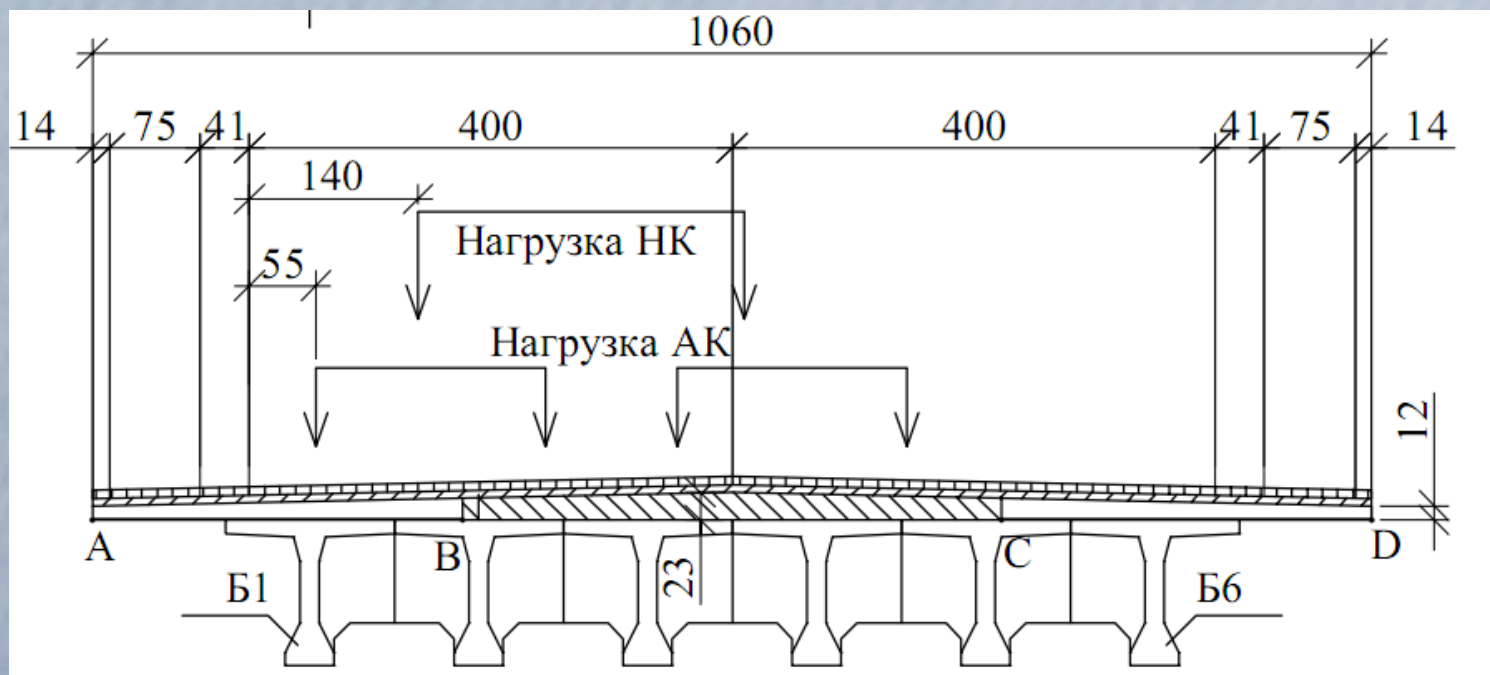


Двухстадийный расчет ребристого пролетного строения автодорожного моста, усиленного сборно-монолитной накладной плитой, с учетом вариантов включения плиты в работу

Козлов Алексей Владимирович, г. Воронеж



Пролет полной длиной 22,16 м, балки преднапряженные, “шашлычного” типа, с полигональной арматурой по типовому проекту вып. 100 СДП. Шаг балок в поперечном направлении – 1,40 м. На рисунке показано проектное решение уширения габарита с повышением несущей способности балок. При этом на участках АВ и CD лежат сборные плиты, объединенные между собой по длине пролета монолитными участками, и объединенные с монолитной частью ВС посредством выпусков арматуры. Такое решение, очевидно, не обеспечивает 100%-ного включения накладной плиты в работу.

