

ПРИМЕНЕНИЕ ТРУБОБЕТОНА В МОСТОСТРОЕНИИ: история, опыт применения, проблемы, пути решения

**Парышев Д.Н., Ильтяков А.В., Моисеев О.Ю., Копырин
В.И., Овчинников И.Г., Харин В.В., Попов И.П.**

ЗАО «Курганстальмост», Государственная Дума РФ,
Тюменский индустриальный университет, Саратовский
государственный технический университет имени Гагарина
Ю.А.

ТРУБОБЕТОННАЯ БАЛКА – БАЛКА 21 ВЕКА

- Основной несущий элемент всех типов современных мостов – балка.
- До 21 века были известны балки трех видов: балки деревянные; балки металлические; балки железобетонные.
- В 21 веке впервые в мировой практике мостостроения предложен четвертый вид балки – трубобетонная балка с преднапряженным бетонным ядром по российскому патенту

№ 2 632 798

В России в общей сложности насчитывается порядка 42 тысяч автодорожных и 30,5 тысяч железнодорожных мостов

- **В США насчитывается более 600 тысяч мостов, из которых около 100 тысяч железнодорожных. Доля малых и средних мостов (длиной до 100 метров) - 98%.**
- **Можно полагать, что в России соотношение такое же.**
- **Каждый год разрушается порядка 100 мостов, в подавляющем большинстве малых и средних.**
- **Причины: значительный срок службы, плохая эксплуатация, значительные повреждения, реальные нагрузки на них значительно превышают проектные, не менее важна кадровая проблема (кто учит и кого учит)**

Трубобетон это бетон, заключенный в трубу из металла или полимерного композитного материала круглого или более сложного поперечного сечения. Бетон в трубобетонном элементе находится в условиях трехосного сжатия и потому несущая способность и деформативность трубобетона при сжатии значительно увеличивается.

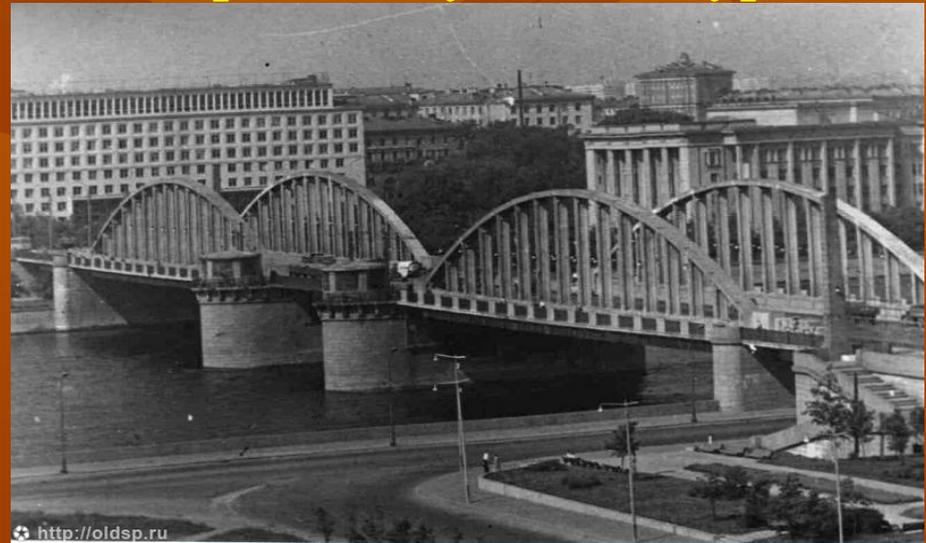
Сравнение затрат на колонну под нагрузку 1500 тонн

Материал колонн	трубобетон	металл	железобетон
Площадь сечения колонны, кв. м.	0,321	0,059	0,405
Диаметр колонны, м	0,630	1,000	0,670
Площадь металла, кв. м.	0,019	0,059	0,023
Площадь бетона, кв. м.	0,302	-	0,382
Расход металла, %	100	304	127
Расход бетона, %	100	-	118

Опыт применения трубобетона в мостостроении

1. 1931 год. Однопролетный (пролет 9 м) арочный мост многотрубной системы около Парижа. Арки из 6 труб 60х3,5 мм заполнены бетоном.

