

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-47-57

***Солодов Н.В., Рябоконь И.Р., Сенкевич А.Д., Обернихина Я.Л.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: solodov_niko_v@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТЕНКИ ПРОКАТНОГО ДВУТАВРА НА ЛОКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

Аннотация. В статье изложены результаты экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния в стенке стального двутавра при воздействии через его полку сосредоточенной (локальной) нагрузки. Такие условия реализуются, например, в стенке нижней (главной) балки при поэтажном опирании на неё другой балки (второстепенной), когда стенка в месте опирания не подкреплена вертикальным ребром жесткости. Рассмотрено четыре модельных варианта приложения локальной нагрузки, отличающихся формой, размерами и ориентацией поверхности контакта полки опытного двутавра и деталей, передающих нагрузку на образец от подушки гидравлического пресса. В рассмотренных вариантах создается загружение стенки точечной, линейной (перпендикулярно и в плоскости стенки двутавра) нагрузкой, а также нагрузкой, распределенной по участку прямоугольной формы ограниченных размеров. Детали, передающие нагрузку, имеют, соответственно, форму шара, цилиндра, прямоугольной пластины. В статье приведена информация о параметрах напряженно-деформированного состояния стенки в характерных точках в окрестности приложения сосредоточенной нагрузки. Информация представлена в виде графиков, эпюра локальных напряжений, а также в табличной форме. Выполнен анализ полученных результатов экспериментального исследования, сравнение экспериментальных и расчетных данных и на этой основе установлены некоторые закономерности о кинетике локальных напряжений в ограниченной области стенки для принятых вариантов приложения нагрузки.

Ключевые слова: сосредоточенная нагрузка, локальные напряжения, напряженно-деформированное состояние стенки, стальной двутавр, изгибающий элемент.

Введение. Изгибающие стальные элементы (балки, ригели) чаще всего проектируют с сечениями в виде двутавров – сварных или прокатных. Особенностью двутавровых профилей является относительно тонкая стенка. Нередко в опорных узлах или в узлах опирания на двутавр других элементов стенка воспринимает действие значительных сосредоточенных нагрузок или реакций опор. Вследствие этого в ограниченной зоне стенки может формироваться поле локальных напряжений достаточно высокого уровня.

Учитывая, что вблизи примыкания стенки к полкам в ней действуют также достаточно большие нормальные и касательные напряжения, от изгибающего момента и поперечной силы соответственно, в сжатой части стенки могут возникать условия как исчерпания прочности по критерию приведенных напряжений, так и потери местной устойчивости.

Для исключения предельного состояния от действия локальных напряжений нормы [1] предписывают делать проверку прочности материала стенки по формуле (46). Отечественная методика была разработана на основе комплекса широких теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в середине прошлого столетия. Значительный вклад в исследование работы стальных балок внесли Б.М. Броуде и Б.Б. Лампсси [2–4]. В этих работах, а также в работах их учеников, рассмотрены и получили решение

важные вопросы напряженно-деформированного состояния стенок двутавров стальных балок, испытывающих действие значительных сосредоточенных нагрузок. Эти исследования охватывали проблемы прочности и устойчивости стенок балок балочных площадок, подкрановых балок, предварительно напряженных балок при действии локальных сосредоточенных и распределенных нормальных и сдвигающих усилий. В целом, к концу 20-го века, в нашей стране усилиями целого ряда ученых (В.А. Балдин, П.Ф. Папкович, А.В. Геммерлинг, А.И. Стрельбицкая, А.И. Колесов, В.А. Гусев, Ю.И. Кудишин, А.И. Путилов, И.Е. Спенглер и др.) была завершена разработка общей теории локальных напряжений в тонкостенных элементах сечения металлических конструкций [5–9].

В последние 25–30 лет исследования ряда актуальных вопросов несущей способности и деформативности стальных балок, в том числе с гофрированной стенкой, выполнили Ю.С. Максимов, Г.М. Остриков, В.В. Бирюлев, В.С. Ширманов, И.В. Пестряков, В.Ф. Сабуров, В.В. Надольский, А.А. Лапшин, Юдников С.Г., А.А. Иодчик и др. [10–14].

Результаты теоретический исследований были подтверждены экспериментально в работах под руководством Б.М. Броуде (клепаные балки), Г.А. Шапиро (клепаные подкрановые балки), И.Е. Спенглера, Кудишина Ю.И., Макарскова

А.А [15–17]. Итогом выполненных исследований стала отечественная методика проверки прочности при действии локальных напряжений на основе формулы (46) норм [1]. Эта формула используется для случая опирания одного двутавра на другой и содержит небольшое количество легко определяемых параметров, что является ее важным достоинством.

Постановка проблемы и задачи экспериментального исследования. В основу теоретического решения рассматриваемой задачи давления полки двутавра на его стенку положено рассмотрение взаимодействия ортогональных полос, по поверхности контакта которых учитывается наличие распределенных нормальных к ней и касательных сил. Отличия в подходах П.Ф. Папковича, Б.М. Броуде, Б.Б. Лампса заключаются в принимаемых допущениях (гипотезах).

П.Ф. Папкович в своем решении [4] не учитывал влияние изгибной жесткости полки на распределение передаваемой ею сосредоточенной силы на стенку. Это, фактически, соответствует учету действия прикладываемой силы непосредственно на кромку стенки.

Б.М. Броуде, принимая во внимание эффект распределяющего действия полки, предложил для кривой эпюры давления полки на стенку выражение вида тригонометрического ряда и на этой основе получил формулу для максимальной ординаты эпюры давления сосредоточенной силы, приложенной к полке, на кромке стенки по линии действия силы, а также формулу длины первой полуволны эпюры давления. В решении стенка рассматривается как упругое основание для полки и учтена изгибная жесткость последней [3, 4].