Для оценки грузоподъемности пролетного строения по изгибающему моменту в середине пролета проведен расчет усилий в главных балках в две стадии:

- на первой шесть главных балок, объединенных диафрагмами (поперечное объединение восстанавливается в процессе ремонта), воспринимают собственный вес и вес незатвердевшей сборно-монолитной плиты – усилия имеют обозначения типа M_I , предельные усилия – $M_{I(пред)}$;

- на второй стадии балки Б2-Б5 считаются работающими совместно с монолитной частью накладной плиты, а включение в работу сборных плит над балками Б1 и Б6 варьируется:

- вариант 1 – плита полностью включается в работу;

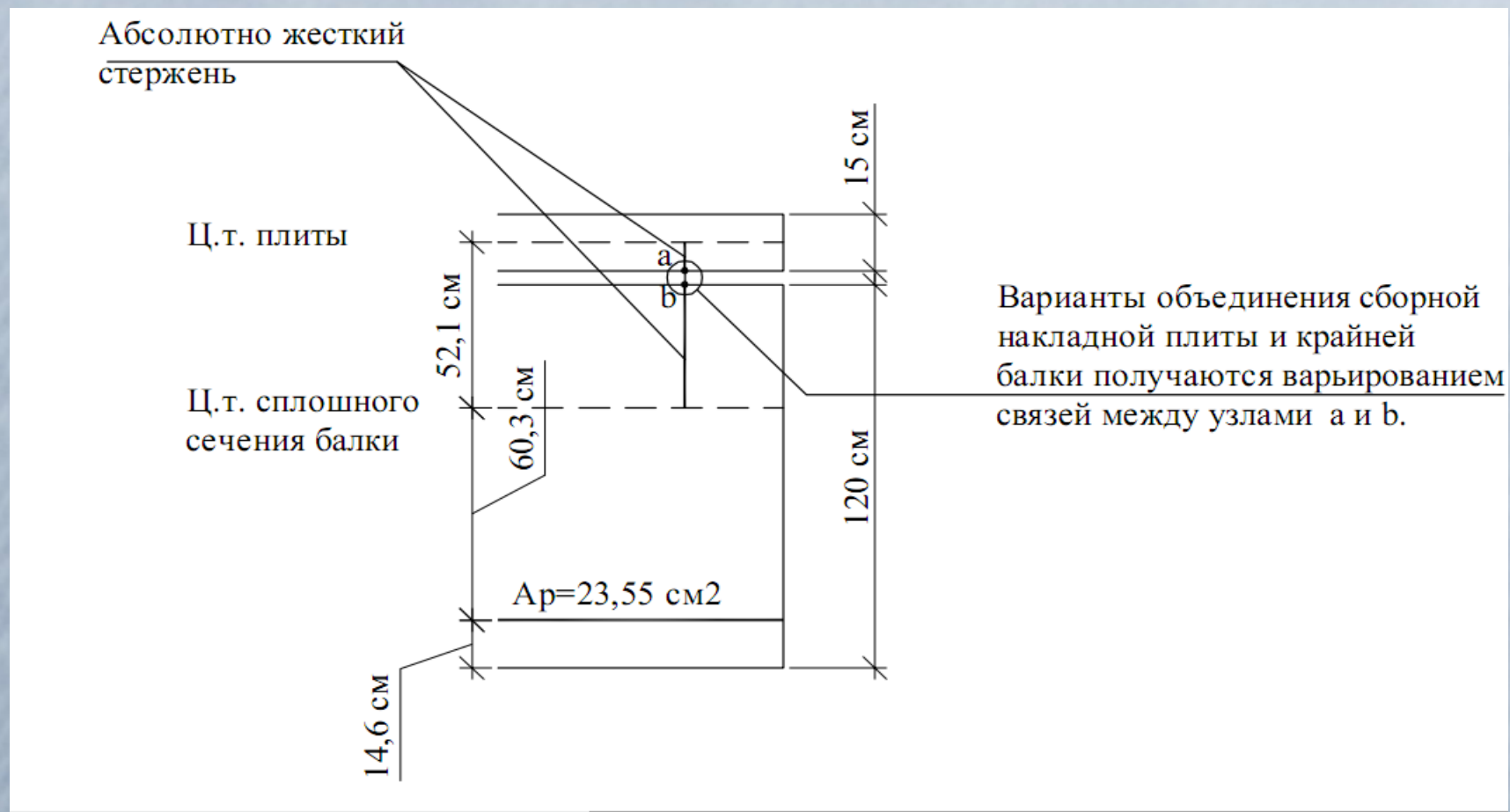
- вариант 2 – сборная часть не включается в работу;