2. 30-е годы. Володарский мост через Неву в СПбурге под руководством Г.П. Передерия с арками из многотрубного трубобетона пролетом 101 м. Верхний пояс выполнен из 40-трубного пакета из труб 140х5 мм.



Сначала испытали модель в 1/5 натуре (пролетом 20 м), которую потом использовали как пешеходный мост. Была написана монография: Передерий Г.П. Трубчатая арматура. М. Трансжелдориздат. 1945.50 с.

Пакетный трубобетон оказался сложен в изготовлении и далее перешли к монотрубной системе.

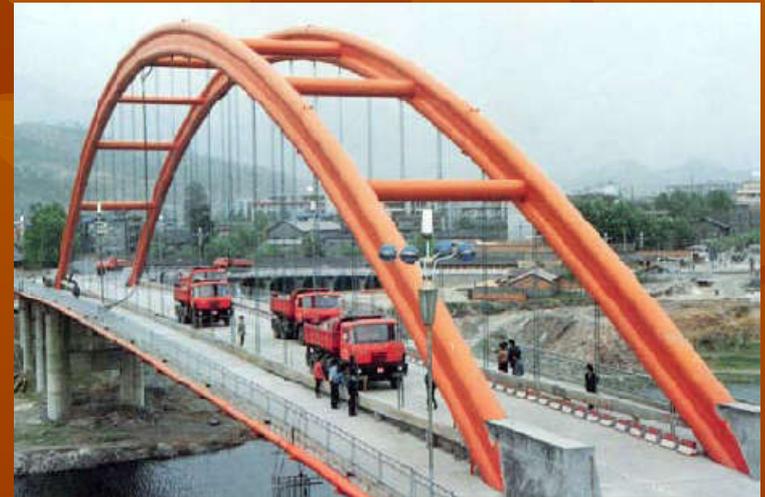
Был построен арочный ЖД мост через реку Исеть пролетом 140 м из двух трубобетонных поясов из труб 820x13 мм из Ст 3, заполненных бетоном М 350. Стойки тоже трубобетонные.

Экономия 52%
стали,
снижение
стоимости
строительства
на 20%



ОПЫТ Китая

- Говорят аспирант из Китая защитил диссертацию в СССР по трубобетонным мостам. После его возвращения в КНР в 1980-е годы прошлого века началось исследование трубобетона и первый трубобетонный арочный мост пролетом 115 метров был построен в провинции Сычуань в 1991 году
- Трубобетонные арочные мосты
- позволяют иметь большой пролет,
- обеспечивают большую грузоподъемность, имеют относительно
- низкую стоимость, обеспечивают
- эстетичный внешний вид, поэтому
- этот тип мостов получил в Китае
- довольно широкое распространение



Из-за недостаточного количества исследований трубобетонных арочных мостов, отсутствия значительного опыта проектирования, строительства и эксплуатации, отсутствия нормативных документов, дальнейшее применение в КНР трубобетонных арочных мостов вначале было ограничено.

Поэтому, в отличие от СССР и России, более десятка университетов, проектных фирм, строительных корпораций и научно-исследовательских институтов начали широкомасштабные исследования применимости заполненных бетоном стальных трубчатых конструкций в арочных мостах. Проводились исследования и конструктивных форм, и методов проектирования и расчета, и технологий изготовления, монтажа и контроля, а также методологий мониторинга и содержания

В результате в КНР было получено довольно значительное количество инновационных результатов, включая рациональные конструктивные решения трубобетонных арочных мостов, основные параметры для проектирования и конструирования, различные методики расчета, включая методику расчета по предельным состояниям.

Были предложены методы учета концентрации напряжений, методика прогнозирования усталостной долговечности. Разработаны компьютерные методы расчета с учетом усадки, ползучести, предварительного напряжения трубчатой оболочки, температурных воздействий. Были решены такие вопросы, как: изготовление стальной трубы, заполнение ее высокопрочным бетоном, применение ультразвука для контроля сплошности заполнения труб бетоном, обеспечение безопасности в процессе строительства.

Результаты проведенных исследований были применены при создании большого количества арочных трубобетонных мостов. Всего в Китае построено **более 300 арочных мостов с применением трубобетона**, в том числе и мост Chongqing Wushan Bridge через реку Янцзы, построенный в 2005 году.

