

---

## 429 – Усиление ж/б балки композитной арматурой





Программа предназначена для проектирования усиления железобетонной балки путем устройства внешнего армирования композитным материалом согласно СП 164.1325800.2014 [1] и СП 63.13330.2018 [2].

## 1. Расчётная схема и нагрузки

Рассматривается однопролетная железобетонная балка с шарнирными или абсолютно жесткими закреплениями краев. Поперечное сечение балки может быть прямоугольным или тавровым с нижней и/или верхней стальной арматурой. (рис.1).

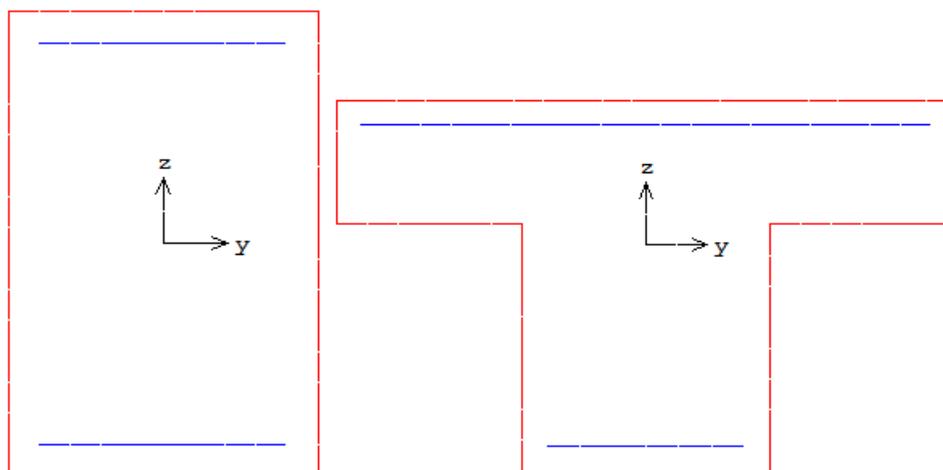


Рис. 1. Виды сечений

Композитная арматура в виде ламината или холста наклеивается на растянутую сторону сечения.

Возможно задание сосредоточенных  $Q$  и равномерно распределенных нагрузок  $q$ . Точка приложения сосредоточенной нагрузки определяется по расстоянию  $x$  от левого края балки. Пример задания нагрузок показан на рис.2.

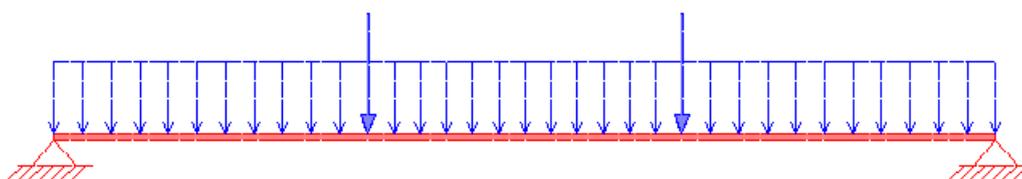


Рис.2. Нагрузки на балку

При вводе задаются действующие нагрузки  $Q$ ,  $q$  и проектные нагрузки  $Q_n$ ,  $q_n$  только одного знака. Предполагается, что действующие нагрузки не превосходят предельные нагрузки для балки до усиления, а проектные нагрузки превышают эти предельные нагрузки и для обеспечения несущей способности балки требуется дополнительное армирование композитной арматурой.

Классификация и комбинирование нагрузок принимаются согласно СП 20.13330.2016 [3]. Нагрузки подразделяются на постоянные, длительные и кратковременные. Комбинирование нагрузок представляет собой генерацию множества возможных комбинаций нагрузок с

учетом коэффициентов надежности по нагрузке  $\gamma_f$  и коэффициентов, связанных с одновременным учетом двух и более временных нагрузок.

## 2. Расчет

Расчет по прочности проводится на основе нелинейной деформационной модели согласно [1],6.3.1 и [2],8.1.20. В качестве расчетной диаграммы состояния сжатого бетона принимается трехлинейная диаграмма согласно [2], 6.1.20. Для стальной арматуры в зависимости от ее класса применяется двухлинейная или трехлинейная диаграмма согласно [2],6.2.14, 6.2.15. Задаются последовательные участки армирования балки стальной арматурой, для которых указываются площади верхней  $A_{св}$  и нижней  $A_{сн}$  арматуры, а также расстояния  $a_{в}$  и  $a_{н}$  от сторон сечения до центров тяжести площадей верхней и нижней арматуры. Предполагается, что в пределах заданных участков армирования площадь композитной арматуры постоянна.

Для композитной арматуры принимается линейная диаграмма деформирования. Предельная деформация растянутой композитной арматуры определяется как  $R_f / E_f$ , где  $R_f$ ,  $E_f$  - расчётное сопротивление и модуль упругости арматуры. В программе предусмотрено либо определение расчётного сопротивления по заданному значению нормативного сопротивления  $R_{f,n}$ , либо задание расчётного сопротивления  $R_f$ . Во первом случае требуется задать тип композита (углекомпозит или стеклокомпозит), вид композита (ламинат или холст), условия эксплуатации конструкции, а также число слоёв композита и толщину одного слоя. При расчете для комбинации, состоящей только из постоянных и длительных нагрузок, расчётное сопротивление композита  $R_{f,л}$  определяется по формуле [1],(5.3), в противном случае по формуле [1],(5.1). При расчете прогиба балки применяется расчётное сопротивление  $R_{f,л} = \gamma_{f1}\gamma_{f2}R_{f,n}$ .

