

Преднапряженные балки: как определить величину преднапряжения, зная прогиб?

Тема была поднята на форуме

<http://forum.bridgeart.ru/index.php?topic=2171.msg9822#msg9822>

Зачастую при обследовании моста явно виден прогиб балок. В этом случае можно примерно посчитать значение "остаточного преднапряжения" в долях от идеального случая.

Общие положения такого расчета:

Следует принять, что нижняя грань опалубки горизонтальна (строительный подъем равен нулю).

Преднапряжение играет роль в определении прогиба/выгиба, как и любая внешняя сила. Обратимся к п. 7.113, формула 7.105 СП 35.13330.2011 (то же самое, что и в старом снипе). Немного упростив эту формулу с учетом того, что временной нагрузки нет, получаем:

$$\text{радиус} = \frac{\text{жесткость сечения}}{[(\text{момент от веса балки и мостополотна}) (\text{момент от сил преднапряжения})]}$$

Собственный вес балки и вес мостополотна вызывают прогиб вниз (момент одного знака); силы преднапряжения, приложенные ниже центра тяжести приведенного сечения, вызывают выгиб вверх (момент другого знака).

Сначала была балка с плитой 140 см; с учетом первых потерь она имела выгиб вверх Z1 - считаем по формуле 7.105 радиус, зная радиус и хорду, легко вычислить стрелу подъема.

Смонтировали ее в пролет, сделали монолитные участки - пока они не затвердели, их вес взяла на себя балка с плитой 140 см, выгиб уменьшился с учетом прироста веса - жесткость пока та же (считаем уже "изменение радиуса", момент от преднапряжения не учитываем, т.к. он типа не изменился).

Монолитные участки затвердели, сечение изменилось - считаем новую жесткость, прогиб не поменялся.

Бахнули покрытие - балка с новой жесткостью, преднапряжение опять же не учитываем, считаем изменение прогиба от покрытия.

Считаем прогиб от вторых потерь. Получаем тот конечный выгиб, который должен получиться при 100% преднапряжении с учетом всех потерь и всей постоянной нагрузки в идеальном случае.

А потом переделываем первый шаг при (момент от преднапряжения=0), и далее все то же самое.

Подробнее это выглядит так:

Вариант 1. Учет 100% преднапряжения. Усилия, которые требуется учитывать на каждом этапе:

1. Собственный вес балки с плитой 140 см; преднапряжение с учетом первых потерь - прогиб Z1 (выгиб вверх)
2. Вес монолитных участков при жесткости балки с плитой 140 см - прогиб dZ2
3. Пересчет жесткости с учетом новой ширины плиты - изменение выгиба не происходит
4. Вес слоев покрытия - прогиб dZ4 (здесь и далее учитывается новая жесткость, см.п.3)
5. Вторые потери (вводятся со знаком минус) - прогиб dZ5 ВЕСА ВСЕ БЫЛИ УЧТЕНЫ РАНЕЕ, УЧИТЫВАЕТСЯ ТОЛЬКО ПОТЕРЯ ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ

Прогиб (выгиб) в идеальных условиях: $Z=Z1-dZ2-dZ4-dZ5$

Вариант 2. Преднапряжения как будто **ВООБЩЕ НЕТ И НЕ БЫЛО И НЕ БУДЕТ**. Усилия, которые требуется учитывать на каждом этапе:

1. Собственный вес балки с плитой 140 см - прогиб Z1
2. Вес монолитных участков при жесткости балки с плитой 140 см - прогиб dZ2
3. Пересчет жесткости с учетом новой ширины плиты - изменение прогиба не происходит

4. Вес слоев покрытия - прогиб dZ_4 (здесь учитывается новая жесткость, см.п.3)

Прогиб ПРИ ПОЛНОМ ОТСУТСТВИИ ПРЕДНАПРЯЖЕНИЯ: $Z=Z_1 dZ_2 dZ_4$

По данным участника форума, вот что получилось при расчете балки 33 м, высота 153 см, прогиб крайней балки - 6см, шаг балок - 230 см, консоль крайней балки от оси ребра - 203 см. Материалы, силы преднапряжения, потери и моменты инерции брал из типового 81-0-4; на первой стадии для плиты 140, на второй стадии для плиты 240 - т.к. с учетом того, что включаемая в работу длина свеса плиты не может превышать 6 толщин (от вута $6*18=108$ см, или 261 см - общая ширина включаемой в работу плиты, с учетом того, что считать её нужно не от конца вута, а от места, где начинается уклон 1:3 и более, как раз 240 и выйдет.)

- жесткость на первой стадии $0,85EI=0,85*3,3*10^6*213,6*10^{-3}=599148$ т*м² (к модулю деформации - к-т 0.9 от тепловлажностной обработки)

- жесткость на второй стадии $0,85EI=0,85*3,3*10^6*260,2*10^{-3}=729861$ т*м²

- момент от собственного веса балки 210,6 тм - из типового

- момент от сил преднапряжения с учетом первых потерь - 389,3 тм - из типового

- момент от монолитных участков шириной 1,78 м - 103,8 тм

- момент от покрытия и прочего (предоставленные данные) - 172 тм

- момент от вторых потерь - 64,22 тм (типовой)

- зависимость величины прогиба от радиуса и хорды: $f=c^2/8R$, при $c=32,2$ м $f=129.605/R$

Получилось:

Вариант 1: $Z_1-dZ_2-dZ_4-dZ_5=3.75-2.24-3.05-1.14=-2.68$ см

Вариант 2: $-4,56-2,24-3,05=-9,85$ см

Преднапряжение даёт в идеальном случае: $-2,68-(-9,85)=7,17$ см

Реально: $-6-(-9,85)=3,85$ см

Итого осталось от проектного преднапряжения: $3,85/7,17=0,537$ - 54%.

Потери от быстроснатекающей ползучести я не учитывал, поэтому при более детальном расчете должно получиться чуть побольше. Тем более и жесткость упрощенно считал, без учета ползучести.