пролет 460 метров, диаметр стальной трубы 1,22 метра, толщина стенки трубы 22-25 миллиметров, вес рабочего сегмента – 128 тонн, стрела подъема 280 метров



Труبوبетонные арочные мосты стали хорошей альтернативой железобетонным и стальным арочным мостам

К марту 2005 года было построено 229 труبوبетонных арочных мостов пролетом более 50 метров, из них 131 мост с главным пролетом более 100 метров и 33 моста с пролетом более чем 200 метров.

Применение труبوبетона в сочетании с высокопрочными бетонами и технологией насосного бетонирования окажет весьма большое влияние на транспортное строительство и в России. Применительно к условиям Татарстана, Башкортостана и Западной Сибири технологию труبوبетона можно использовать вкуче с применением старогодных труб, отслуживших свой нормативный срок в нефтяной и газовой промышленности.

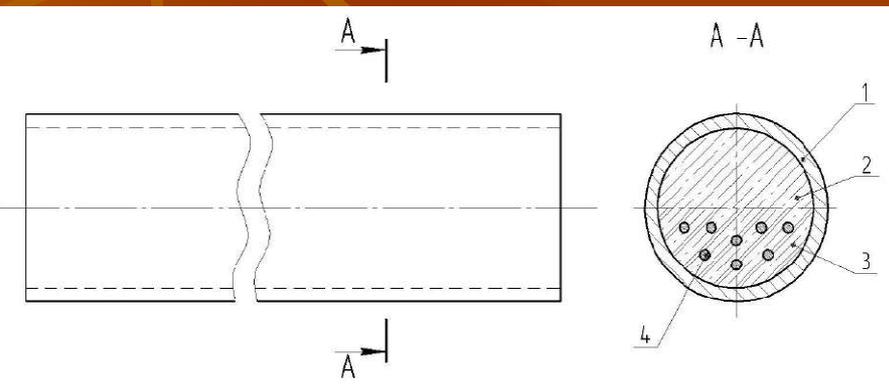
Российские патенты по трубобетонным конструкциям

ТРУБОБЕТОННАЯ БАЛКА С ПРЕДНАПРЯЖЕННЫМ БЕТОННЫМ ЯДРОМ

(Патент № 2 632 798)

В обычных изгибаемых трубобетонных балках бетонное ядро малоэффективно, а грузоподъемность такой трубобетонной балки может оказаться не намного больше грузоподъемности пустотелой металлической трубчатой балки. Для реализации потенциальных грузоподъемных свойств прямой трубобетонной балки необходимо создать в её сечении неравномерное распределение предварительно созданных сжимающих напряжений. При этом максимальные сжимающие напряжения в бетонном ядре должны быть в наиболее растянутых от действия внешней нагрузки частях ядра (т.е. в нижнем сегменте в его области, наиболее удаленной от оси балки), для чего напрягаемую арматуру располагают эксцентрично, как показано на рисунке

- 1- труба балки; 2 – бетонное ядро; 3 – железобетонное ядро;
4 - арматура



В результате действия предварительных растягивающих усилий в армирующих элементах в сечении трубобетонной балки возникает внецентренное сжатие. Следовательно, предварительно напряженная арматура в трубобетонной балке создает наибольшие сжимающие напряжения в нижней части бетонного ядра, препятствуя в дальнейшем появлению в нем трещин от действия внешних нагрузок.

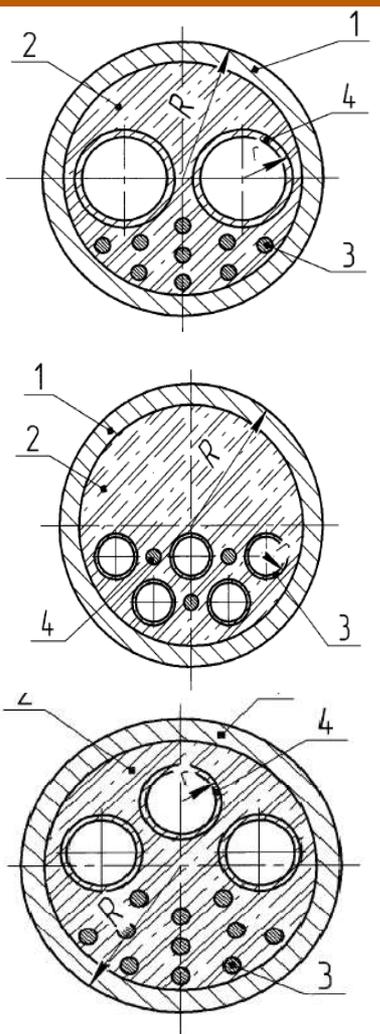
ОБЛЕГЧЕННАЯ ТРУБОБЕТОННАЯ БАЛКА (Патент № 2 669 814)

Трубобетонная предварительно напряженная балка состоит из оболочки в виде трубы 1 с бетонным ядром 2, армирующих элементов 3, расположенных в трубе 1 продольно и эксцентрично, и внутренних продольных труб 4. Количество внутренних труб может быть разным.