На первом этапе расчёта проводится проверка несущей способности балки при действующих нагрузках. При этом определяется предельный изгибающий момент  $M_u = \gamma_u M$ . Если имеется жесткое закрепление края балки, то определяется как положительный предельный момент  $M_{u+}$ , так и отрицательный предельный момент  $M_{u-}$ . Случай  $\gamma_u < 1$  рассматривается как случай неправильного задания действующих (фактических) нагрузок и расчёт останавливается.

На втором этапе расчёта определяется напряженно-деформированное состояние от действующих нагрузок и выводится деформация на растянутой стороне сечения, которая рассматривается на последующем этапе расчёта как начальная деформация (до усиления элемента)  $\varepsilon_{bt}^0$  (см.[1],6.3.4). На этом этапе учитывается указание [1],6.1.6, согласно которому расчёт напряженно-деформированного состояния следует проводить без учёта коэффициентов надежности по нагрузке.

На третьем этапе проводится проверка несущей способности балки при проектных нагрузках и устанавливается необходимость усиления балки.

На четвертом этапе расчёта проводится определение площади композитной арматуры на растянутых гранях балки, требуемой для обеспечения несущей способности при действии

проектных нагрузок. Выводится рисунок, показывающий участки размещения композитной арматуры на нижней или верхней грани балки (рис.3).

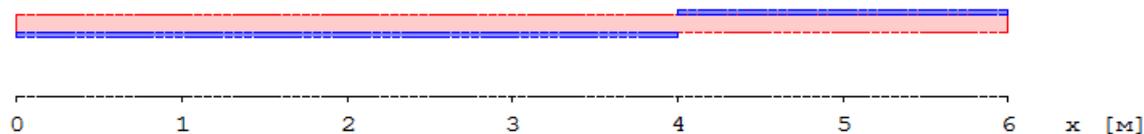


Рис.3. Пример размещения композитной арматуры

На пятом этапе расчёта определяется прогиб балки с композитной арматурой при действии нормативной комбинации проектных нагрузок. Прогиб вычисляется путём интегрирования кривизны  $\frac{1}{r}$ , примеры эпюры которой даны на рис.4,5. Кривизна определяется по формуле [2],(8.140) на участках без трещин и по формуле [2],(8.141) на участках с трещинами. Момент при образовании трещин определяется на основе диаграмм деформирования сжатого и растянутого бетона.

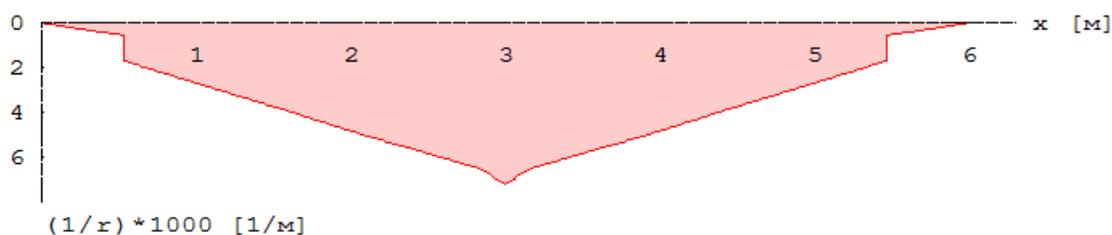


Рис.4. Пример распределения кривизны по длине шарнирно опёртой балки

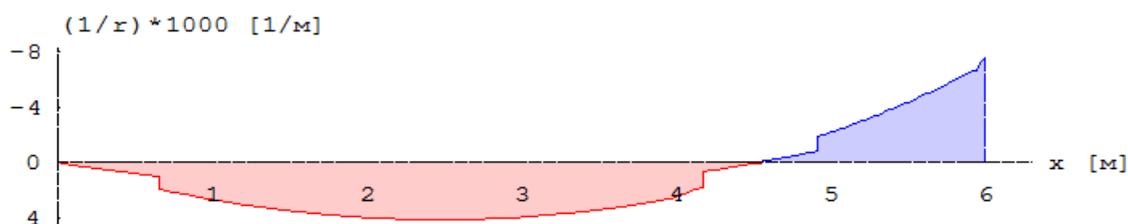


Рис.5. Пример распределения кривизны по длине балки с закреплённым краем

Если требуется ограничение прогиба, то проводится определение площади композитной арматуры, требуемой для ограничения прогиба. При вводе задаётся норма прогиба, равная частному от деления длины балки на предельный прогиб, а также шаг приращения площади композитной арматуры до значения, при котором выполняется условие ограничения прогиба балки. Предполагается, что норма прогиба не более 600, а шаг приращения не более  $5 \text{ см}^2$ . Пример эпюры прогиба приведён на рис.6.



*Рис.6. Пример эюры прогиба*

## **Литература**

1. СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования»
2. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»
3. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия»