



Е.А. Ильичев, Н.М. Дементьев, С.Г. Булатов
Вологодский государственный университет

АНАЛИЗ ПОТЕРИ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТенок И ПОЯСОВ БЕЗДИАФРАГМЕНННОГО МНОГОКОНТУРНОГО КОРобЧАТОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СООРУЖЕНИЯ*

В статье приводятся результаты исследования устойчивости стенок и поясов несущей многоконтурной бездиафрагменной коробчатой конструкции пролетного строения транспортного сооружения. Определены зоны потери устойчивости конструкции от действия транспортной нагрузки. Предложены конструктивные решения для обеспечения устойчивости элементов конструкции.

Путепроводы и эстакады, металлические коробчатые пролетные строения, исследование устойчивости коробчатых балок.

В практике строительства транспортных сооружений широко применяются металлические коробчатые пролетные строения. В соответствии с типовыми проектами коробчатые конструкции имеют в поперечном сечении одну, две или три ячейки, а их элементы (вертикальные стенки, нижние и верхние горизонтальные листы) усиливают ребрами жесткости [1]. Такие конструкции обладают значительной строительной высотой ($1/12 \div 1/16$ от расчетной длины пролета), что делает затруднительным их применение в стесненных условиях, например в городах с исторически сложившейся застройкой.

Решить проблему снижения строительной высоты транспортного сооружения возможно за счет применения многоконтурного коробчатого пролетного строения (рис. 1).

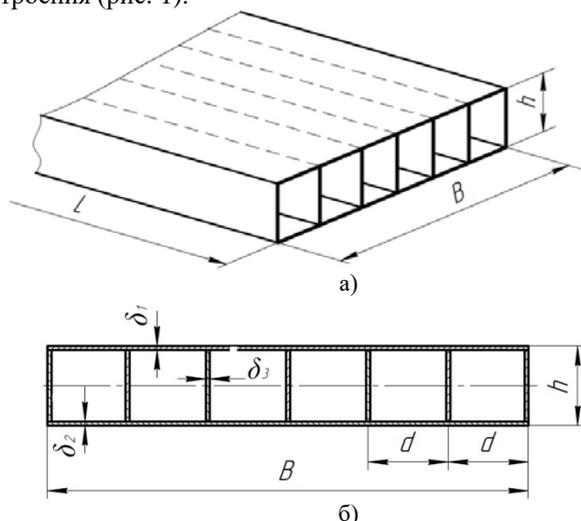


Рис. 1. Конструкция многоконтурного бездиафрагменного коробчатого пролетного строения:

- а) Фрагмент конструкции: L – длина конструкции, B – ширина коробки, h – высота конструкции;
б) Поперечное сечение пролетного строения:
 d – шаг стенок, δ_1 , δ_2 – толщина верхнего и нижнего поясов, δ_3 – толщина стенок

В отличие от традиционных данная конструкция имеет более низкую строительную высоту за счет большого количества ячеек в поперечном сечении (многокоробчатая), а также внутри коробки отсутствуют поперечные диафрагмы, которые излишне утяжеляют конструкцию [2]. Вопросы статического расчета и анализ свободных колебаний многокоробчатых бездиафрагменных конструкций рассматривались в работах [3, 4, 7]. Вместе с тем, наряду с оценкой прочности, проблема потери общей устойчивости конструкции и местной устойчивости стенок и поясов коробчатого пролетного строения, обладающего низкой строительной высотой, является актуальной задачей.

При оценке устойчивости конструкций, состоящих из тонких пластин, проверяют устойчивость формы отдельных элементов (пластин) на предмет их выпучивания из своей плоскости – местная потеря устойчивости, а также устойчивость верхнего сжатого пояса – общая устойчивость. Для обеспечения общей устойчивости верхний сжатый лист подкрепляют продольными и поперечными ребрами, которые образуют ортотропную плиту, а для предотвращения выпучивания вертикальных стенок их укрепляют ребрами жесткости из листовой стали.

С целью оценки устойчивости предлагаемой многокоробчатой бездиафрагменной конструкции пролетного строения на действие статической нагрузки проведены исследования расчетных моделей конструкции с различными вариантами расположения подкрепляющих элементов. Анализ работы конструкции выполнялся с помощью метода конечных элементов (МКЭ) с применением автоматизированного вычислительного комплекса SCAD. В связи с этим расчетные модели многокоробчатой конструкции пролетного строения строились по дискретной схеме.