Б.Б. Лампс в своем анализе [4] выделяет в эпюре нормального давления на кромке стенки две компоненты (нормальные усилия давления первого и второго рода) и обосновывает гипотезу о влиянии на взаимодействие полки и стенки не только изгибной, но и осевой жесткости полки.

Указанная выше формула (46) в качестве исходных переменных содержит расчетную длину участка стенки и толщину стенки. Геометрически расчетная длина зависит от ширины полки верхнего и толщины полки нижнего двутавров. Влияние на величину локальных напряжений наличия в месте примыкания полки к стенке поясных швов (сварные балки), либо обусловленных прокаткой галтелей перехода полки в стенку (прокатные двутавры) косвенно учитывается назначением положения расчетного сечения для σ_{loc} : на кромке валика поясного шва или в точке начала галтели (закругления) на стенке.

В отличие от рассмотренного в [3,4] варианта расчетной модели стального двутавра и приложенной к нему сосредоточенной силы, реальные узлы сопряжения имеют ряд факторов действительной работы и конструктивных особенностей, которые крайне затруднительно, а зачастую – невозможно, учесть в явном виде в теоретическом решении.

Например, поясные сварные швы и галтели в примыкании стенки к полке весьма мало влияют на осевую и изгибную жесткость полки (и стенки), но существенно увеличивают площадь сечения участка стенки, воспринимающего локальные напряжения. В области примыкания стенки к полке в обоих элементах имеется поле остаточных напряжений высокого уровня (до 0,8 σ_T) [18]. Сосредоточенная сила всегда передается не в одной точке, а распределена (причем, нередко весьма неравномерно) по некоторой поверхности, площадь и форма которой определяются особенностями конструкции узла сопряжения балок. Приведенный в [1] рисунок 6 а), б) предполагает неразрезность верхней балки, тогда как распространенным является и вариант двухстороннего опирания разрезных балок. Очевидно, что в последнем случае значение распределяющего эффекта полки в передаче давления на стенку будет иным, чем для неразрезной балки. Могут иметь влияние на величину σ_{loc} и ряд других факторов: соотношение размеров свесов полок сопрягаемых балок; глубина опирания верхних балок на полку нижней и т.п.

В целом, нормативная формула (46) обеспечивает при проектировании необходимый уровень безопасной эксплуатации и надежности работы узлов сопряжения. Однако, для количественной оценки фактических резервов несущей способности актуальны экспериментальные оценки фактического уровня локальных напряжений для различных условий передачи сосредоточенной нагрузки и взаимодействия полки и стенки.

Материалы, методы и методика испытаний. Экспериментальное исследование выполнено с использованием: физического образца – модели балки в виде ее фрагмента из стального прокатного двутавра 40Б2; приспособлений для моделирования вариантов приложения сосредоточенной нагрузки; метода электротензометрии для измерения параметров напряженно-деформированного состояния стенки двутавра посредством измерительного комплекса Терем-4.1 и тензорезисторов 4П1-1-200 с номинальной базой 1 мм; универсальной гидравлической испытательной машины WEW-600 (Китай).

В рамках выполненного исследования объектом принята не балка как изгибающий элемент,

а её короткий фрагмент, на который опирается и передает сосредоточенную нагрузку вышерасположенная конструкция. В данном случае опытный образец позволяет моделировать работу только стенки прокатного двутавра на приложенную разными вариантами сосредоточенную силу и изучить напряженно-деформированное состояние локальной области стенки. Это, по сути, и является в статье предметом исследования.

Двутавр в испытательной машине устанавливали на двух опорах (как показано на фото рисунок 1) с расстоянием по осям 500 мм. Нагрузку

прикладывали ступенями, величиной 50, 100 и 150 кН, характер нагружения – статический. Промежуточную разгрузку образца не производили, выдержка на каждой ступени нагружения составляла 10 мин. Максимальная величина сосредоточенной нагрузки принята из условия гарантированно упругой работы материала стенки при любом из четырех вариантов приложения силы. Тензодатчики на стенке располагали с двух сторон. Всего имелось 26 рабочих тензодатчиков, расположенных на стенке по сетке в четырех горизонтальных и шести вертикальных сечениях.



Рис. 1. Общий вид опытного образца при испытаниях

Общий вид образца в четырех вариантах приложения сосредоточенной нагрузки изображен на рис. 2. Опытный образец из прокатного двутавра был изготовлен в одном экземпляре и использовался в испытаниях на все варианты приложения нагрузки. Схема и номера тензодатчиков показана на рис. 3.

Основная часть.

Результаты эксперимента. По результатам испытаний для четырех вариантов приложения

сосредоточенной нагрузки трех ступеней получены значения локальных напряжений в точках наклейки 26 тензодатчиков. Для исключения влияния возможного изгиба стенки, далее для анализа в табл. 1 приведены значения средних (мембранных) σ_{loc} по каждой паре датчиков, расположенных на противоположных сторонах стенки.

