

УДК 624.01.07:004

## **РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ SCAD Office**

***Викторов Валерий Васильевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».*

### **Аннотация**

Предложена расчетная методика для проектирования усиления железобетонных балок, позволяющая существенно снизить трудоемкость выполнения расчетов при использовании расчетных программ SCAD Office.

**Ключевые слова:** железобетонные балки, проектирование, усиление, расчетные программы.

## **CALCULATION OF STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE BEAMS USING PROGRAMS SCAD Office**

***Victorov Valery,***

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,*

*Candidate of Sciences, Associate Professor of the department "Building constructions".*

### **Abstract**

A calculation method for the design of reinforced concrete beams reinforcement is proposed, which allows to significantly reduce the complexity of calculations when using the SCAD Office calculation programs.

**Keywords:** reinforced concrete beam, design, enhancement, analysis software.

При выполнении работ по реконструкции объектов необходимо на стадии проектирования предусмотреть мероприятия по усилению конструкций отвечающие нормативно-техническим требованиям [1].

Усиление требуется в случаях, когда нагрузки, действующие на конструкцию, увеличиваются, а фактические усилия начинают превышать предельно допустимые значения.

$$M > M_{ult};$$

где  $M$  – изгибающий момент от полной нагрузки;

$M_{ult}$  – предельный изгибающий момент соответствующий началу разрушения конструкции.

Методика расчета по усилению железобетонных колонн была рассмотрена ранее [2]. Рассмотрим не менее важный вопрос по усилению железобетонных балок. Усиление железобетонных балок в процессе реконструкции может производиться различными способами. Одним из таких способов является усиление балки при помощи упругой опоры.

При усилении с помощью упругой опоры под усиливаемую железобетонную балку в распор подводится стальная балка. При деформации под нагрузкой железобетонная балка деформируется вместе со стальной балкой и получает от стальной балки поддержку в виде вертикальной сосредоточенной силы, направленной вверх. Стальная балка от железобетонной балки получает нагрузку в виде вертикальной сосредоточенной силы, направленной вниз. При этом величина вертикальной силы будет обеих балок одинакова, и обе под нагрузкой получат одинаковое вертикальное перемещение (одинаковый прогиб).

Чем больше будет изгибная жесткость стальной балки, тем больше будет сила отпора и тем меньше будет совместный прогиб двух балок.

Прогиб железобетонной балки может быть определен согласно нормативных требований [3] по формуле1:

$$f = \frac{5}{48} \cdot \frac{M \cdot l^2}{D} - \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot l^3}{D} \quad (1)$$

где  $q$  – равномерно распределенная нагрузка на балку;

$M$  – изгибающий момент от полной нагрузки;

$l$  – пролет балки;

$D$  – изгибная жесткость балки;

$P$  – величина отпора от балки усиления.

Прогиб стальной балки, согласно нормативным требованиям [4] может быть определен по формуле 2:

$$f = 1/48 \cdot P \cdot l^3 / EI \quad (2)$$

где  $q$  – равномерно распределенная нагрузка на балку;

$l$  – пролет балки;

$E$  – модуль деформации стали;

$I$  – момент инерции балки усиления.

Первую формулу можно представить, как

$$f = f^* - 1/48 \cdot P \cdot l^3 / D;$$

где  $f^*$  – прогиб балки от полной нагрузки без реакции отпора;

При делении первой формулы на вторую получим

$$1 = f^* / f - (1/48 \cdot P \cdot l^3 / D) / (1/48 \cdot P \cdot l^3 / EI).$$

После преобразования формула примет вид.

$$1 = f^* / f - EI / D.$$

Поскольку прогибы прямо пропорциональны изгибающим моментам, то можно записать

$$1 = M / M_{ult} - EI / D.$$

Тогда требуемая жесткость стальной балки может быть записана, как

$$E \cdot I = (M / M_{ult} - 1) \cdot D;$$

или после преобразования как

$$E \cdot I = \Delta M \cdot D / M_{ult} ;$$

где  $\Delta M = M - M_{ult}$  – разность моментов фактического и предельно допустимого.