Предлагаемая перспективная и экономически выгодная облегченная трубобетонная балка с возможностью применения старогодных нефтегазовых труб, может эффективно работать с большой грузоподъемностью в пролетных строениях малых и средних мостов

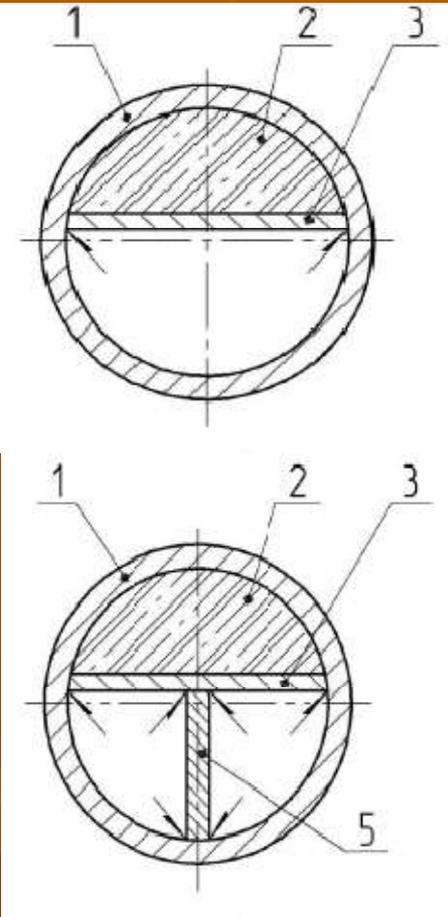
Настоящее техническое решение предполагает возможность использовать предварительное растяжение внутренних труб, при котором они дополнительно выполняют роль преднапряженной арматуры с совмещением задачи облегчения веса балки.

Возможен вариант использования внутренних труб различной длины, где короткие трубы располагаются в начале и в конце балки, что повышает прочность ее в середине, т.е. в зоне приложения максимального изгибающего момента от поперечной нагрузки



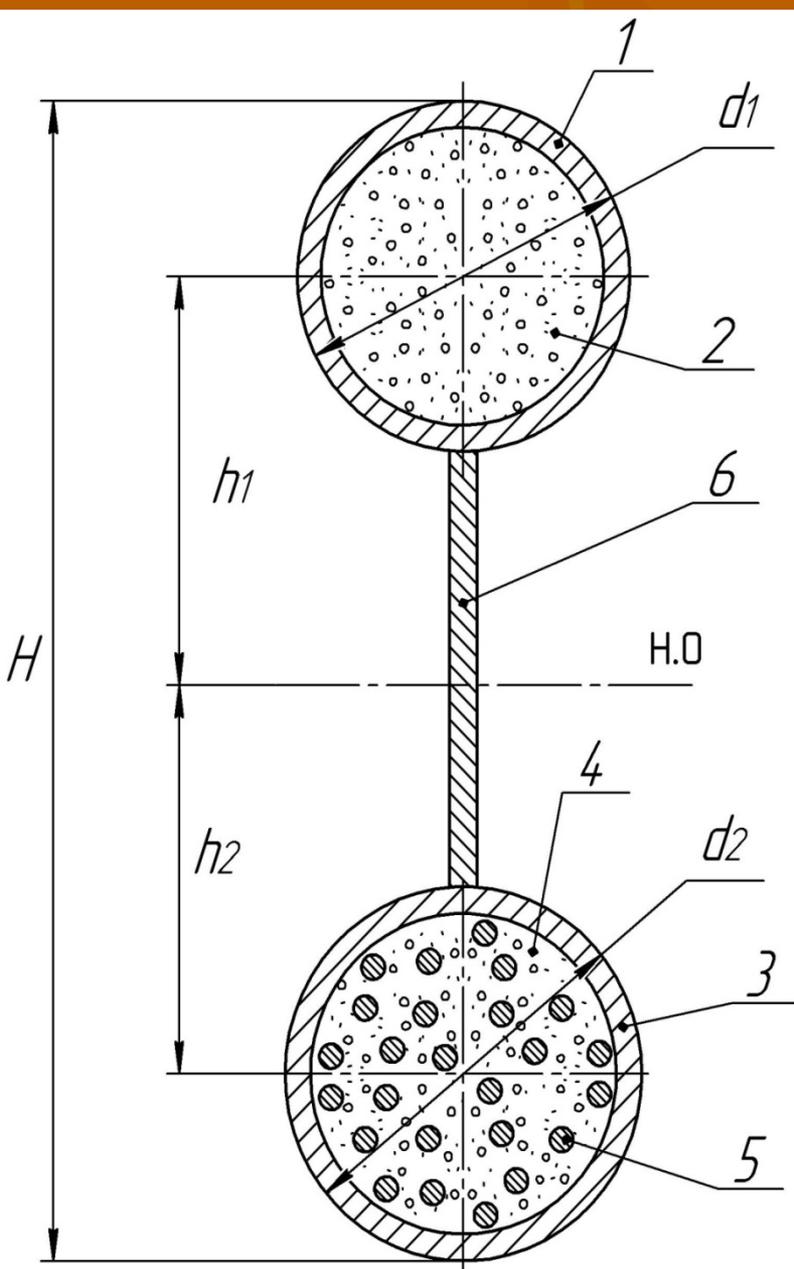
ТРУБОБЕТОННАЯ БАЛКА С ВЕРХНИМ БЕТОННЫМ ЯДРОМ(Патент № 2675273)