Математическая модель коробчатой конструкции строилась с учетом пространственной работы материала и с точки зрения механики представляла собой призматическую оболочку, шарнирно опертую по тор-

* Публикация подготовлена при финансовой поддержке Правительства Вологодской области, проект «Разработка эффективных конструктивных решений пролетных строений транспортных сооружений (мостов, эстакад)»

цам. Для формирования конечно-элементной модели оболочки использовались прямоугольные восьмиузловые конечные элементы № 50 с размером стороны 0,33 м. Жесткостные характеристики конечных элементов в расчете принимались для стали с $E=2.05 \cdot E05$ МПа и коэффициентом Пуассона 0,3. Шарнирное опирание пролетного строения в модели оболочки реализовано за счет наложения линейных связей по узлам нижнего пояса в крайних торцевых сечениях конструкции. В качестве статической нагрузки к конструкции прикладывалась транспортная нагрузка НК-80 [1] с пошаговой сдвижкой вдоль пролета через один КЭ. Процедура статического расчета производилась в линейной постановке. Результаты расчета в вычислительном комплексе выводились в виде изображения форм потери устойчивости конструкции (выпучивание элементов) и коэффициента запаса устойчивости системы, значение которого показывает, во сколько раз необходимо увеличить нагрузку на модель, чтобы наступила потеря ее устойчивости.

С целью решения вопросов проектирования на стадии конструирования предлагаемой многокоробчатой бездиафрагменной конструкции пролетного строения транспортного сооружения исследовались коробчатые конструкции с длиной пролетов $L=12, 15, 18, 21$ и 24 м, шириной $H=10$ м, высотой $h=0,9$ м, с шагом вертикальных стенок $d=1$ м, толщина листов варьировалась в диапазоне 12–20 мм.

Результаты расчета первого варианта модели конструкции без подкрепляющих ребер (рис. 1) показали, что верхний сжатый пояс и стенки пролетного строения коробчатой конструкции теряют устойчивость в зонах приложения нагрузки, а коэффициент запаса устойчивости всей конструкции был менее 1. Например, для конструкции пролетом 24 м и толщиной поясов 16 мм и стенок 12 мм коэффициент запаса устойчивости составил 0,829.

Во втором варианте введение в коробчатую конструкцию поперечных ребер, подкрепляющих верхний сжатый пояс, с шагом вдоль пролета равным размеру $a=d=1$ м (рис. 2), фактически не оказало влияния на коэффициент запаса потери устойчивости. Так, для конструкции с приведенными выше размерами он составил 0,831.

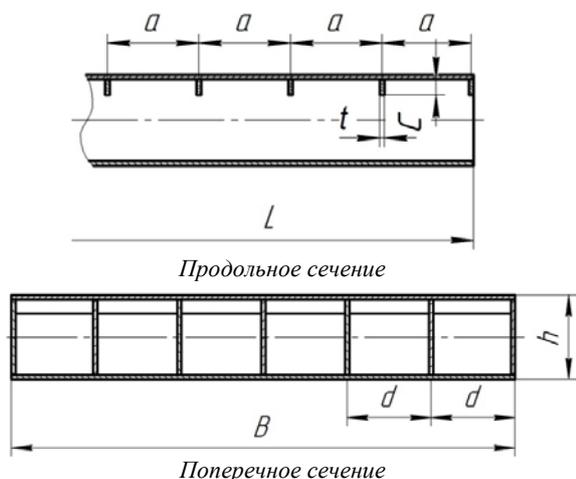


Рис. 2. Коробчатая конструкция с поперечными ребрами, подкрепляющими верхний сжатый пояс: a – шаг подкрепляющих ребер, s – высота ребра, t – толщина ребра

В третьем варианте конструктивного решения (рис. 3) подкрепление верхнего пояса пролетного строения осуществлялось только продольными ребрами (стрингерами). Такое решение обеспечило устойчивость конструкции пролетного строения, а также увеличило значение коэффициента запаса устойчивости до требуемых значений (для рассматриваемой в примере конструкции до 1,41).