- вариант 3 – сцепление сборной части ограничено предельными сдвигающими усилиями, которые способны воспринять анкера.

При этом происходит сложное перераспределение усилий в балках, которое можно вычислить с использованием программ, реализующих метод конечных элементов (МКЭ), в данном случае – ПК ЛИРА. Усилия на 2-й стадии имеют обозначения типа M_{II} , предельные усилия - $M_{II(пред)}$.

| Принятое включение накладной плиты в совместную работу | Момент от соб.веса балки и плиты M_I , т*м | Предельный момент на I стадии, M_I предел, т*м | Момент на II стадии M_{II} , т*м | | | Предельный момент на II стадии с учётом накопленных напряжений, M_{II} предел, т*м | Выполнение условия прочности | Вывод по грузоподъёмности |
|---|--|--|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|
| | | | От покрытия | A11 | НК-80 | | | |
| Вариант 1 Вся плита включается в работу (расчёт балки Б1) | 114,4 | 252,7 | 44,8 | 121,1 | 107,5 | 166,8 | $M_I + M_{II} = 280,3 < M_I + M_{II}(\text{пред}) = 281,2$ т*м – условие выполнено | Пропуск нагрузок А11 и НК-80 обеспечен |
| Вариант 2 Монолитная часть полностью включается, сборная полностью не включается | Б1 - 114,4 Б2 – 111,4 Б3 – 110,9 | 252,7 | Б1 – 33,3 Б2 – 48,1 Б3 – 46,0 | Б1 – 92,1 Б2 – 124,6 Б3 – 103,5 | Б1 – 63,2 Б2 – 110,4 Б3 – 85,2 | Для Б1 $M_I + M_{II}(\text{пред}) = M_I$; для Б2 $M_{II} = 173,1$ | Для Б1: $M_I + M_{II} = 239,8 < M_I + M_{II}(\text{пред}) = 252,7$ т*м – условие выполнено; Для Б2: $M_I + M_{II} = 284,1 < M_I + M_{II}(\text{пред}) = 284,5$ т*м – условие выполнено | Пропуск нагрузок А11 и НК-80 обеспечен |
| Вариант 3 Монолитная часть полностью включается, сборная частично | Б1 - 114,4 Б2 – 111,4 Б3 – 110,9 | 252,7 | Б1 – 43,8 Б2 – 42,1 Б3 – 41,3 | Б1 – 97,9 Б2 – 120,9 Б3 – 100,9 | Б1 – 87,4 Б2 – 107,9 Б3 – 90,1 | Для Б1 $M_I + M_{II}(\text{пред}) = 192,5$ тм; для Б2 $M_{II} = 173,1$ | Для Б1: $N_e(I + II) = 185,2 < N_e(I + II)(\text{пред}) = 192,5$ тм – условие выполнено; Для Б2: $M_I + M_{II} = 274,4 < M_I + M_{II}(\text{пред}) = 284,5$ т*м – условие выполнено | Пропуск нагрузок А11 и НК-80 обеспечен |

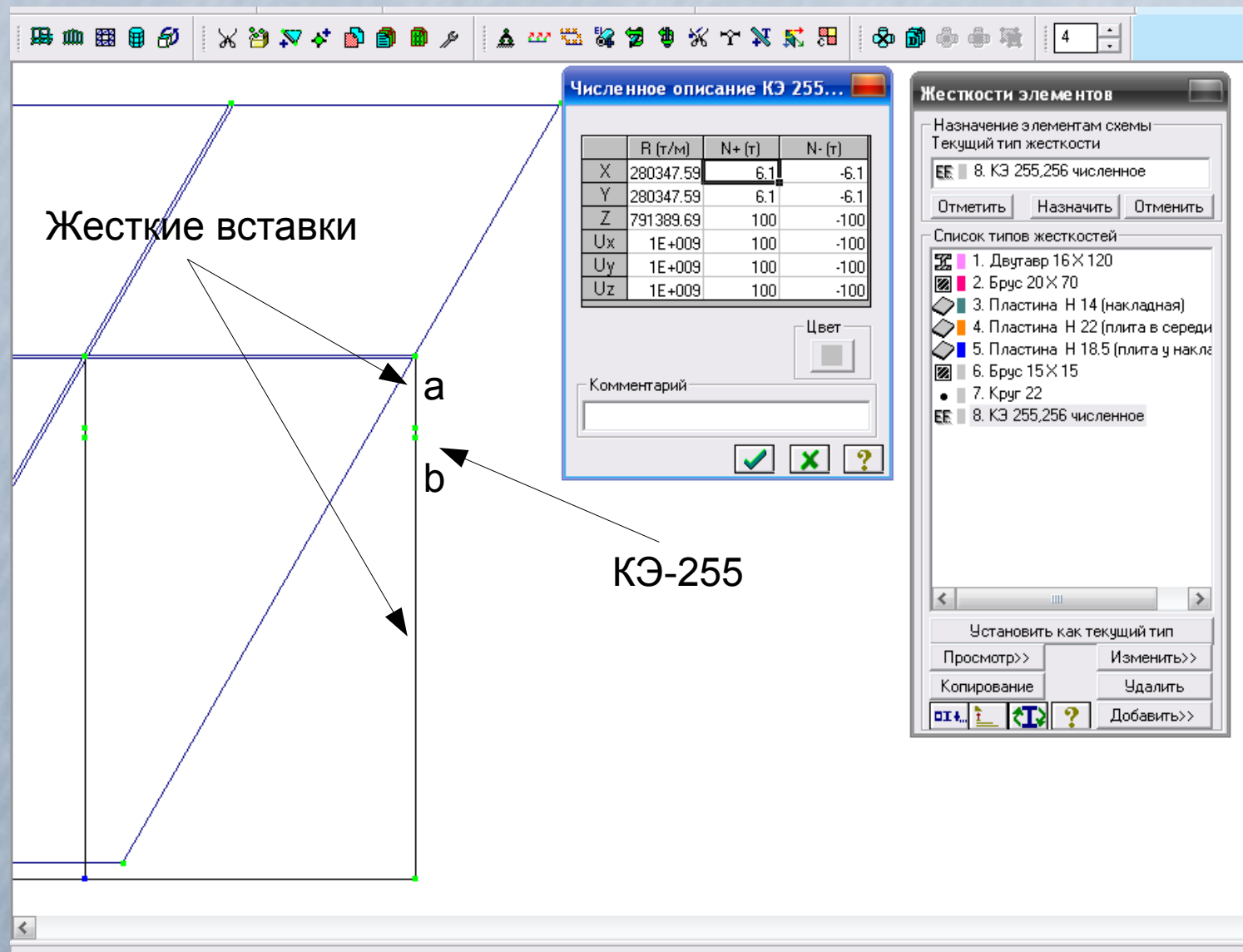
Таким образом, при любом варианте включения сборной части накладной плиты в работу и при отсутствии проскальзывания монолитной части, пропуск нагрузок класса А11 и НК-80 обеспечен. Дополнительными расчетами показано, что монолитная часть включается в совместную работу с балками полностью, а также что на приопорных участках выполняются условия прочности наклонных сечений по поперечной силе.



