

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРАВЛИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛКИ

И. П. Попов, к. т. н.

ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», г. Курган

Аннотация. Целью настоящей работы является повышение несущей способности балок, что позволит расширить ассортимент строительных изделий. Гидравлическая балка представляет собой заглушенную с обоих концов круглую трубу, полностью (без воздушных полостей) заполненную жидкостью. Из соображений геометрической оптимизации наилучшей формой концевых заглушек является полусфера. При нагружении гидравлической балки ее боковая поверхность стремится деформироваться. Следовательно, внутренний объем трубы стремится к уменьшению. Но, поскольку жидкость несжимаема, она не допускает уменьшения объема, что, в свою очередь, препятствует деформации трубы. В гидравлической балке вся нагрузка благодаря жидкости относительно равномерно распределяется по всей внутренней поверхности балки. (Это происходит в соответствии с законом Паскаля – давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях.) В гидравлической балке вся нагрузка благодаря жидкости относительно равномерно распределяется по всей внутренней поверхности балки. Получена оценка, состоящая в пятикратном превышении несущей способности гидравлической балки по сравнению с двутавровой балкой и в десятикратном по сравнению с трубчатой балкой.

Ключевые слова: трубчатая балка, двутавровая балка, гидравлическая балка, жидкий наполнитель, полость.

HYDRAULICS' USING TO INCREASE THE LOAD-BEARING CAPACITY OF A BEAM

Popov I. P.

Kurgan State University, Russian Federation, Kurgan



Попов
Игорь Павлович

Abstract. The aim of this work is to increase the load-bearing capacity of beams, which will expand the range of building products. A hydraulic beam is a round pipe plugged at both ends, completely (without air cavities) filled with liquid. For reasons of geometric optimization, the best shape of the end plugs is a hemisphere. When a hydraulic beam is loaded, its lateral surface tends to deform. Consequently, the internal volume of the pipe tends to decrease. But, since the liquid is incompressible, it does not allow the volume to decrease, which, in turn, prevents the pipe from deforming. In a hydraulic beam, the entire load is relatively evenly distributed over the entire internal surface of the beam due to the liquid. (This is in accordance with Pascal's law - the pressure exerted on a liquid or gas is transmitted to any point without changes in all directions.) In a hydraulic beam, the entire load is distributed relatively evenly over the entire inner surface of the beam due to the liquid. The estimated load-bearing capacity of a hydraulic beam is five times greater than that of an I-beam and ten times greater than that of a tubular beam.

Key words: tubular beam, I-beam, hydraulic beam, liquid filler, cavity.

ВВЕДЕНИЕ

Наибольшей несущей способностью обладают двутавровые балки. Вместе с тем, из-за широкого распространения и доступности трубопроката в практике нередко используют трубчатые балки.

Сравнение этих балок по несущей способности следует проводить при условии их равной массы. Для этой цели хорошо подойдет двутавр по ГОСТу Р 57837-2017, масса погонного метра которого составляет 194 кг. и труба по ГОСТу 33228-2015, масса погонного метра которой тоже составляет 194 кг.

Осевой момент сопротивления указанного двутавра равен

$${}^{l-b}W_x = 5625 \text{ см}^3.$$

Осевой момент сопротивления указанной трубы –

$${}^pW_x = 2950 \text{ см}^3.$$

При одном и том же предельном нормальном напряжении от изгибающий момент для двутавра равен

$${}^{l-b}M = {}^{l-b}W_x \sigma_m,$$

а для трубы –

$${}^pM = {}^pW_x \sigma_m.$$

При этом

$$\frac{{}^{l-b}M}{{}^pM} = \frac{{}^{l-b}W_x \sigma_m}{{}^pW_x \sigma_m} = \frac{{}^{l-b}W_x}{{}^pW_x} = \frac{5625}{2950} \approx 1,9.$$

Это означает, что двутавр выдерживает существенно больший изгибающий момент.

Таким образом, несущая способность двутавровой балки почти вдвое выше, чем трубчатой.

В настоящее время появились патенты [1-3], журнальные публикации [4-9] и материалы конференций [10-17] о трубобетонных балках, в частности, с преднапряженной нижней частью бетонного ядра. Стальная труба в таких балках играет роль экзоскелета. Несущая способность трубобетонных балок весьма значительна при их невысокой себестоимости и хорошей технологичности.

Целью настоящей работы является повышение несущей способности трубчатых балок, не имея в виду составления конкуренции двутавровым и трубобетонным балкам, а исключительно для расширения ассортимента строительных конструкций и повышения их эксплуатационных свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Используется методика геометрической оптимизации и мысленного эксперимента.

Идея использовать жидкий наполнитель для трубчатой балки опирается на известное свойство жидкости – ее практическую несжимаемость.

Геометрическое длинномерное тело, боковая поверхность которого имеет прямолинейную образующую, обладает максимальным объемом (при заданной боковой поверхности), если его поперечное сечение имеет форму круга. Этому условию соответствует круглая труба.

Трубчатая балка с жидким наполнителем (далее – гидравлическая балка) представляет собой заглушенную с обоих концов круглую трубу, полностью (без воздушных полостей) заполненную жидкостью [18] (рис. 1).

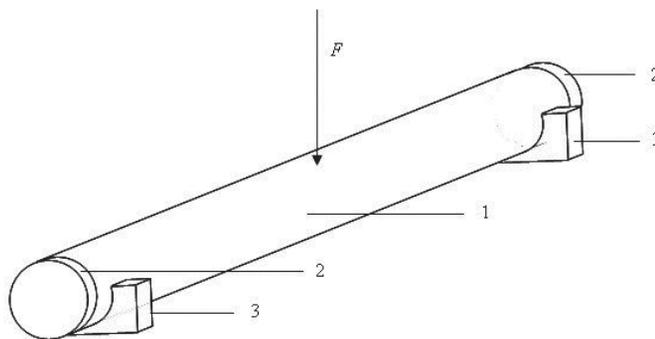


Рис. 1. Гидравлическая балка

1 – труба с жидкостью, 2 – концевые заглушки, 3 – опоры

При нагружении гидравлической балки ее боковая поверхность стремится деформироваться. Следовательно, внутренний объем трубы стремится к уменьшению. Но, поскольку жидкость несжимаема, она не допускает уменьшения объема, что, в свою очередь, препятствует деформации трубы.

Если рассмотреть гидравлическую балку, например, прямоугольного сечения, то при нагружении и соответствующем повышении давления жидкость будет стремиться деформировать стенки, вследствие чего прямоугольный профиль будет стремиться трансформироваться в круглый (рис. 2), а площадь профиля будет стремиться к увеличению. Это может привести к недопустимому прогибу балки.

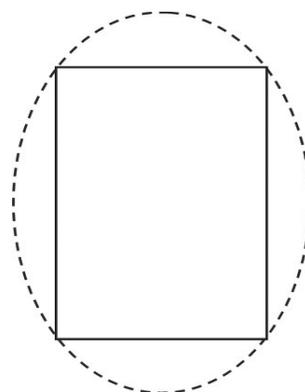


Рис. 2. Трансформация профиля

Другими словами, в гидравлической балке прямоугольного сечения уменьшение внутреннего объема, вызванного прогибом, компенсируется увеличением объема, вызванного трансформацией профиля (суммарный объем несжимаемой жидкости остается неизменным). И чем больше прямоугольный профиль будет трансформироваться в круглый, тем больше будет прогиб.

У круглой трубы нет такого «резерва» и возможности для трансформации профиля и увеличения площади поперечного сечения, следовательно, нет и подобного «резерва» увеличения внутреннего объема. Таким образом, исключена и возможность умень-

шения внутреннего объема, вызванного прогибом, поскольку суммарный объем жидкости изменяться не может. В идеализированном варианте прогиб круглой гидравлической балки исключается.

Наглядной демонстрацией идеи гидравлической балки может служить простой пример из бытовой практики. Если пустой расправленный матерчатый мешок (аналог балки) положить на два стула (аналог опор), то он под действием собственного веса прогнется и провалится между стульями.

Если этот же мешок плотно заполнить, например, керамзитом и завязать его, то он не только не провалится между стульями, но может выдержать дополнительную существенную нагрузку.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пусть при сверхпредельном нагружении круглой трубчатой балки (не гидравлической), приводящем к выходу ее из строя, пластической деформации подвергается часть поверхности трубы, равная s . Вся площадь поверхности трубы равна S . Сила нагружения равна F^* (сила сосредоточенная, приложена к середине балки под прямым углом к ее оси).

В самом первом приближении, достаточном для предварительной оценки, предельное напряжение в деформированных участках поверхности трубы равно

$$\sigma^* = \frac{F^*}{s}.$$

В гидравлической балке вся нагрузка благодаря жидкости относительно равномерно распределяется по всей внутренней поверхности балки. (Это происходит в соответствии с законом Паскаля – давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях.) При этом давление на внутреннюю поверхность трубы, не беря во внимание площадь концевых заглушек (ввиду грубости приближений), равно

$$p = \frac{F^*}{S}.$$

Из этого очевидным образом следует, что

$$q = \frac{\sigma^*}{p} = \frac{S}{s}.$$

Разумеется, напряжение и давление – это не одно и то же, но они, по крайней мере, имеют одинаковую размерность, поэтому (из их сравнения) в самом первом приближении несущая способность гидравлической балки выше, чем у трубчатой в q раз.

Правомерность последней формулы вытекает из того, что в случае пустой трубы под действием внешней сверхпредельной нагрузки разрушается часть поверхности (площадью s), а в случае гидравлической балки – вся поверхность (S), для чего сверхпредельная нагрузка во втором случае должна быть выше как раз в соответствии с последней формулой.

По некоторым экспертным оценкам при разрушении трубчатой балки пластической деформации подвергается порядка десяти процентов поверхности трубы.

Или

$$q \in 10.$$

Пусть

$$q \approx 10.$$

Это означает, что несущая способность гидравлической балки примерно в десять раз выше, чем у трубчатой.

И примерно в пять раз выше, чем у двутаровой.

В случае плоских концевых заглушек места их сварки с трубой являются сильным концентратором напряжений.

В связи с этим и из соображений геометрической оптимизации наилучшей формой концевых заглушек является полусфера.

Полости соседних гидравлических балок в силовой конструкции, например, в пролетном строении моста могут быть выполнены сообщающимися (посредством усиленных патрубков). Это позволяет равномерно перераспределять нагрузку, приложенную к части балок, между всеми гидравлическими балками несущей конструкции.

Действительно, суммарная «рабочая» площадь всех гидравлических (сообщающихся) балок увеличивается кратно количеству балок и давление в балках становится равным

$$p = \frac{F}{nS}, \quad (1)$$

где n – количество сообщающихся гидравлических балок.

Соответственно, в n раз увеличивается несущая способность.

В качестве жидкого наполнителя гидравлических балок во многих случаях следует использовать незамерзающие жидкости.

В целях экономии незамерзающей жидкости внутренние полости гидравлических балок могут частично заполняться твердым дисперсным материалом, например, керамическим ломом, щебнем и т.п.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Привлекательность железобетонных балочных конструкций состоит в замещении металла [19-21]. В этом же состоит привлекательность и рассмотренной гидравлической балки.

Приведенные выше расчеты несущей способности являются грубым приближением.

В случае практического использования гидравлических балок потребуются более обстоятельные инженерные исследования, включая учет площади поверхности концевых заглушек, учет различий между давлением и напряжением (например, смятия), учет упругой деформации стенок, собственного веса жидкости и других факторов.

При этом полученная выше оценка, состоящая в пятикратном превышении несущей способности гидравлической балки по сравнению с двутаровой и в десятикратном по сравнению с трубчатой может быть скорректирована как в меньшую, так и в большую сторону.

При использовании сообщающихся гидравлических балок можно добиться несопоставимого повышения несущей способности пролетных конструкций (в соответствии с формулой (1)).

Преимущество гидравлической балки над всеми другими типами балок состоит в том, что в отличие от них у гидравлической балки «работает» (в одинаковой мере) весь материал, из которого она изготовлена.