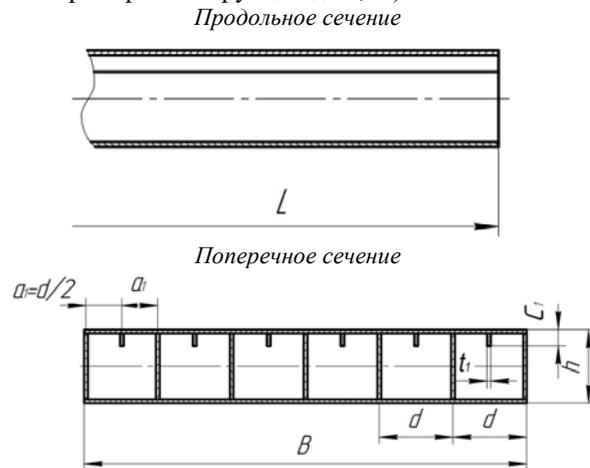


Рис. 3. Коробчатая конструкция с продольными ребрами, подкрепляющими верхний сжатый пояс: a_1 – шаг подкрепляющих ребер, c_1 – высота ребра, t_1 – толщина ребра

Результаты проведенных исследований показали:

1. В многокоробчатых бездиафрагменных конструкциях пролетных строений с низкой высотой отказ от поперечных диафрагм приводит к потере устойчивости конструкции. Верхний сжатый пояс нуждается в подкреплении.

2. Усиление верхнего сжатого пояса поперечными ребрами не оказывает влияния на устойчивость конструкции.

3. Обеспечение устойчивости конструкции достигается за счет подкрепления верхнего пояса одними продольными ребрами (стрингерами) и не требует устройства ортотропной плиты, т.к. в поперечном направлении устойчивость конструкции обеспечивается ее стенками.

В заключение отметим, что дальнейшие разработки по повышению эффективности предлагаемых многокоробчатых конструкций связаны с повышением их прочности за счет использования при производстве конструкции элементов из различных марок сталей (бистальные конструкции) [5], а также конструктивными решениями, направленными на снижение веса [6].

Литература

- СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* : введен 20.05.11. – Москва : Минрегион РФ, 2011. – 347 с.
- Ильичев, Е. А. Новое конструктивное решение металлического коробчатого пролетного строения при проектировании транспортных сооружений (путепроводов, эстакад) / Е. А. Ильичев, Н. М. Дементьев, С. Г. Булатов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей

седьмой международной научной конференции. – Казань: Конверт, 2019. – С. 79–81.

3. Ильичев, Е. А. Расчет многоконтурных коробчатых настилов покрытий и перекрытий на свободные колебания / Н.М. Дементьев, Е. А. Ильичев // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 10. – С. 50–53.

4. Ильичев, Е. А. Определение спектра частот и главных форм колебаний коробчатых пролетных строений многоконтурного сечения / Е. А. Ильичев, О. Л. Соколов // Вестник МГСУ. – 2014. – № 5. – С. 51–56.

5. Картопольцев, В. М. Разработка перспективных (гибридных) конструкций пролетных строений мос-

тов из сталей различной прочности / В. М. Картопольцев, А. В. Картопольцев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 3. – С. 171–182.

6. Лукин, А. О. Пролетные строения мостов с гофрированными металлическими стенками / А. О. Лукин, А. А. Суворов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 2. – С. 45–67.

7. Соколов, О. Л. Статика бездиафрагменных коробчатых пролетных строений многоконтурного сечения / О. Л. Соколов. – Вологда : ВоГТУ, 2013. – 134 с.

E.A. Ilyichev, N.M. Dementyev, S.G. Bulatov

BUCKLING ANALYSIS OF WALLS AND WEBS OF MEMBRANELESS MULTICONTOUR BOX-SHAPED SUPERSTRUCTURE OF TRANSPORTATION CONSTRUCTION

Results of research of stability (buckling) of walls and webs of the membraneless multicontour box-shaped superstructure of transportation construction are considered. Zones of buckling from transport load are determined. New constructive solutions for buckling prevention of the structure elements are proposed.

Stability, buckling, flyovers and overpasses, box-shaped spans, study of multicontour box-shaped beams.