Требуемый момент инерции стальной балки может быть вычислен по формуле

$$I = \frac{\Delta M \cdot D}{M_{ult} \cdot E} ;$$

После подбора сечения стальной балки уточняется усилие распора из условия равенства прогибов стальной и железобетонной балок

$$\frac{5}{48} \cdot \frac{M \cdot l^2}{D} - \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot l^3}{D} = \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot l^3}{EI}.$$

Формулу можно представить, как

$$f^* - \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot l^3}{D} = \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot l^3}{EI}.$$

Сделав подстановки,  $f^* = \frac{M}{M_{ult}} \cdot f_{ult}$ ;  $D = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{ult} \cdot l^2}{f_{ult}}$  и выполнив

преобразования, получим

$$P = 48 \cdot \frac{\frac{M}{M_{ult}} \cdot f_{ult}}{l^3} \cdot \frac{EI \cdot D}{EI + D},$$

или после упрощения  $P = 5 \cdot \frac{M}{l} \cdot \frac{EI}{EI + D}$ ;

При расчете железобетонных балок по первой и второй группам предельных состояний, как правило, наиболее трудоемкой операцией является определение прогиба с учетом образования трещин. Для упрощения трудоемкости расчета предлагается использовать любую из сертифицированных программ для расчета железобетонных и стальных балок [5], например, "Арбат" и "Кристалл", входящих в состав программного комплекса "SCAD Office".

При помощи программы Арбат для балки по заданному армированию вычисляется прогиб, соответствующий максимально допустимой (без усиления) нагрузке.

Вычисляются изгибающие моменты, соответствующие расчетной и максимально допустимой (без усиления) нагрузкам.

Вычисляется требуемый момент инерции стальной балки.

По сортаменту стальных профилей подбирается стальная балка с необходимыми габаритами сечения.

Для проверки правильности решения вычисляется изгибная жесткость балки

$$D = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{ult} \cdot l^2}{f_{ult}}$$

и сила распора  $P = 5 \cdot \frac{M}{l} \cdot \frac{EI}{EI + D} > 4 \cdot \Delta M / l$ ;

Полученное значение силы распора с отрицательным знаком прикладывается к расчетной схеме железобетонной балки в программе Арбат. Аналогично в программе Кристалл выполняется расчет стальной балки на действие вычисленной сосредоточенной нагрузки  $P$ .

Первым критерием правильности расчета является обеспеченная несущая способность железобетонной балки. Вторым критерием правильности расчета является равная величина прогиба у балок, стальной и железобетонной.

В качестве примера можно привести железобетонную балку пролетом 6 м. Балка из бетона В30 с размерами поперечного сечения 300×600 мм. Армирована балка тремя стержнями Ø25A400. Допустимая равномерно распределенная нагрузка на балку составляет 60 кН/м.

Исходные данные и результаты расчета в программе "Арбат" приведены на рисунках 1 и 2.

