

**APPLICATION OF GROUND-BASED LASER SCANNING  
IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

*Yu.N. Moskvina, A.V. Krutskikh*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article notes that ground-based laser scanning (GLS) is an innovative technology for obtaining information about the construction site. It is indicated that the method allows you to generate data for creating 3D models, improve the quality of construction products at all stages of its creation, reduce production costs and shorten construction time. The features of the use of GLS in construction, its advantages and disadvantages are considered.

**Keywords:** construction, laser, laser technologies, ground-based laser scanning.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*MOSKVINA Yulia Nikolaevna* – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: julim@yandex.ru

*KRUTSKIKH Andrey Viktorovich* – Senior Lecturer at the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: mister.krutskih@mail.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Moskvina Yu.N., Krutskikh A.V. Application of ground-based laser scanning in the construction industry // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 3 (23), pp. 26–30.

УДК 691-462; 691.714.018.8; 691-404

**УСИЛЕНИЕ БАЛКИ ГИДРАВЛИКОЙ**

*В.Д. Павлов*

*Владимирский электромеханический завод (г. Владимир)*

© Павлов В.Д., 2024

**Аннотация.** В статье исследованы вопросы повышения несущей способности трубчатых балок. Отмечено, что трубчатая балка с жидким наполнителем (гидравлическая балка) представляет собой заглушенную с обоих концов круглую трубу, полностью заполненную жидкостью; при нагружении гидравлической балки ее боковая поверхность может деформироваться, следовательно, внутренний объем трубы может уменьшаться, однако, поскольку жидкость несжимаема, она не допускает уменьшения объема, что препятствует деформации трубы. Указано, что в гидравлической балке вся нагрузка благодаря жидкости относительно равномерно распределяется по всей внутренней поверхности балки. Сделан вывод, что полости соседних гидравлических балок в силовой

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

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

**DOI: 10.46573/2658-7459-2024-3-30-35**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Наибольшей несущей способностью обладают двутавровые балки. Вместе с тем из-за широкого распространения и доступности трубопроката в практике нередко используют трубчатые балки. Сравнение данных балок по несущей способности следует проводить при условии их равной массы. Для этого хорошо подойдут двутавр по ГОСТ Р 57837-2017, масса погонного метра которого составляет 194 кг, и труба по ГОСТ 33228-2015, масса погонного метра которой равняется 194 кг.

Осевой момент сопротивления указанного двутавра

$${}^{i-b}W_x = 5\,625\text{ см}^3.$$

Осевой момент сопротивления указанной трубы

$${}^pW_x = 2\,950\text{ см}^3.$$

При этом

$$\frac{{}^{i-b}W_x}{{}^pW_x} = \frac{5\,625}{2\,950} \approx 1,9.$$

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

В настоящее время появились патенты [1–3] и журнальные публикации [4–6] о трубобетонных балках (в частности, с преднапряженной нижней частью бетонного ядра). Стальная труба в них играет роль экзоарматуры. Несущая способность подобных балок весьма значительна при их невысокой себестоимости и хорошей технологичности.

Цель настоящей работы – предложить метод повышения несущей способности трубчатых балок. При этом не имеется в виду, что они должны составлять конкуренцию двутавровым и трубобетонным балкам. Смысл здесь исключительно в расширении ассортимента строительных конструкций и повышении их эксплуатационных свойств.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Применяется методика геометрической оптимизации и мысленного эксперимента.

Идея использовать жидкий наполнитель для трубчатой балки связана с известным свойством жидкости – ее практической несжимаемостью.

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 [7]. Объем жидкости уменьшаться не может, что обуславливает неизменность формы трубы.

Если рассмотреть гидравлическую балку, к примеру, прямоугольного сечения, то при ее изгибе давление жидкости возрастает, прямоугольный профиль трансформируется в округлый, а площадь профиля увеличивается. Это может привести к недопустимому прогибу балки.

Другими словами, в гидравлической балке прямоугольного сечения уменьшение внутреннего объема, вызванное прогибом, компенсируется увеличением объема, связанным с трансформацией профиля (суммарный объем несжимаемой жидкости остается неизменным). 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 уменьшения 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 ними. Если этот же мешок плотно заполнить (например, керамзитом) и завязать его, то он не только не провалится между стульями, но и сможет выдержать дополнительную существенную нагрузку.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

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 –  $F^*$ .

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

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

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, если не брать во внимание площадь концевых заглушек (ввиду грубости приближений):

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

Из этого очевидным образом следует, что

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

Другими словами, в первом приближении несущая способность гидравлической балки выше, чем у трубчатой, в  $q$  раз.