Оболочка выполнена в виде металлической трубы 1, заполненной бетоном 2 или фибробетоном в верхней части трубы 1, меньше половины объема трубы 1. Бетонное ядро 2 может быть оснащено арматурным тросом, а внутренняя поверхность трубы 1 в зоне бетонного ядра 2 оснащена элементами крепления бетонного ядра к стенкам трубы 1. Для усиления в средней, более нагруженной части бетонное ядро 2 может быть выполнено с переменным сечением по длине, а толщина бетонного слоя в средней части будет максимальной. Балка может иметь опорную пластину 3, прилегающую плоскостью к бетонному ядру 2.



Для увеличения несущей способности балка может содержать в нижней части ребра жесткости 5 в виде пластины, приваренной т-образно к опорной пластине 3 по всей длине балки с опорой на нижнюю часть и сваркой к ее внутренней поверхности

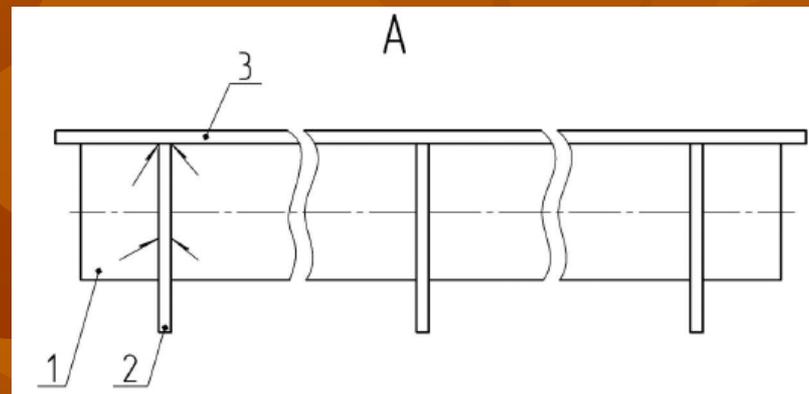
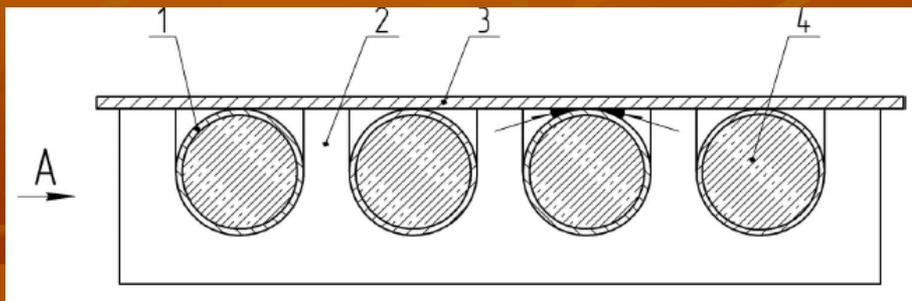
БИТРУБОБЕТОННАЯ БАЛКА ПАРЫШЕВА (БТБП) (Заявка № 2019130450)