На рисунке показан фрагмент продольного разреза по оси крайней балки. В зависимости от выбранного варианта расчета, между узлами а и б вводятся:

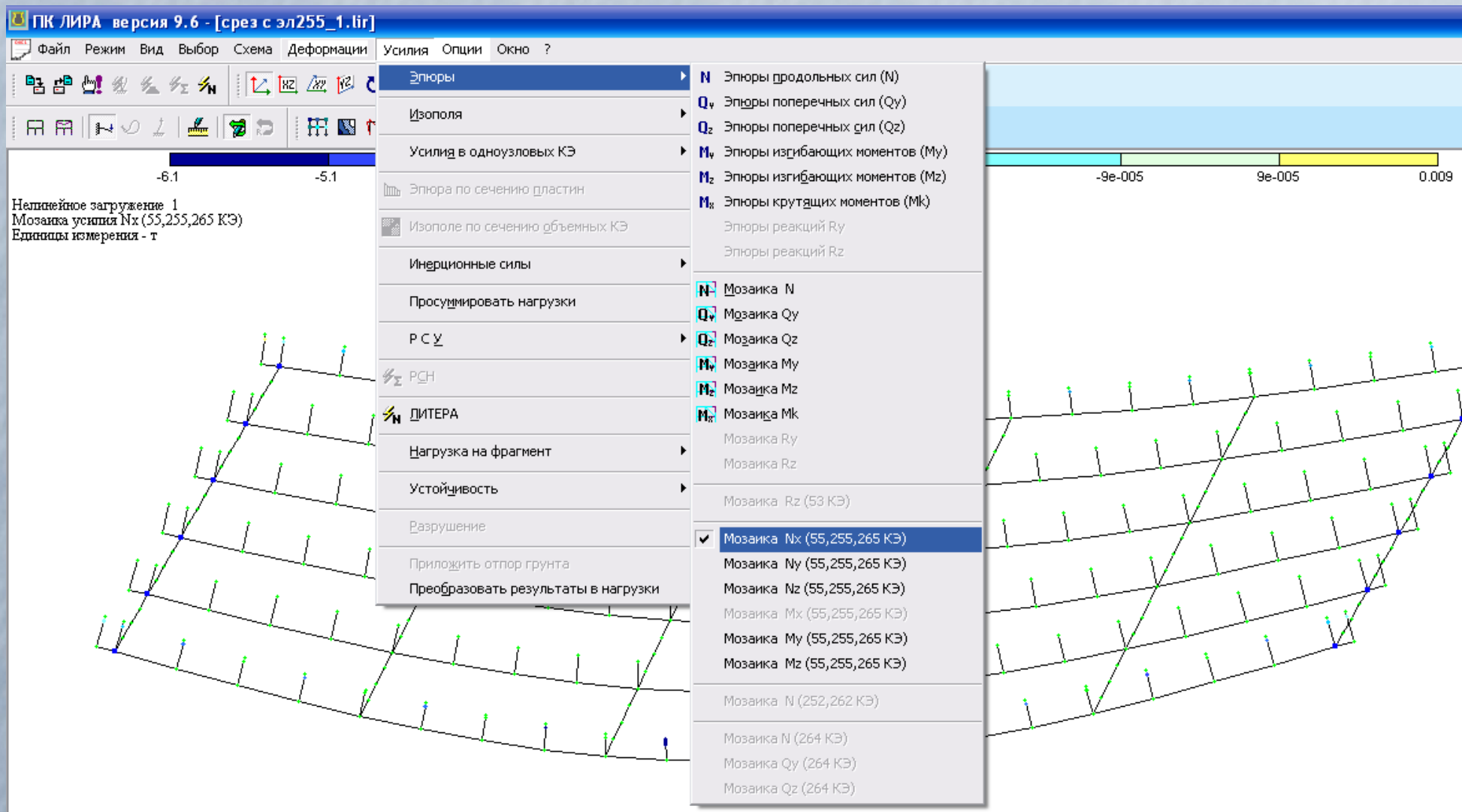
- При полном включении в работу – жесткий стержень;
- При отсутствии совместной работы – вводится лишь объединение перемещений по вертикали;
- Для учета упругой работы анкеров на сдвиг – двухузловой элемент с конечным усилием (№255), равным несущей способности анкера по соответствующему направлению.