Список литературы

1. Патент 2675273 RU, МПК6 E 04 C 3/293, E 01 D 19/00. Трубобетонная балка / Д. Н. Парышев, В. И. Копырин, О. Ю. Моисеев, И. Г. Овчинников, В. В. Харин, И. И. Овчинников, А. В. Харин, И. П. Попов, В. А. Воронкин (Россия). – № 2017145446; заявл. 22.12.2017; опубл. 18.12.2018, Бюл. № 35.
2. Патент 2702444 RU, МПК6 E 01 D 2/00. Пролетное трубобетонное строение моста / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, В. И. Копырин, О. Ю. Моисеев, А. А. Мосин, И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников, В. В. Харин, И. П. Попов, А. В. Харин, В. А. Воронкин (Россия). – № 2019103410; заявл. 06.02.2019; опубл. 08.10.2019, Бюл. № 28.
3. Патент 2739271 RU, МПК6 B04C 3/293. Битрубобетонная балка / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, В. И. Копырин, О. Ю. Моисеев, Ю. А. Агафонов, И. Г. Овчинников, В. М. Шеренков, И. И. Овчинников, В. В. Харин, Д. А. Харин, В. А. Воронкин, И. П. Попов (Россия). – № 2019130450; заявл. 25.09.2019; опубл. 22.12.2020, Бюл. № 36.
4. Парышев, Д. Н. Применение трубобетона в транспортном строительстве / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, О. Ю. Моисеев, В. И. Копырин, В. В. Харин, И. П. Попов, В. А. Воронкин // Дорожная держава. – 2019. – № 90. – С. 74-80.
5. Парышев, Д. Н. Малые мосты на трубобетонных элементах – технологический прорыв в нацпроекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (Ч. 1) / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, О. Ю. Моисеев, В. И. Копырин, В. В. Харин, И. П. Попов, В. А. Воронкин // Дорожная держава. – 2019. – № 91. – С. 34-39.
6. Парышев, Д. Н. Малые мосты на трубобетонных элементах – технологический прорыв в нацпроекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (Ч. 2) / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, И. Г. Овчинников, И. И. Овчинников, О. Ю. Моисеев, В. И. Копырин, В. В. Харин, И. П. Попов, В. А. Воронкин // Дорожная держава. – 2019. – № 92. – С. 54-60.
7. Парышев, Д. Н. Упорядочение положения фибры в ядре трубобетонной балки / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. – 2019. – № 2 (12). – С. 56-65.
8. Парышев, Д. Н. Трубобетонная балка с содержанием фибры в бетонном ядре / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Естественные и технические науки. – 2019. – № 8. – С. 189-195.
9. Овчинников, И. Г. Повышение нагрузочной способности трубобетонной балки / И. Г. Овчинников, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 58-66. DOI:10.15593/24111678/2019.04.07
10. Попов, И. П. Трубобетонная балка с верхним бетонным ядром / И. П. Попов, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, Д. А. Харин // В сборнике: Дорожная наука – дорожной отрасли. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной Дню работника дорожного хозяйства. – 2020. – С. 136-138.
11. Парышев, Д. Н. Ортоотропная трубобетонная конструкция / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвященной 20-летию создания кафедры электроэнергетики: в 2 т. Том 1 / отв. ред. А. Н. Халин. – Тюмень : ТИУ, – 2019. – С. 298-301.
12. Парышев, Д. Н. Облегченная трубобетонная балка / Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе : материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвященной 20-летию создания кафедры электроэнергетики: в 2 т. Том 1 / отв. ред. А. Н. Халин. – Тюмень : ТИУ, – 2019. – С. 295-298.
13. Овчинников, И. Г. Математическая модель магнитной ориентации фибры в трубобетонной балке / И. Г. Овчинников, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции (7-8 ноября 2019 г.) – Пермь: Изд-во ПНИПУ, – 2019. – С. 306-311.
14. Овчинников, И. Г. Анизотропия фибробетонного ядра трубобетонной балки / И. Г. Овчинников, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции (7-8 ноября 2019 г.) – Пермь: Изд-во ПНИПУ, – 2019. – С. 300-305.
15. Парышев, Д. Н. Метод магнитной ориентации фибры в ядре трубобетонной балки / Д. Н. Парышев, В. Г. Чумаков, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Проблемы и

- перспективы развития инженерно-строительной науки и образования: сборник статей III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (20 сентября 2019 г.) / под общ. ред. проф. Миколайчика И.Н. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, – 2019. – С. 37-44.
16. Парышев, Д. Н. Ориентирование фибры в трубобетонной балке / Д. Н. Парышев, В. Г. Чумаков, А. В. Ильтяков, О. Ю. Моисеев, В. В. Харин, И. П. Попов, Д. А. Харин // Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования: сборник статей III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (20 сентября 2019 г.) / под общ. ред. проф. Миколайчика И.Н. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, – 2019. – С. 30-37.
 17. Попов, И. П. Комбинированная сталебетонная балка / И. П. Попов, Д. Н. Парышев, В. Ю. Левитский, О. Ю. Моисеев, А. А. Мосин, В. В. Харин, В. А. Воронкин, С. С. Родионов, С. И. Родионова // Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции (20 сентября 2018 г.) – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, – 2018. – С. 76-78.
 18. Патент 2724653 RU, МПК6 E 04 C 3/02, E 01 D 2/00. Гидравлическая балка / И. П. Попов, Д. Н. Парышев, А. В. Ильтяков, В. И. Копырин, О. Ю. Моисеев, И. И. Овчинников, В. В. Харин, А. В. Харин, В. А. Воронкин (Россия). – № 2019119481; заявл. 20.06.2019; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 21.
 19. Левченко, В. Н. Оценка долговечности службы железобетонных конструкций и задачи обеспечения надежности зданий и сооружений / В. Н. Левченко, В. Ф. Кириченко, Н. В. Боцман, Б. Я. Винокуров // Строитель Донбасса. – 2021. – № 3 (16). – С. 9-12.
 20. Белов, Д. В. Предложения по реконструкции типового железобетонного путепровода с пролетной схемой 3,00' 11,36 м / Д. В. Белов, А. М. Югов, В. Ф. Муцанов, С. В. Кожемяка // Строитель Донбасса. – 2018. – № 3 (4). – С. 13-17.
 21. Молодин, В. В. Восстановление железобетонных конструкций, разрушенных в агрессивной среде хлора / В. В. Молодин, Д. С. Новиков // Строитель Донбасса. – 2023. – № 3 (24). – С. 26-30.