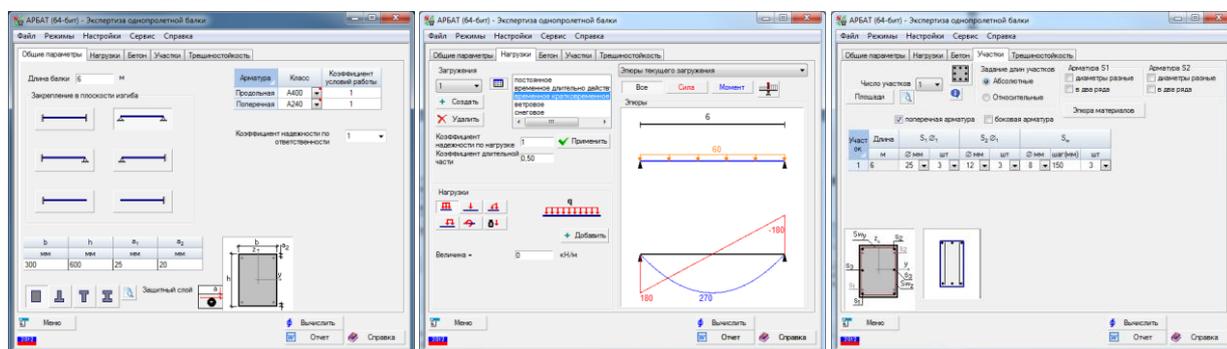


Рисунок 1 - Исходные данные для расчета железобетонной балки в программе "Арбат"

Для работы под нагрузкой 80 кН/м ее необходимо усилить. Для расчета усиления балки вычисляется расчетный изгибающий момент от новой нагрузки

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{80 \cdot 6^2}{8} = 360,0 \text{ кНм, дополнительный изгибающий момент } \Delta M = M$$

–  $M_{ult} = 360,0 - 270,0 = 90,0 \text{ кНм}$ . Модуль деформации стал равным  $E = 2,06 \times 10^8 \text{ кПа}$ .

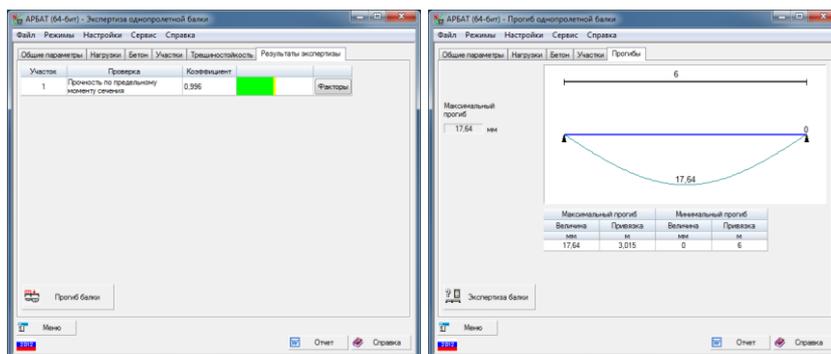


Рисунок 2 - Результаты расчета несущей способности и деформативности железобетонной балки в программе "Арбат"

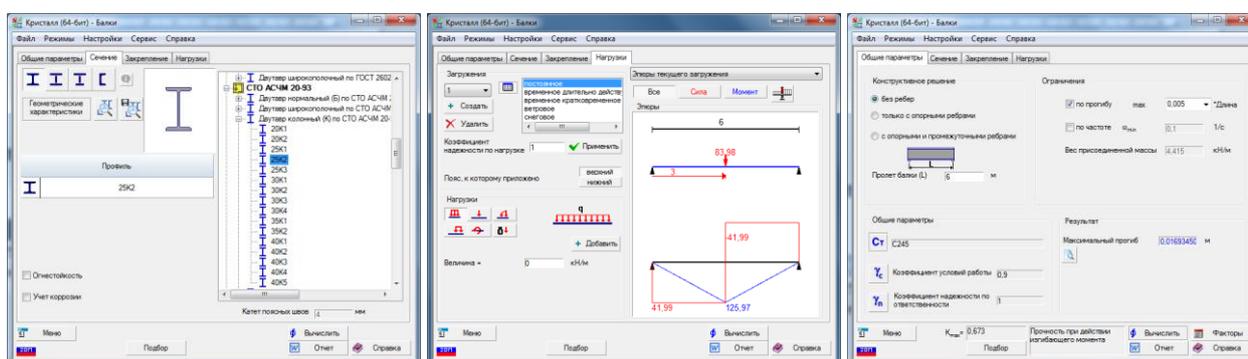


Рисунок 3 - Результаты расчета несущей способности и деформативности стальной балки в программе "Кристалл".