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

Пусть для определенности

$$q \approx 10.$$

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

В случае плоских концевых заглушек места их сварки с трубой являются сильным концентратором напряжений. В связи с этим, а также на основе соображений геометрической оптимизации можно сказать, что 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 их количеству, и давление в балках можно выразить как

$$p = \frac{F}{nS},$$

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 их экономии 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 [8–10]. В этом же заключается привлекательность рассмотренной гидравлической балки.

Приведенные ранее расчеты несущей способности являются грубым приближением.

В случае практического использования гидравлических балок потребуются более обстоятельные инженерные исследования, включая учет площади поверхности концевых заглушек, различий между давлением и напряжением (например, напряжением смятия), а также 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 двутавровой 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  $p = \frac{F}{nS}$ ).

Преимущество гидравлической балки перед 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 РФ 2675273. *Труبوبетонная балка* / Парышев Д.Н., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Овчинников И.Г., Харин В.В., Овчинников И.И., Харин А.В., Попов И.П., Воронкин В.А.; Заявл. 22.12.2017. Оpubл. 18.12.2018. Бюл. № 35.
2. Патент РФ 2702444. *Пролетное труبوبетонное строение моста* / Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Мосин А.А., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Харин В.В., Попов И.П., Харин А.В., Воронкин В.А.; Заявл. 06.02.2019. Оpubл. 08.10.2019. Бюл. № 28.
3. Патент РФ 2739271. *Битруبوبетонная балка* / Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Агафонов Ю.А., Овчинников И.Г., Шеренков В.М., Овчинников И.И., Харин В.В., Харин Д.А., Воронкин В.А., Попов И.П.; Заявл. 25.09.2019. Оpubл. 22.12.2020. Бюл. № 36.
4. Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Моисеев О.Ю., Копырин В.И., Харин В.В., Попов И.П., Воронкин В.А. Применение труبوبетона в транспортном строительстве // *Дорожная держава*. 2019. № 90. С. 74–80.
5. Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Моисеев О.Ю., Харин В.В., Попов И.П., Харин Д.А. Труبوبетонная балка с содержанием фибры в бетонном ядре // *Естественные и технические науки*. 2019. № 8. С. 189–195.
6. Овчинников И.Г., Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Моисеев О.Ю., Харин В.В., Попов И.П., Харин Д.А. Повышение нагрузочной способности труبوبетонной балки // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2019. № 4. С. 58–66.
7. Патент РФ 2724653. *Гидравлическая балка* / Попов И.П., Парышев Д.Н., Ильяков А.В., Копырин В.И., Моисеев О.Ю., Овчинников И.И., Харин В.В., Харин А.В., Воронкин В.А.; Заявл. 20.06.2019. Оpubл. 25.06.2020. Бюл. № 21.
8. Маклакова С.Н., Галкина М.А., Бровкин В.Н. Анализ методов испытаний образцов строительных материалов из бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 2 (14). С. 15–20.
9. Баркая Т.Р., Субботин С.Л., Гавриленко А.В., Казимиров С.И. Особенности моделирования железобетонных элементов при поэтапном создании постнапряжения // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 3 (15). С. 5–11.
10. Черемных С.В. Модель механики разрушения железобетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 1 (13). С. 28–38.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**

*ПАВЛОВ Валентин Дмитриевич* – кандидат технических наук, начальник научно-информационного отдела, Владимирский электромеханический завод, 600901, Россия, г. Владимир, ул. Ноябрьская, д. 127. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Павлов В.Д. Усиление балки гидравликой // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2024. № 3 (23). С. 30–35.

**STRENGTHENING THE BEAM WITH HYDRAULICS**

*V.D. Pavlov*

*Vladimir Electromechanical Plant (Vladimir)*

**Abstract.** The paper investigates the issues of increasing the load-bearing capacity of tubular beams. It is noted that a tubular beam with liquid filler (hydraulic beam) is a round tube plugged at both ends, completely filled with liquid; when the hydraulic beam is loaded, its lateral surface can be deformed, therefore, the internal volume of the tube can decrease, but since the liquid is incompressible, it does not allow volume reduction, which prevents deformation of the tube. It is pointed out that in the hydraulic beam, the entire load due to the fluid is relatively uniformly distributed over the entire inner surface of the beam. It is concluded that the cavities of neighboring hydraulic beams in a power structure, for example in a bridge span, can be made communicating (by means of reinforced spigots), which allows uniform redistribution of the load applied to a part of the beams between all hydraulic beams of the supporting structure.

**Keywords:** tubular beam, I-beam, hydraulic beam, liquid filler, cavity.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*PAVLOV Valentin Dmitrievich* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific and Information Department, Vladimir Electromechanical Plant, 127, Noyabrskaya st., Vladimir, 600901, Russia. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Pavlov V.D. Strengthening the beam with hydraulics // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 3 (23), pp. 30–35.