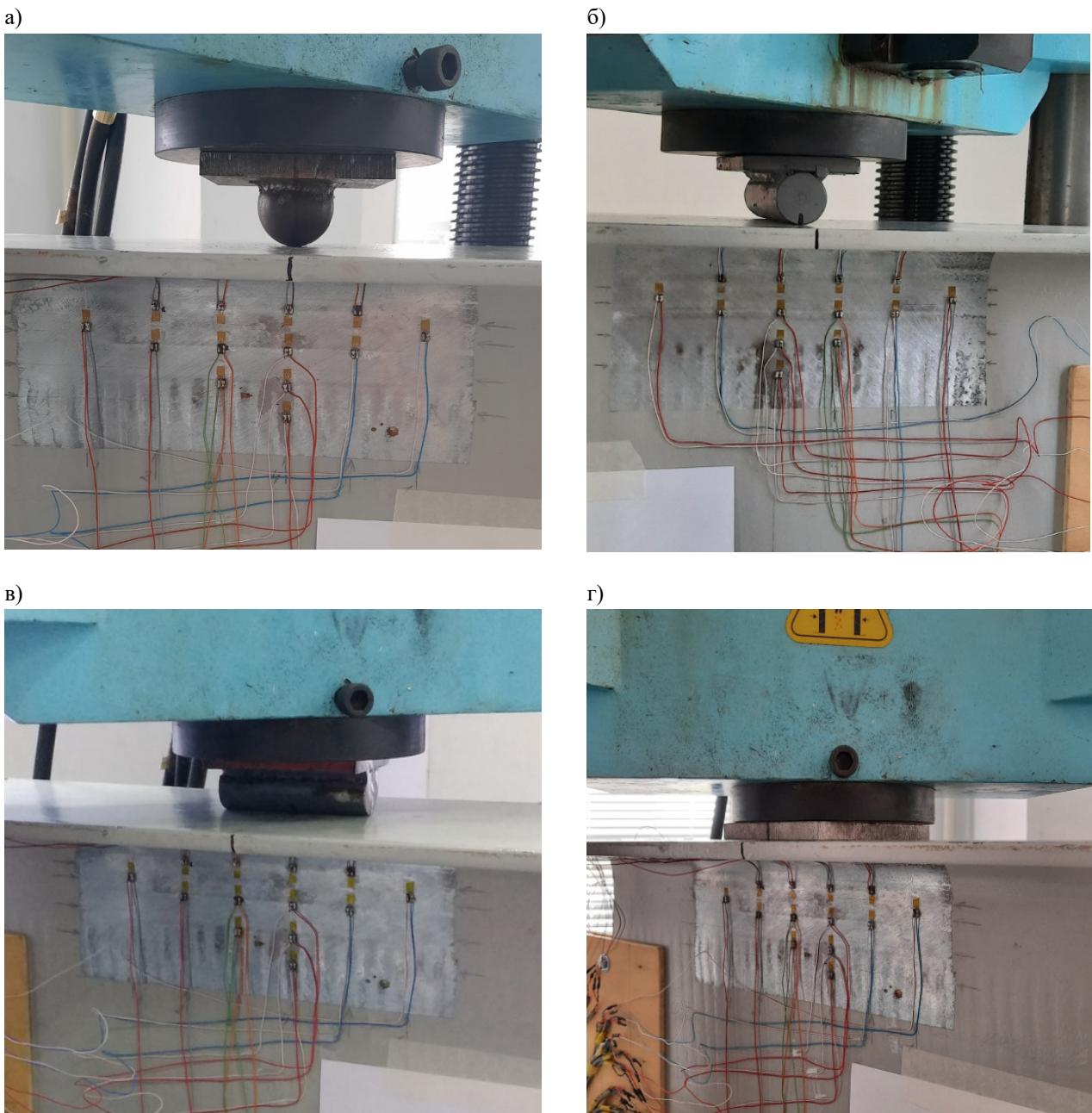


Рис. 2. Схемы нагружения опытного образца: а) вариант В1 – шар, точечная; б) вариант В2 – цилиндр, перпендикулярно стенке, линейная; в) вариант В3 – цилиндр параллельно стенке, линейная;
г) вариант В4 – пластина, поверхностная нагрузка на ограниченной площади

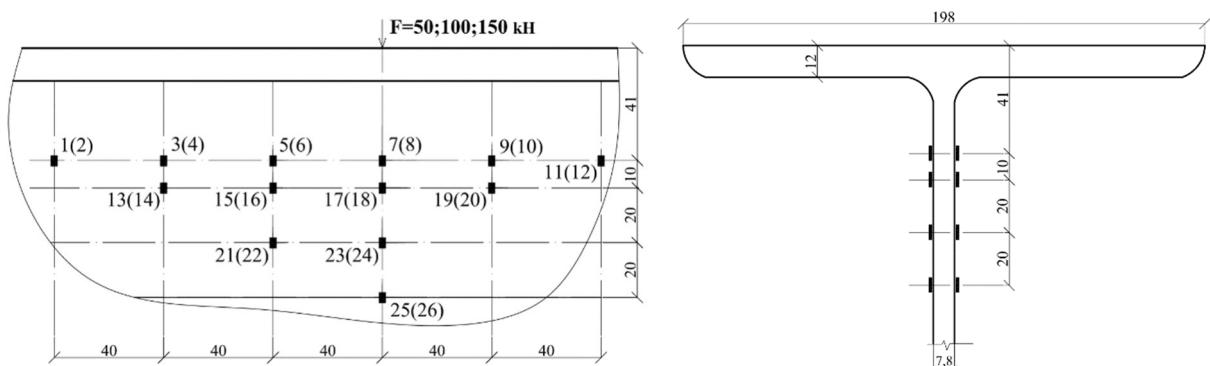


Рис. 3. Схема расположения и номера тензодатчиков

Таблица 1

Экспериментальные значения локальных напряжений (мембранных)

По данным табл. 1 построены эпюры распределения σ_{loc} в окрестности приложения сосредоточенной нагрузки. На рис. 4, в качестве при-

мера, приведены такие эпюры для варианта приложения сосредоточенной нагрузки посредством цилиндра, расположенного перпендикулярно плоскости стенки.

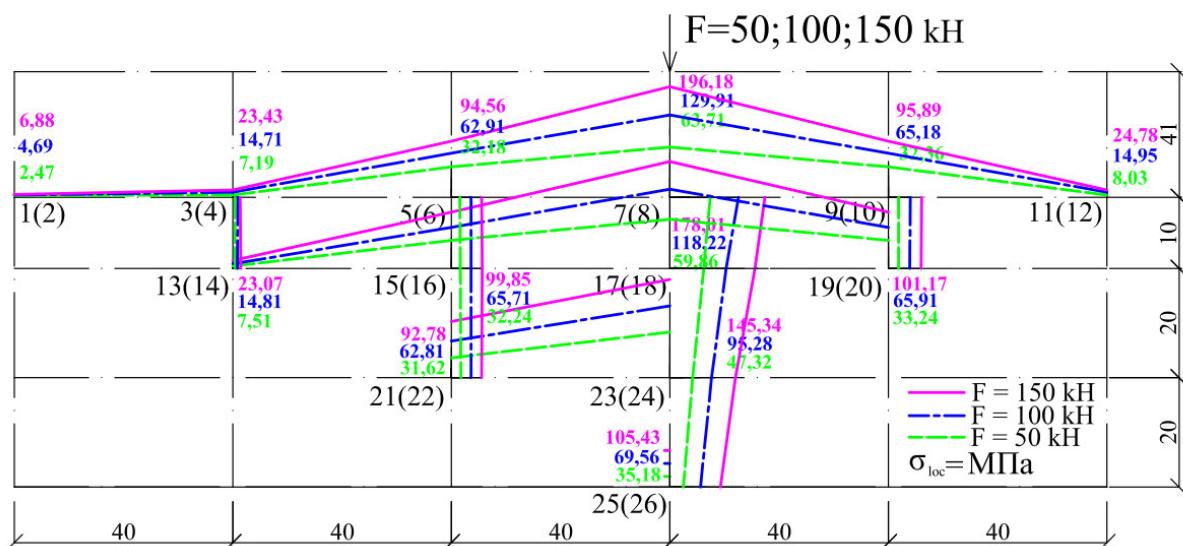


Рис. 4. Характер распределения локальных напряжений в стенке двутавра при передаче нагрузки посредством цилиндра, расположенного перпендикулярно стенке.

Для оценки влияния принятых вариантов приложения сосредоточенной нагрузки на величину σ_{loc} в стенке построены графики изменения их величины на каждой ступени нагружения. Эти графики приведены на рис. 5. Графики построены по данным тензодатчиков в наиболее характерных точках их расположения: наиболее приближенных и наиболее удаленных от локализации сосредоточенной нагрузки.

Кинетику напряжений σ_{loc} для четырех вариантов приложения сосредоточенной нагрузки и трем ступеням ее величины иллюстрируют графики на рис. 6. Верхняя часть рисунка содержит графики σ_{loc} в наиболее нагруженной точке, где

расположены тензодатчики 7 и 8. В нижней части рисунка даны аналогичные графики для точки с датчиками 1 и 2 (см. рисунок 3).

Анализ экспериментальных данных. В рамках данной статьи проведен анализ параметров напряженно-деформированного состояния стенки двутавра в окрестности приложения средоточенной нагрузки к полке двутавра по исследованным четырем вариантам.

Оценка точности тензометрических измерений параметров напряженно-деформированного состояния в локальной области стенки была выполнена следующим образом.

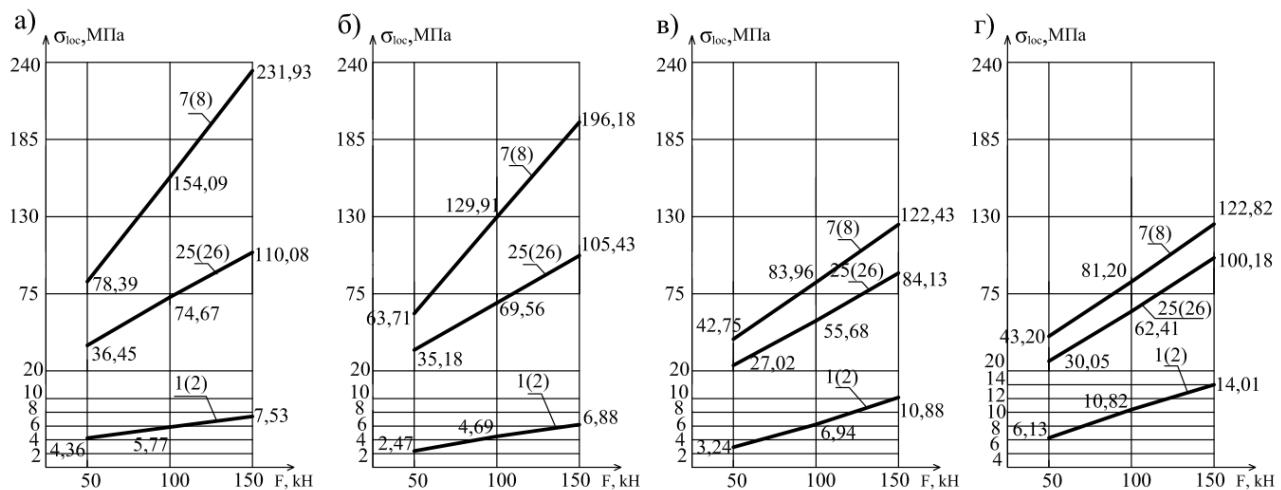


Рис. 5. Изменение величины σ_{loc} по ступеням нагружения и вариантам приложения сосредоточенной нагрузки: а) вариант B1; б) вариант B2; в) вариант B3; г) вариант B4