Также можно поставить в каждом варианте КЭ-255 с соответствующей погонной жесткостью.



На рисунке показан принцип моделирования связи между сборной плитой и балкой. Особенности численного описания КЭ-255:

- Погонные жесткости и предельные усилия задаются по глобальным осям;
- Следует тщательно рассчитывать погонные жесткости (будет показано позже).



Деформированная схема пролета (накладная плита условно не показана). Реакции в КЭ-255 выдаются также по глобальным осям. Как видно на рисунке, в нагруженной крайней балке (ближняя) присутствуют сдвигающие усилия, превышающие несущую способность анкеров – 6,1 т (приложение 22 СНиП 2.05.03-84*), но взаимное перемещение узлов этих элементов составляет доли миллиметра, что позволяет говорить о том, что они нормально работают в пластической стадии.



Узел 5

| Координаты | | Связи | |
|------------|------------|----------------------------|--|
| X | 0 м | <input type="checkbox"/> X | <input checked="" type="checkbox"/> UX |
| Y | 1.8 м | <input type="checkbox"/> Y | <input checked="" type="checkbox"/> UY |
| Z | -0.07066 м | <input type="checkbox"/> Z | <input checked="" type="checkbox"/> UZ |

| № узла | Блок N | № ж.т. | |
|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| 5 | 39 | | <input type="checkbox"/> Отметить |

Нагрузки

☒ Загрузка № загр. 1

☐ PCH

↓ X P=1 т - Сила вдоль глобальной оси

Новая Удалить

Перемещения в глобальной системе

| | | | |
|---|--------------|----|---|
| X | 0.0035669 мм | UX | 0 |
| Y | 0 мм | UY | 0 |
| Z | 0 мм | UZ | 0 |

Перемещения в локальной системе

| | | | |
|---|---|----|---|
| X | 0 | UX | 0 |
| Y | 0 | UY | 0 |
| Z | 0 | UZ | 0 |

Элемент 1

Номера узлов: 1, 5

№ 1 Блок N ☐ Отметить

Тип жесткости: 1. Круг 22

Тип КЭ: 10 К-во сечений: 2 Ортогональность: ☐

Длина, координаты центра тяжести: L=0.01009м, Xc=0м, Yc=1.8м, Zc=-0.075705

☒ Загрузка № загр. 1

☐ PCH

| № сечения | N | Mx | My | Qz | Mz | Qy | Ry | Rz |
|-----------|-----|-------|--------------|------|-------|-----|-------|-------|
| 1 | 0 т | 0 т*м | 0.005045 т*м | -1 т | 0 т*м | 0 т | 0 т/м | 0 т/м |

☐ Эпюры Экспорт усилий

Стальное сечение

Состав: Жесткость

Сортамент: Сталь горячекатаная круглая

Профиль: 1. Круг 22

Поворот Сечение... Стыковка >> Комментарий

Погонные жесткости для численного описания КЭ-255 рассчитываются в отдельном файле. Длина анкера здесь принята равной 1 см – толщина цементной подливки между накладной плитой и балкой. Жесткость по заданному направлению получается делением единичной силы на перемещение от этой силы, м. Закрепления узлов: нижнее – жесткая заделка, верхнее – запрещены все повороты.

