

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ БАЛОК С УСИЛЕНИЕМ ШПРЕНГЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НА ЧАСТИ ПРОЛЁТА

THEORETICAL RESEARCH OF STEEL BEAMS WITH STRENGTHENING BY SHPRENGEL SYSTEM ON PART OF FLIGHT

к.т.н. доц. Репин В.А. (Владимирский государственный университет)

к.т.н. доц. Яшкова Т.Н. (Владимирский государственный университет)

магистр Бадаев А.Б. (Владимирский государственный университет)

Repin V.A. (Vladimir state university)

Yashkova T.N. (Vladimir state university)

Badaev A.B. (Vladimir state university)

При реконструкции зданий, в зависимости от их назначения бывают ситуации, что невозможно выполнить усиление балки шпренгельными системами с доведением их до опор. Препятствием к выполнению работ могут служить выступающие части технологического оборудования, линии коммуникаций и т.п. Поэтому, одним из решений такой проблемы является усиление конструкции на части пролёта, т.е. с отступом от опор.

В качестве объекта исследования принята стальная балка двутаврового сечения, нагруженная равномерно распределённой нагрузкой. Решение задачи предполагается для случая, когда усилия (нормальные напряжения) в середине пролёта балки достигли критических значений вследствие перегрузки, к примеру, из-за неправильной эксплуатации здания или аномально повышенных снеговых отложений и т.п., что привело к образованию пластического шарнира «ш₁» (рис. 1).

Для некоторого упрощения задачи принимается расчетная схема балки с симметричной шпренгельной системой (см. рис. 1). Расстояние шпренгельной системы от опор обозначаем величиной «*a*». Величинами «*b*» и «*c*» обозначаем ширину панелей шпренгельной системы. Высоту шпренгельной системы (расстояние между центрами тяжести сечений балки и нижнего пояса шпренгеля) обозначаем величиной «*h*_ш».

Таким образом, основными задачами исследования являлись: разработка методики расчета усиления стальных балок шпренгельными системами на части пролета; выявление диапазона рациональных геометрических параметров шпренгельной системы (высота шпренгеля « $h_{ш}$ », отступ от опор « a ») при усилении стальных балок на части пролета.

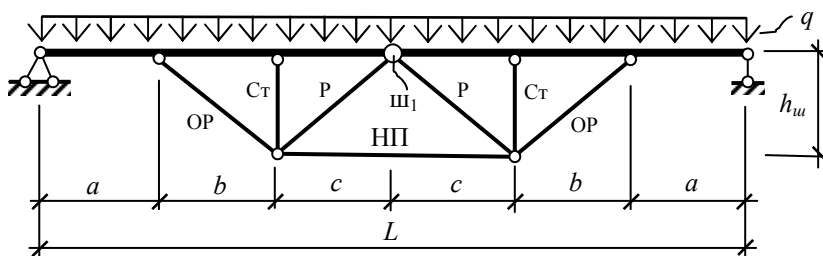


Рисунок 1. Расчётная схема балки, усиленной шпренгельной системой на части пролёта

Расчет балок с таким способом усиления существующими инженерными методами либо очень затруднен, либо практически невозможен. Это связано с тем, что данная конструкция в приопорных участках является балочным элементом, а остальная часть конструкции в зоне шпренгеля по сути является фермой. Поэтому задачу по подбору сечения шпренгельных элементов строим из условия прочности конструкции составного сечения, когда максимальный момент от действия внешних сил не должен превышать удерживающий момент от внутренних усилий:

$$M_{внеш} \leq M_{уд} \quad (1)$$

Величина удерживающего момента определяется как пара сил от несущей способности сечений балки и элемента нижнего пояса шпренгельной системы. Вследствие образования пластического шарнира в опасном сечении балки предполагаем, что половины балки – элементы мгновенно изменяемой системы – стремятся повернуться на некоторый угол. Таким образом, поворот составного сечения происходит относительно оси, проходящей через точку образования шарнира. В этом случае плечо удерживающего момента от несущей способности шпренгеля будет равно расстоянию между осями шпренгеля и балки, т.е. $h_{ш}$. Поскольку плечо удерживающего момента от несущей способности балки равно нулю, то величина

удерживающего момента будет зависеть только от несущей способности шпренгеля:

$$M_{уд}^{внут} = R A_{ш} \cdot h_{ш} \quad (2)$$

где: R – расчётное сопротивление стали, $A_{ш}$ – площадь сечения НП шпренгеля, $h_{ш}$ – высота шпренгеля.

Подставляем выражение (2) в условие (1):

$$M_{max}^{внеш} \leq R A_{ш} \cdot h_{ш}$$

Отсюда находим:

$$A_{ш} \geq \frac{M_{max}}{R \cdot h_{ш}} \quad (3)$$

Выражение (3) показывает, что площадь поперечного сечения элементов НП шпренгеля не зависит от его длины (что подтверждается результатами численных исследований).

Определение длины участка усиления шпренгелем является более сложной задачей. Это обусловлено тем, что по мере включения шпренгеля в работу происходит перераспределение усилий между элементами балки и элементами шпренгельной системы. В сечениях балки в пределах зоны шпренгеля помимо изгибающих моментов возникают продольные усилия. Очевидно, что при некотором сочетании геометрических параметров шпренгеля (значения его высоты « $h_{ш}$ » и отступа от опор балки « a ») возникает опасность того, что усилия от совместного действия сжатия с изгибом превысят предел прочности стали. Кроме того, по мере увеличения отступа от опор (т.е. смещения ближе к зоне максимального момента) возрастают усилия в опорных раскосах шпренгеля и могут превысить величину усилий в НП, а определение усилий в ОР методами строительной механики весьма затруднительно.

Устранение возникновения указанных факторов при определении рациональных параметров конструкции шпренгеля позволит обеспечить надёжность сечений балки на участке с усилением, а решение задачи по расчёту будет сводиться к определению сечения шпренгеля по формуле (3).

Определение точных значений изгибающих моментов и продольных сил на указанном участке методами строительной механики очень трудоёмко. Поэтому, дальнейшее решение задачи выполняется с помощью компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

Длину участка усиления (вернее, величину отступа шпренгеля от опор) определяем путём исследования конструкций с различными

параметрами шпренгельной системы (длина и высота) с помощью компьютерного моделирования.

Численное решение задачи выполнено с помощью программного комплекса «ПК Ли́ра». Было исследовано 30 вариантов моделей усиления с различными параметрами шпренгельной системы и усиливаемой балки:

$$a = (0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3)L;$$
$$h_6 = \frac{L}{10}; \frac{L}{12}; \frac{L}{15};$$

$$h_{ш} = (1,5; 2,0)h_6.$$

где: a – величина отступа шпренгельной системы от опор, м; $h_{ш}$ – высота шпренгельной системы, м; h_6 – высота поперечного сечения балки.

Исследование данного конструктивного решения по усилению выполнено с учётом следующих предпосылок:

- конструкция шпренгельной системы принята двухстоечной (наличие пластического шарнира в середине пролёта балки не позволяет применить одностоечную систему) и симметричной относительно середины пролёта усиливаемой балки (с целью упрощения задачи), при этом, размеры панелей « b » и « c » приняты одинаковыми;

- предполагается, что элементы балки и шпренгельной системы изначально работают совместно (т.е. усиление конструкции выполняется при полной её разгрузке без предварительного напряжения);

- элементы балки и шпренгельной системы рассматриваются в виде стержней;

- сечения опорного раскоса (ОР) и нижнего пояса (НП) шпренгеля приняты одинаковыми (см. рис. 1).

Анализ результатов численного исследования показывают следующее:

- с увеличением отступа шпренгельной системы от опор значения прогиба возрастают, но не превышают величины предельного прогиба $[f/L] = L/200$ в 1,6 ... 3,0 раза;

- наибольшая жёсткость конструкции достигается при $h_{ш} = 2h_6$ при минимальном значении отступа. По мере увеличения отступа шпренгельной системы от опор балки эффект повышения жесткости по сравнению с балками с высотой $h_{ш} = 1,5h_6$ снижается с 48% до 10%;

- напряжения в сечениях балки в зоне расположения шпренгельной системы возрастают по мере увеличения отступа от опор, а при $a = 0,3L$ приближаются к критическим;

- площади поперечного сечения НП шпренгеля для различных вариантов усиления, подобранные по результатам численных исследований, практически совпадают с соответствующими величинами, полученными по формуле (3). Разница значений составляет в пределах 0,2%;

- формула (3) справедлива при расчете усиления балок только для случая, когда усилия в наклонных элементах шпренгеля не превышают значения усилий в НП шпренгеля. Этому требованию соответствуют балки со следующими параметрами шпренгельной системы (ШС):

для $h_{ш} = 1,5h_6$: при $h_6 = L/10 - L/15$; $a \leq 0,3L$;

для $h_{ш} = 2h_6$: при $h_6 = L/10$; $a \leq 0,2L$;

для $h_{ш} = 2h_6$: при $h_6 = L/12, L/15$; $a \leq 0,25L$.

В остальных случаях, расчет следует выполнять в программных комплексах по методу конечных элементов (МКЭ);

- расход материала снижается по мере увеличения отступа и высоты самого шпренгеля с 10% до 18%.

С учётом выше приведённых выводов назначаем рациональные геометрические параметры шпренгельной системы:

- рекомендуется использовать ШС с высотой $h_{ш} = 2h_6$ при отступах шпренгельной системы $a \leq 0,25L$;

- усиление с высотой шпренгеля $h_{ш} = 1,5h_6$ рекомендуется применять для стеснённых условий, ограничивающих высоту шпренгельной системы, при $a \leq 0,3L$.

Список литературы:

1. Ребров И. С. Усиление стержневых металлических конструкций: Проектирование и расчет.—Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1988—88 с, ил. ISBN 5-274-00153-X.

2. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции». – М.:1989

3. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*)/Украинпроектстальконструкция.- М.:Стройиздат, 1989.