

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО УСИЛЕНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛОК ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ

**Н. В. Яковлев, И. В. Харламов**

Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*Разработана методика проверочного расчета металлических балок с дефектами. Выполнен сравнительный анализ результатов расчета балки с дефектами по разработанной методике и по методике, приведенной в «Пособии по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*)». Разработана методика учета дефектов в программном комплексе и задания элементов усиления (на участках требующих этого). Создан программный комплекс по усилению металлических балок, реализующий для проверочного расчета разработанную методику и позволяющий выполнять проверочные расчеты с учетом введенных элементов усиления.*

**Ключевые слова:** усиление металлических балок, проверочные расчеты, редуцированное сечение, элементы усиления, программирование, «Need beam strengthening?»

Большому количеству зданий и сооружений, в которых используются металлические двутавровые балки, присущ интенсивный моральный и физический износ (рисунок 1). Практика обследований зданий и сооружений наглядно демонстрирует наличие ряда факторов снижающих работоспособность несущих стальных конструкций и их элементов. К этим факторам относятся:

- 1) Не соответствие фактических нагрузок или изменение их действия по сравнению с проектными;
- 2) Какое либо изменение в характере работы конструкции;
- 3) Физический износ конструкции;
- 4) Не соответствие температурного режима эксплуатации по сравнению с проектным;
- 5) Не соблюдение сроков эксплуатации строительных конструкций до капитального ремонта или замены этих конструкций;

Проверочные расчеты металлических балок двутаврового сечения выполняются в соответствии с «Пособием по проектированию усиления стальных конструкций к СНиП II-23-81\*». Выполнение проверочных расчетов по пособию сопряжено с рядом значительных недостатков, а именно:

- нет возможности учета действительного расположения дефекта в определенном месте в пролете;
- при расчетах используются коэффициенты снижения несущей способности, введение которых влияет на точность расчётов;
- возможен учет только равномерного коррозионного износа сечения элементов

конструкции, однако, в реальных условиях коррозия может иметь локальное расположение в сечении.

Помимо этого выполнение проверочных расчетов по пособию представляет собой трудоемкую задачу. В связи с этими недостатками у специалистов, занимающихся проектированием усиления металлических балок, есть потребность в современной методике расчета и подбора элементов усиления.

Современный рынок программных продуктов по расчету и проектированию строительных конструкций представлен в широком многообразии: от «серьезных» расчетных комплексов типа «ANSYS», способных справиться практически с любой инженерной задачей, касающейся расчета и анализа работы материала под нагрузкой, до узкоспециализированных программ-сателлитов на подобии «Декор» из SCAD Office.



Рисунок 1 – Сквозная коррозия стенки балки

После предварительного анализа рынка зарубежных и отечественных программ, оказалось, что поставленные задачи можно решить только с помощью разрозненных продуктов Autodesk, SCAD, DELPHI, выполняющих разные операции для достижения цели. Проверочный расчет конструкций с учетом влияния дефектов выполняется с целью установления:

- возможности дальнейшей эксплуатации конструкций без каких-либо ограничений;
- необходимости усиления конструкций;
- возможности ограничений эксплуатации конструкций до плановых ремонтно-восстановительных работ;
- необходимости немедленного прекращения эксплуатации в аварийной ситуации.

После выполнения обследования и проверочных расчетов определяется реальное техническое состояние конструкции, а так же группа состояния.

В данной работе предлагается определение усилий в участках балки с учетом дефектов, что обеспечит выполнение проверочного расчета по СП 16.13330.2011 как для обычной (не деформированной) балки. Для реализации данной методики разработана автоматизированная система, которая обеспечивает задание дефектов и расчет усилий с учетом дефектов, нахождение участков требующих усиления, ввод элементов усиления на этих участках, а так же выполнение проверочных расчетов с учетом дефектов и введенных элементов усиления.

Местное коррозионное повреждение сечения учитывается как вырез со следующими параметрами: Н – глубина, В – ширина и точка начала коррозии в сечении. Окно ввода параметров вырезов и местной коррозии представлено на рисунке 2.

Для того чтобы обеспечить широкий выбор вариантов усиления, как симметричных, так и не симметричных, было принято решение разбить сечение балки на отдельные участки. Элементы усиления задаются для конкретного участка сечения балки.

Список участков сечения, для которых возможно задание усиления и рассматриваемые виды усиления:

- верхняя часть верхней полки (рисунок 3);
- нижняя часть верхней полки (рисунок 4);
- середина стенки балки (рисунок 5);
- верхняя часть нижней полки (рисунок 6);
- нижняя часть нижней полки (рисунок 7).

Для автоматического расчета характеристик сечения с учетом дефектов или с уже введенными элементами усиления использу-

ется программа-сателлита «Консул» системы SCAD. В программу на AutoLisp передаются параметры исходного (не деформированного) сечения и дефектов, в AutoCAD происходит автоматическая отрисовка сечения и сохраняется в файл (.dxf), который импортируется в «Консул». Файл, сформированный в «Консул», передается в созданную программу, а затем происходит создание текстового файла для SCAD. На рисунке 8 представлено поперечное сечение с дефектами и с элементами усиления в программе «Консул».

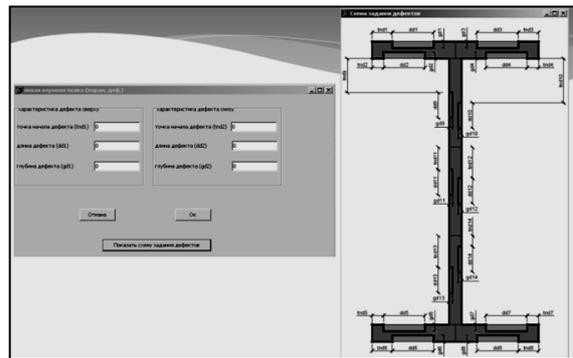


Рисунок 2 – Окно ввода параметров дефектов

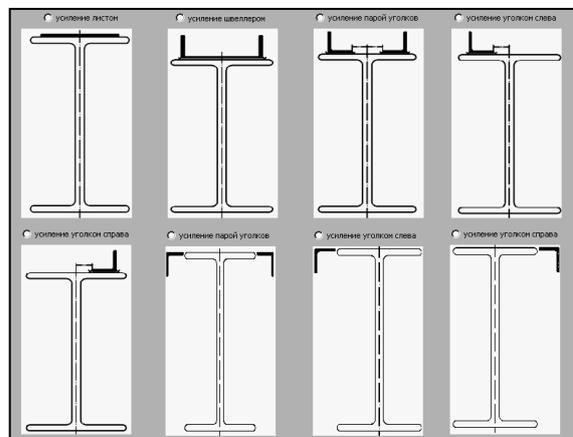


Рисунок 3 – Возможные варианты усиления для верхней части верхней полки балки

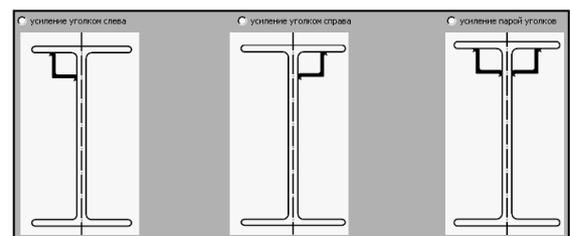


Рисунок 4 – Возможные варианты усиления для нижней части верхней полки балки

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО УСИЛЕНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛОК ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ

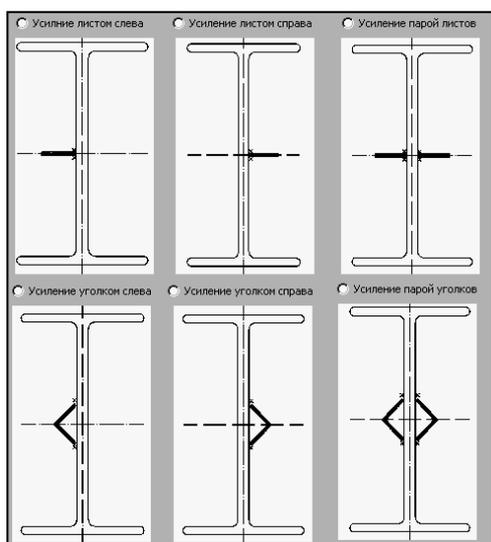


Рисунок 5 – Возможные варианты усиления для середины стенки балки

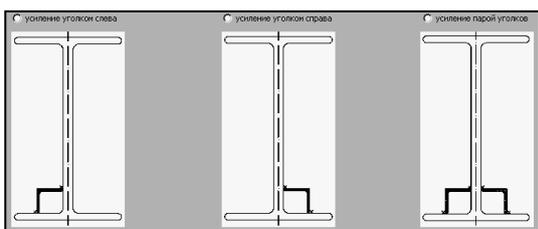


Рисунок 6 – Возможные варианты усиления для верхней части нижней полки балки

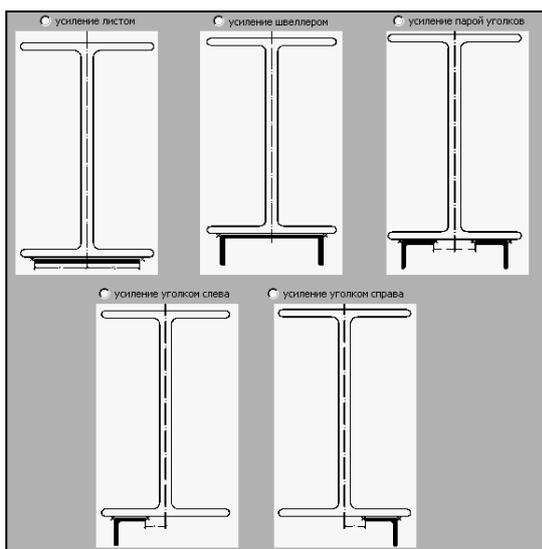


Рисунок 7 – Возможные варианты усиления для нижней части нижней полки балки

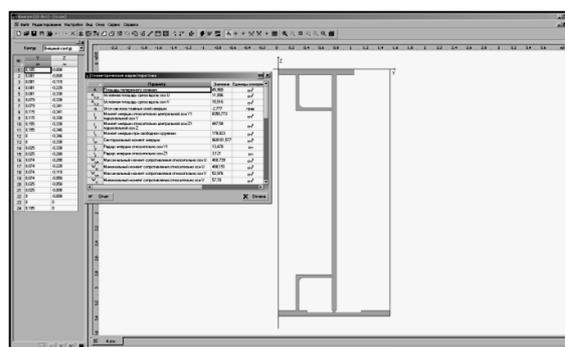


Рисунок 8 – Поперечное сечение балки с дефектами и введенными элементами усиления

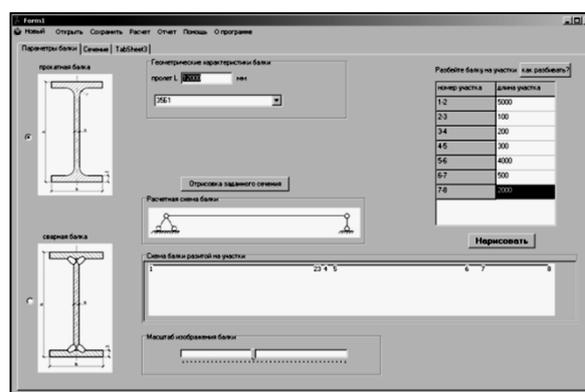


Рисунок 9 – Окно ввода исходных данных

В программном комплексе выделяются следующие этапы при проектировании усиления:

- Ввод исходных данных о балке (рисунок 9);
- Задание информации о дефектах;
- Формирование файла с исходными данными для ПК SCAD;
- Выполнение проверочного расчета балки с дефектами;
- Вывод о необходимости усиления конструкции.
- Введение участков усиления
- Задание местоположения и характеристик элементов усиления
- Формирование файла с исходными данными для ПК SCAD;
- Выполнение проверочного расчета балки с введенными элементами усиления;
- Вывод по результатам проверочных расчетов.

В программе «Need beam strengthening?» выполняется два вида расчетов – проверка на прочность и проверка на общую устойчивость. Для проверки правильности выполнения этих расчетов выполнены расчеты этих проверок в созданной программе и «вручную», результаты проверки приведены

в таблице 1. Проанализировав результаты, представленные в таблице 1, можно прийти к выводу о том, что оба проверочных расчета, выполняемые в созданной программе выполняются корректно.

Разработанная программа «Need beam strengthening?» предназначена для расчета металлических балок двутаврового сечения, содержащих различные дефекты в сечении, на прочность и устойчивость, оценки необходимости усиления рассчитываемой балки, введения элементов усиления и выполнение проверочных расчетов с их учетом.

Функциональные возможности программы:

- удобный ввод исходных данных;
- удобный ввод параметров дефектов сечения;
- получение точных результатов геометрических характеристик участков балки из КОНСУЛ (сателлита ПК SCAD);
- получение значений усилий в участках балки из ПК SCAD;
- расчет на прочность и устойчивость в соответствии с СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*»;
- удобный выбор и широкая вариативность в задании элементов усиления;
- получение значений усилий в участках балки с учетом элементов усиления из ПК SCAD;
- расчет на прочность и устойчивость с учетом элементов усиления в соответствии с СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*».

Результатами работы программы являются:

- чертежи каждого заданного поперечного сечения;

Таблица 1 – Результаты проверочного расчета

№ уч.	проверка на прочность (программа)	проверка на прочность (вручную)	проверка на устойчивость (программа)	проверка на устойчивость (вручную)
1-2	0.3184	0.318	0.3311	0.331
2-3	0.4959	0.496	0.5754	0.575
3-4	0.3317	0.332	0.3449	0.345

- результаты импорта отрисованных сечений в КОНСУЛ (сателлита ПК SCAD), а так же текстовые файлы с геометрическими характеристиками импортированных сечений;
- результаты проверочных расчетов с усилением и без него.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54257 -2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – Ввсд. 2011. – 09-01. – М. : Стапдартипформ, 2011. – 13 с.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*; Введ. с 20.05.2011. – Москва : ОАО «ЦПП», 2011. – 177 с.
3. Беленя, Е. И. Металлические конструкции. Общий курс: учебник для вузов / Е. И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 560 с.
4. Валь, В. Н. Усиление стальных каркасов одноэтажных производственных зданий при их реконструкции / В. Н. Валь, Е. В. Горохов, Ю. Б. Уваров. – М. : Стройиздат, 1987. – 220 с.
5. Горев, В. В. Металлические конструкции. Конструкции зданий / В. В. Горев. – Т. 2., Москва, 2002. – 528 с.
6. Григорьев А. Б. О чем не пишут в книгах по Delphi / А. Б. Григорьев. – П. : БХВ-Петербург 2008. – 576 с.
7. Кариловский В. С. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD / В. С. Кариловский. – М. : Издательство СКАД СОФТ, 2007. – 609 с.
8. Кузнецова, В. В. Металлические конструкции: Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений / В. В. Кузнецова. – В 3 т., Т 3., М. : Изд-во ABC, 1999. – 528 с.
9. Культин, Н. Б. Основы программирования в Embarcadero Delphi / Н. Б. Культин. – М. : БХВ-Петербург, 2015. – 232 с.
10. Материалы сайта dwg.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http:// dwg.ru](http://dwg.ru).
11. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*). – М. : Стройиздат, 1989.

**Яковлев Н.В.** – магистрант ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: mag1kgas@gmail.com.

**Харламов И.В.** – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова», E-mail: hiv@mail.altstu.ru