Жесткость железобетонной балки

$$D = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{ult} \cdot l^2}{f_{ult}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{270 \cdot 6^2}{0,01764} = 57398,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

Требуемый момент инерции стальной балки

$$I = \frac{\Delta M \cdot D}{M_{ult} \cdot E} = \frac{90 \cdot 57398,0}{270 \cdot 2,06 \times 10^8} \times 10^8 = 9287,7 \text{ см}^4;$$

Принимаем балку из двутавра 25К2 по СТО АСЧМ.

Момент инерции балки  $I = 10833 \text{ см}^4$ .

Жесткость стальной балки  $E \cdot I = 2,06 \cdot 10833 = 22316,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$

Величина распора между балками

$$P = 5 \cdot \frac{M}{l} \cdot \frac{EI}{EI + D} = 5 \cdot \frac{360,0}{6} \cdot \frac{22316,0}{22316,0 + 57398,0} = 83,985 \text{ кН}$$

$P = 83,985 \text{ кН} > 4 \cdot \Delta M / l = 4 \cdot 90 / 6 = 60,0 \text{ кНм}$  – величина необходимого подпора обеспечена.

Полученное значение распора подставляется в расчетные схемы со стальной и железобетонной балками.

Исходные данные и результаты расчета приведены на рисунках 3 и 4.

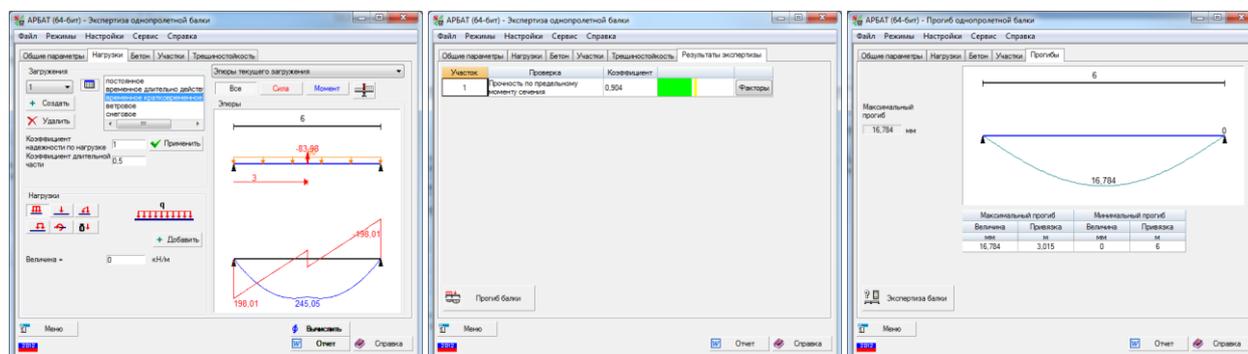


Рисунок 4 - Результаты расчета в программе "Арбат" несущей способности и деформативности железобетонной балки после усиления.

В результате расчета прогиб стальной балки составил  $f = 16,93 \text{ мм}$ , прогиб железобетонной балки составил  $f = 16,79 \text{ мм}$ . Несущая способность и стальной и железобетонной балок согласно расчету обеспечена.

Относительная разность прогибов составила:

$$\Delta f = \frac{16,93 - 16,79}{16,93} = 0,8\%.$$

Результат расчета усиления можно считать удовлетворительным.

Таким образом, представленная методика с использованием программного комплекса SCAD Office может быть использована при расчетах усиления железобетонных балок, что значительно упростит процесс конструирования и проектирования объекта в целом.

#### Библиографический список:

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 года №384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" М.: РГ Федеральный выпуск №5079. 2009.

2. Викторов В.В. Особенности расчета усиления железобетонных колонн стальными обоймами. Сборник статей XVIII Международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». Пенза: АНМО «Приволжский дом знаний». 2018. С.41-44

3. СП 63.13330.2011 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: ОАО ЦПП. 2012.

4. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. М.: ОАО ЦПП. 2011.

5. В.С.Карпиловский, Э.З.Криксунов и др. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. М.: Издательство СКАД СОФТ. 2015.