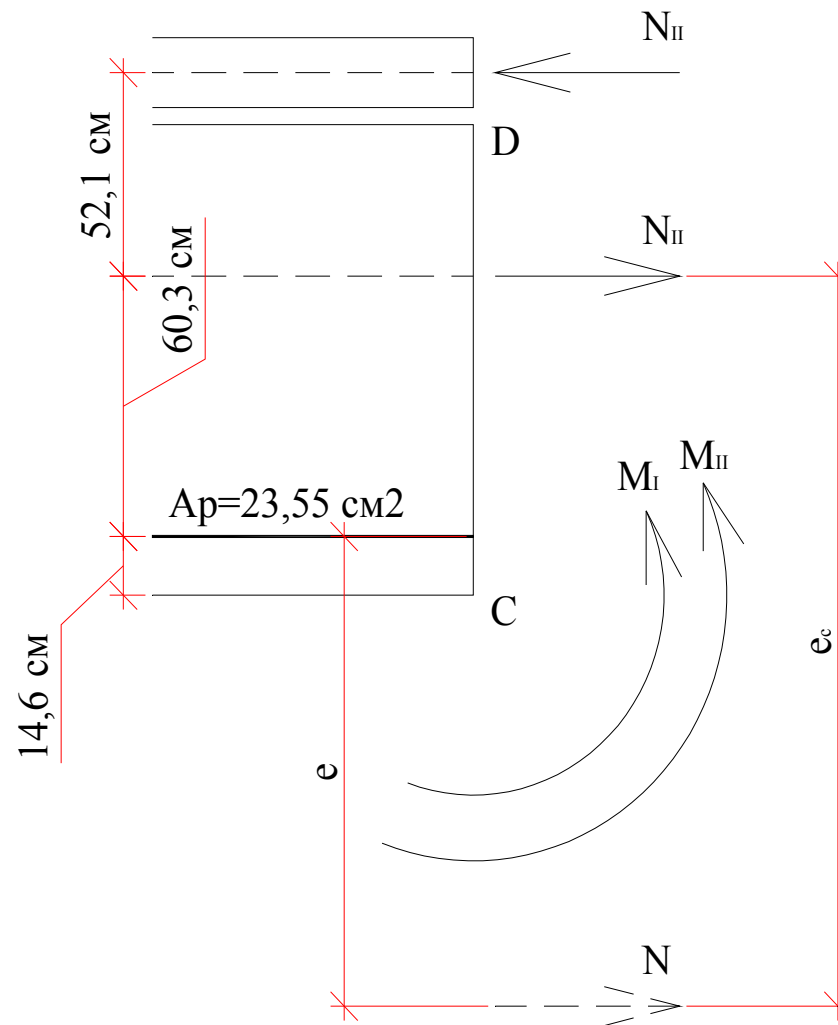


Схема расчета плоского сечения CD на внецентренное растяжение при частичном включении накладной плиты в работу:

$N = N_{II}$, $e_s = (M_I + M_{II})/N$, условие прочности согласно п. 3.75 СНиП 2.05.03-84*:

$N \cdot e \leq R_b \cdot b \cdot x (h_0 - 0.5x)$; высота сжатой зоны из условия $R_p \cdot A_p - N = R_b \cdot b \cdot x$, если сжатая зона находится в плите балки.



Актуальность поставленной задачи подтверждается обследованиями нескольких сооружений: на фотографии видно, что накладная плита проскальзывает по балке. Кроме того, подобные решения по ремонту мостов, популярные в 90-х годах, обеспечивали пропуск нагрузок А11 и НК-80 практически без запасов даже при идеальном состоянии балок. Учитывая, что балки шашлычного типа очень чувствительны к протечкам через деформационные швы (вода через торцы попадает в каналы с полигональной арматурой, вызывая интенсивную коррозию), следует очень внимательно относиться к обследованиям и оценке грузоподъемности таких сооружений.

А. В. Козлов, Воронеж, 2014

Спасибо за внимание!