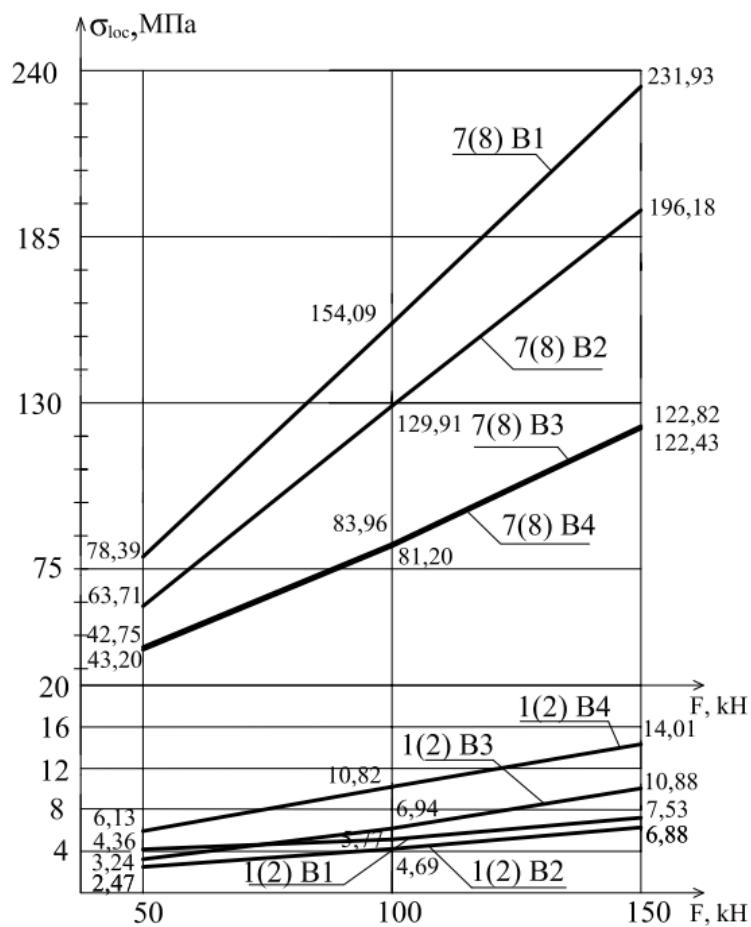


Рис. 6. Кинетика напряжений σ_{loc} по вариантам и ступеням нагружения

Согласно значениям напряжений в точке расположения тензодатчиков 1 и 2 (см. данные табл. 1 и рис. 3,4), ординаты эпюры σ_{loc} во всех вариантах нагружения близки к нулевым точкам. Значения σ_{loc} по датчикам 1, 2 во всех случаях нагружения составили от 3,2 % до 14,2 %, что можно интерпретировать как их близость к точке нулевых величин.

На основании этого условно было принято, что на расстоянии 40 мм (горизонтальный шаг

сетки тензодатчиков) левее датчиков 1 и 2 σ_{loc} становятся равными нулю. Таким образом, l_{ef} криволинейной эпюры σ_{loc} можно оценить величиной 320 мм – 8 участков по 40 мм при толщине стенки 0,78 см.

Экспериментальную эпюру σ_{loc} заменили ступенчатой с постоянной величиной ординаты в пределах длины каждого участка. Величину ординат по участкам вычисляли по показаниям тен-

зодатчиков верхнего ряда (номера 1–12). Причем, при наличии симметричных пар тензодатчиков их значения принимали как средние.

Такой прием позволил найти в горизонтальном сечении стенки двутавра на участке длиной 32 см близкое к интегральной величине значение внутреннего усилия в стенке как реакции на действие приложенной силы F (50; 100 и 150 кН).

Сопоставление величины приложенной внешней нагрузки F и внутреннего усилия в стенке позволило оценить погрешность эксперимента. Величина погрешности по вариантам загружения и ступеням приложения силы F оказалась в интервале следующих значений: Вариант В1 – ≈ 0; 2,10; 2,50 %; Вариант В2 – 7,47; 7,14; 6,70 %; Вариант В3 – 7,90; 4,91; 6,10 %; Вариант В4 – ≈ 0; 6,38; 7,20 %.

За 100 % принимали величину приложенной локальной нагрузки каждой ступени нагружения.

Такой способ оценки погрешности позволяет учесть суммарное влияние всех факторов, имевших место в ходе испытаний опытного образца и повлиявших на точность измерений σ_{loc} посредством тензодатчиков.

Наибольшую величину σ_{loc} имеют в точке, где расположены тензодатчики № 7 и 8: в верхнем горизонтальном сечении, отстоящем книзу от окончания галтели (закругления) в сопряжении полки и стенки на 4 мм, на оси симметрии приложения нагрузки. Максимальная величина σ_{loc} соответствует варианту передачи нагрузки через стальной шар (231,93 МПа при ступени нагружения 150 кН), а минимальная – варианту со стальным цилиндром, ориентированным продольной осью в плоскости стенки (83,96 МПа). Отличие составляет более 2,8 раза, что связано со значительно большей длиной участка стенки, воспринимающего нагрузку от цилиндра по его длине, а не в «точке», как в случае со стальным шаром.

Сопоставление значений σ_{loc} для вариантов стальной шар (231,93 МПа) и стальной цилиндр, ориентированный продольной осью перпендикулярно плоскости стенки, (196,18 МПа) показывает, что отличие составляет всего 1,18 раза (18,2 %). Отметим, что в соответствии с методикой норм [1], расчетная длина участка стенки, принимаемая для вычисления σ_{loc} для обоих вариантов формально одинакова. Можно предположить, что отличие в величине σ_{loc} обусловлено разным характером взаимодействия стального шара и стального цилиндра с полкой двутавра. В случае шара полка нагружается в «точке», а при цилиндре – по линии, в направлении ширины полки. Это приводит к тому, что распределющее действие полки, о котором Б.Б. Лампси указывает в [4], при передаче нагрузки

на кромку стенки точечно, посредством шара, проявляется в минимальной степени.

Величина σ_{loc} в вариантах с использованием стальных цилиндров при ориентации их продольной оси в плоскости (122,43 МПа) и перпендикулярно плоскости стенки (196,18 МПа) отличается в 1,6 раза. Здесь разница также обусловлена большей длиной контакта цилиндра с полкой и стенкой в случае, когда продольная ось цилиндра расположена в плоскости стенки.

Сопоставление σ_{loc} для вариантов цилиндра в плоскости стенки (122,43 МПа) и стальной пластины (122,82 МПа) показывает, что их значения практически совпадают. Отметим, что длина цилиндра и ширина пластины равны. В соответствии с методикой норм [1], l_w для двух этих случаев также равны.

Поле локальных напряжений в стенке, на участке в границах расположения тензодатчиков, характеризуется наличием градиента их убывания по двум направлениям: по вертикали в направлении действия приложенной нагрузки и по горизонтали влево-вправо от оси симметрии (см. таблицу 1 и рисунок 4).

На расстоянии 120 мм от оси симметрии, в сечении стенки по верхнему ряду тензодатчиков, величина σ_{loc} составляет от соответствующих максимальных значений, в интервале ступеней нагружения 50–150 кН, для четырех вариантов (см. таблицу 1): вариант №1 – 3,2–5,6 %; вариант №2 – 3,6–9,5 %; вариант №3 – 7,6–8,8 %; вариант №4 – 11,4–14,2 %.

По мере удаления от места приложения сосредоточенной нагрузки в направлении по вертикали (по высоте стенки), на расстоянии 91 мм от верха полки двутавра, σ_{loc} по тензодатчикам 25 и 26 на оси симметрии уменьшаются, относительно максимальных значений по тензодатчикам 7 и 8, на: вариант №1 – 46,5–48,4 %; вариант №2 – 53,5–55,2 %; вариант №3 – 63,2–68,7 %; вариант №4 – 69,6–81,2 %.

Очевидно, что снижение уровня НДС для напряжений σ_{loc} в горизонтальном направлении существенно более выражено, чем по вертикали. При этом отметим, что для четырех исследованных вариантов приложения сосредоточенных нагрузок градиенты также существенно различны. Наименьшими градиентами отличается вариант №4, а наибольшими – вариант №1.

Расчетная, по методике норм [1], величина локальных напряжений составила (для нагрузки 150 кН): варианты В1 и В2 – 234,5 МПа, а В3 и В4 – 105,7 МПа.

В рамках анализа результатов испытаний выполнено сопоставление экспериментальных и расчетных значений σ_{loc} для каждого из четырех

вариантов и трех ступеней нагружения опытного образца.

Так как горизонтальные линии (сечения) сетки расположения тензодатчиков не совпадали с расчетным сечением для нахождения σ_{loc} по [1] – линии перехода стенки в галтель сопряжения её с верхней полкой, то прямое сопоставление в соответствии с [1], не представлялось возможным. В связи с этим, расчетную величину σ_{loc} вычисляли для сечения по верхнему ряду тензодатчиков. Вычисление l_{ef} при этом производили, продолжая лучи под углом 45° до пересечения с линией верхнего ряда тензодатчиков, и также с учетом геометрии и ориентации тела, посредством которого передавалась нагрузка (шар, цилиндр, пластина). Для вариантов В1 и В2 l_{ef} принята равной 8,2 см, а В3 и В4 – 18,2 см. Для сечения в соответствии с [1] эти значения равны 5,6 см и 15,6 см.

Найденные таким образом расчетные значения σ_{loc} составили (для нагрузки 150 кН): варианты В1 и В2 – 234,5 МПа; варианты В3 и В4 – 105,7 МПа. Экспериментальные максимальные значения σ_{loc} по датчикам 7,8 были равны: вариант В1 – 231,93 МПа; вариант В2 – 196,18 МПа; вариант В3 – 122,43 МПа; вариант В4 – 122,82 МПа. Соотношение экспериментальных значений к расчетным для приведенных данных находится в интервале 0,84–1,16. Это можно рассматривать как свидетельство достаточно хорошего уровня точности нормативной методики [1].

Заключение. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили неравномерный характер распределения величины локальных напряжений в окрестности стенки прокатного двутавра, примыкающей к полке в месте приложения сосредоточенной силы. Установлено, что на величину градиента снижения σ_{loc} как по высоте стенки, так и перпендикулярно линии действия сосредоточенной силы, значительное влияние оказывает вариант передачи нагрузки: точечная (стальной шар); линейная перпендикулярно стенке (стальной цилиндр); линейная в плоскости стенки по ее оси (стальной цилиндр); поверхность прямоугольной формы ограниченного размера (стальная пластина). Методика норм при определении значений σ_{loc} обеспечивает высокий уровень надежности при проектировании. Выявлено, что распределяющее действие полки двутавра при передаче приложенной нагрузки на кромку стенки также значительно зависит от формы и геометрических параметров тела, посредством которого сосредоточенная нагрузка передается на полку. Наибольший эффект распределяющего действия достигается при стальной прямоугольной пластине, а

