном слое в виде квадратной параболы, позволяет качественно описать работу каждого слоя в составе конструкции без решения дифференциальных уравнений

а – расчетная схема;
б – эпюры внутренних усилий при экспериментальной предразрушающей нагрузке 14 кН

Результаты численного анализа образцов третьей серии



Опытные и расчетные диаграммы «относительный сдвиг – нагрузка» для двухслойных образцов

Научная новизна работы

Научную новизну работы составляют:

- методика определения толщины пограничного слоя в зависимости от модулей упругости бетонов, образующих контакт;
- методика определения коэффициента жёсткости шва с учётом прогнозируемой толщины пограничного слоя;
- методика определения несущей способности шва сдвига после образования трещины с учетом нелинейного распределения в нем сдвигающих усилий;
- результаты численного анализа элементов составных конструкций с учётом прогнозируемых физико-механических характеристик пограничного слоя.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость

Предложена экспериментально обоснованная методика расчета составных и слоистых конструкций с учетом прогнозируемых физико-механических свойств контактной зоны двух бетонов (пограничного слоя).

Практическая значимость

Разработанный расчетный аппарат позволяет адекватно оценивать напряженно деформируемое состояние указанных конструкций и обеспечивает теоретическую основу для их рационального проектирования. За счет этого в ряде случаев имеется возможность существенного снижения расхода материалов и повышения надежности проектирования.



**Спасибо за
внимание!**