наименьший при стальном шаре. Для оценки влияния других факторов на параметры эпюры давления в стенке двутавра требуются дополнительные исследования, например, поэтажного опирания разрезных и неразрезных балок на полку нижнего двутавра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*2017. 228 с.
2. Броуде Б.М. Распределение сосредоточенного давления в стальных балках. М.-Л., 1950.
3. Броуде Б.М. Предельные состояния стальных балок // Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре. М.-Л. 1953. 216 с.
4. Лампс Б.Б. Металлические тонкостенные несущие конструкции при локальных нагрузках: Теория местных напряжений. М.: Стройиздат, 1979. 272 с.
5. Гусев В.А. Напряженное состояние в стенке двутаврового стержня от локальных распределенных нормальных нагрузок, приложенных к его поясу. Сб. научн. трудов. Горьковский ИСИ. Горький, 1970. №56. С. 93–101.
6. Колесов А.И. Экспериментальное исследование несущей способности двутавровых балок при сосредоточенных нагрузках. Сб. научн. трудов. Горьковский ИСИ. Горький, 1974. № 70. С. 21–27.
7. Кудишин Ю.И. Распределение сосредоточенной нагрузки в стенке подкрановой балки при неровностях на контактных поверхностях рельса и верхнего пояса балки // Материалы по металлическим конструкциям. М.: ЦНИИПСК, 1967. № 12. С. 123–129.
8. Остриков Г.М., Барановская С.Г. Нормальные напряжения в стенке металлической балки от локальных нагрузок // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1989. №8. С. 109–111.
9. Бирюлев В.В., Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Барановская С.Г. Местное напряженное состояние гофрированной стенки двутавровой балки при локальной нагрузке // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1989. №11. С. 13–15.
10. Юдников С.Г. Устойчивость стенок металлических балок при локальных нагрузках. // Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1985. 20 с.
11. Иодчик А.А., Чебровский А.А., Бурцев В.М. Расчет локальных напряжений в стальной балке, преднатянутой вытяжкой стенки //Инженерный вестник Дона. 2021. №. 6 (78). С. 331–339. EDN: AJPBLF

12. Ширманов В.С., Пестряков И.В. Влияние сложного напряженного состояния на несущую способность стальных балок. // Известия вузов. Строительство. 1997. №3. С. 6–9.
13. Сабуров В.Ф. Использование моделей упругого основания для анализа распределения локальных напряжений в стенке стальных составных балок. // Вестник ЮрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Т. 14. № 4. С. 15–20. EDN: TAZSEN
14. Лапшин А.А. Прочность стальных неразрезных балок при локальных нагрузках и учете влияния конструктивных факторов: дис. Нижегор. гос. архитектур.-строит. ун-т. Нижний Новгород, 2001. EDN: QDNBSD
15. Спенглер И.Е. Экспериментальное исследование сварных подкрановых балок. Сб. науч. трудов // МИСИ. М., 1950. №7. С. 151–158.
16. Макарков А.А. Прочность стальных двутавровых балок с поясами из широкополочных тавров при воздействии локальных нагрузок. Дисс. канд. техн. наук. Н. Новгород, 2002. 184 с. EDN: QDPJPL
17. Надольский В.В., Вихляев А.И. Оценка несущей способности балок с гофрированной стенкой при действии локальной нагрузки // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 6. С. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.693-706 EDN: FOKLGF
18. Михайленко Т.Г., Логачев К.И., Редькин Г.М. О напряжённом состоянии прокатных широкополочных и сварных двутавров до и после приварки к ним рёбер жёсткости // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №. 2. С. 60–62. EDN: PVMBSH

Информация об авторах

Солодов Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: solodov_niko_v@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рябоконь Игорь Русланович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: ig.fed2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сенкевич Анастасия Дмитриевна, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: miachkina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Обернихина Яна Леонидовна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Yana.ishuk@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.12.2025 г.

© Солодов Н.В., Рябоконь И.Р., Сенкевич А.Д., Обернихина Я.Л., 2026

***Solodov N.V., Ryabokon I.R., Senkevich A.D., Obernihina Y.L.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: solodov_niko_v@mail.ru*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE WALL OF A ROLLED I-BEAM UNDER LOCAL LOAD

Abstract. The article presents the results of an experimental study of the stress-strain state in the wall of a steel I-beam when a concentrated (local) load is applied to the wall through its flange. Such conditions are realized, for example, in the wall of the lower (main) beam when another beam (secondary) is supported on it floor by floor, when the wall at the point of support is not supported by a vertical stiffener. Four model options for applying a local load are considered, differing in shape, size and orientation of the contact surface of the experimental I-beam flange and the parts transmitting the load to the sample from the hydraulic press pad. In the considered options, the wall is loaded with a point, linear (perpendicular and in the plane of the I-beam wall) load, as well as a load distributed over a rectangular section of limited dimensions. The parts transmitting the load are, respectively, in the shape of a ball, cylinders, or rectangular plate. The article provides information on the parameters of the stress-strain state of the wall at characteristic points of the wall in the vicinity of the application of a concentrated load. The information is presented in the form of graphs, diagrams and diagrams of local stresses, as well as in tabular form. An analysis of the obtained results of the experimental study was carried out, a comparison of experimental and calculated data was carried out, and on this

basis some regularities were established about the kinetics of local stresses in a limited area of the wall for the adopted four options for applying a concentrated load.

Keywords: concentrated load, local stresses, stress-strain state of the wall, steel I-beam, bending element.

REFERENCES

1. SP 16.13330.2017 Steel structures. Updated edition of SNiP II-23-81*2017. [Stal'nye konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya SNiP II-23-81*2017]. 228 p.
2. Brode B.M. Concentrated pressure distribution in steel beams. [Raspredelenie sosredotochennogo davleniya v stal'nyh balkah]. M.-L., 1950. (rus)
3. Brode B. M. Limit states of steel beams. [Predel'nye sostoyaniya stal'nyh balok]. State. publishing house of literature on construction and architecture. M.-L., 1953. 216 p. (rus)
4. Lampsey B.B. Metal thin-walled load-bearing structures under local loads: Theory of local stresses. [Metallicheskie tonkostennye nesushchie konstrukcii pri lokal'nyh nagruzkah: Teoriya mestnyh napryazhenij]. M.: Stroyizdat, 1979. 272 p. (rus)
5. Gusev V.A. Stress state in the wall of an I-beam from local distributed normal loads applied to its chord. [Napryazhennoe sostoyanie v stenke dvutavrovogo sterzhnya ot lokal'nyh raspredelennyh normal'nyh nagruzok, prilozhennyh k ego poyasu]. Sat. scientific Proceedings. Gorky ISI. Gorky, 1970, No. 56. Pp. 93–101. (rus)
6. Kolesov A.I. Experimental study of the load-bearing capacity of I-beams under concentrated loads. [Eksperimental'noe issledovanie nesushchej sposobnosti dvutavrovyh balok pri sosredotochenyyh nagruzkah]. Sat. scientific works. Gorky ISI. Gorky, 1974, No. 70. Pp. 21–27. (rus)
7. Kudishin Yu.I. Distribution of concentrated load in the wall of a crane beam with unevenness on the contact surfaces of the rail and the upper chord of the beam. [Raspredelenie sosredotochennoj nagruzki v stenke podkranovoj balki pri nerovnostyah na kontaktnyh poverhnostyah rel'sa i verhnego poyasa balki]. Materials on metal structures. 1967. No. 12. M.: TsNIIPSK. Pp. 123–129. (rus)
8. Ostrikov G.M., Baranovskaya S.G. Normal stresses in the wall of a metal beam from local loads. [Normal'nye napryazheniya v stenke metallicheskoy balki ot lokal'nyh nagruzok]. News of universities. Construction and architecture. 1989. No. 8. Pp. 109–111. (rus)
9. Biryulev V.V., Ostrikov G.M., Maksimov Yu.S., Baranovskaya S.G. Local stress state of the corrugated wall of an I-beam under local load. [Mestnoe napryazhennoe sostoyanie gofrirovannoj stenki dvutavrovoj balki pri lokal'noj nagruzke]. News of universities. Construction and architecture. 1989. No. 11. Pp. 13–15. (rus).
10. Yudnikov S.G. Stability of the walls of metal beams under local loads. [Ustoichivost' stenok metallicheskikh balok pri lokal'nyh nagruzkah]. Author's abstract. dis. Ph.D. tech. Sci. M., 1985. (rus)
11. Iodchik A.A., Chebrovsky A.A., Burtsev V.M. Calculation of local stresses in a steel beam prestressed by drawing the wall. [Raschet lokal'nyh napryazhenij v stal'noj balke, prednapryazhennoj vytyazhkoj stenki]. Engineering Bulletin of the Don. 2021. No. 6 (78). Pp. 331–339. EDN: AJPBFL (rus)
12. Shirmanov V.S., Pestryakov I.V. The influence of a complex stress state on the load-bearing capacity of steel beams. [Vliyanie slozhnogo napryazhennogo sostoyaniya na nesushchuyu sposobnost' stal'nyh balok]. News of universities. Construction. 1997. No. 3. Pp. 6–9. (rus)
13. Saburov V.F. Using elastic foundation models to analyze local stress distribution in the web of steel composite beams. [Ispol'zovanie modelej uprugogo osnovaniya dlya analiza raspredeleniya lokal'nyh napryazhenij v stenke stal'nyh sostavnnyh balok]. Bulletin of YurSU. Series: Construction and architecture. 2014. Vol. 14. No. 4. Pp. 15–20. EDN: TAZSEN (rus)
14. Lapshin A.A. Strength of steel continuous beams under local loads and taking into account the influence of design factors. [Prochnost' stal'nyh ne razreznyh balok pri lokal'nyh nagruzkah i uchete vliyanija konstruktivnyh faktorov]. dis. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2001. EDN: QDNBSD (rus)
15. Spangler I.E. Experimental study of welded crane beams. [Eksperimental'noe issledovanie svarnyh podkranovyh balok]. Sat. scientific works. MISS. 1950. No. 7. Pp. 151–158. (rus)
16. Makarskov A.A. Strength of steel I-beams with chords made of wide-flange T-beams under the influence of local loads. [Prochnost' stal'nyh dvutavrovyh balok s poyasami iz shirokopolochnyh tavrov pri vozdejstvii lokal'nyh nagruzok]. Diss. Ph.D. tech. Sci. N. Novgorod, 2002. 184 p. EDN: QDPJPL (rus)
17. Nadolsky V.V., Vikhlyaev A.I. Assessment of the load-bearing capacity of beams with a corrugated wall under the action of local load. [Ocenka nesushchej sposobnosti balok s gofrirovannoj stenkoj pri dejstvii lokal'noj nagruzki]. Bulletin of MGSU. 2022. Vol. 17. No. 6. Pp. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.693-706 EDN: FOKLGF (rus)
18. Mikhailenko T.G., Logachev K.I., Redkin G.M. On the stress state of rolled wide-flange and welded I-beams before and after welding stiffeners to them. [O napryazhyonnym sostoyanii prokatnyh shirokopolochnyh i svarynyh dvutavrov do i posle

privarki k nim ryober zhyostkosti]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 2. Pp. 60–62. EDN: PVMBSH (rus)

Received 10.12.2025

Для цитирования:

Солодов Н.В., Рябоконь И.Р., Сенкевич А.Д., Обернихина Я.Л. Экспериментальное исследование работы стенки прокатного двутавра на локальную нагрузку // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 1. С. 47–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-47-57

For citation:

Solodov N.V., Ryabokon I.R., Senkevich A.D., Obernihina Y.L. Experimental study of the wall of a rolled i-beam under local load. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 1. Pp. 47–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-47-57