Балка состоит из верхней трубы 1 диаметром d_1 с бетонным ядром 2, нижней трубы 3 диаметром d_2 с преднапряженным бетонным ядром 4 с арматурой (или арматурными тросами) 5. Трубы жестко соединены между собой стенкой 6.

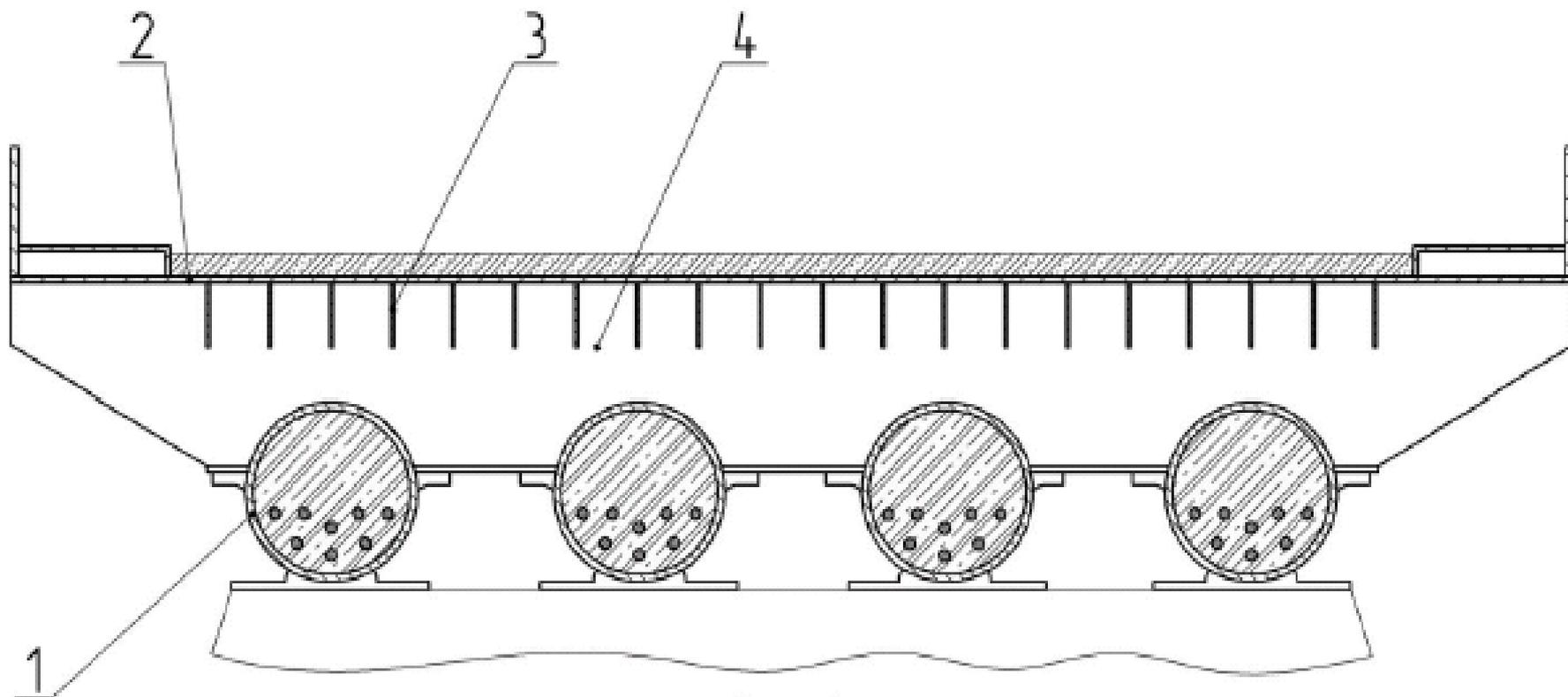
Для реальных размеров трубы:
 $d = 420$ мм и $H = 1600$ мм, несущая способность БТБП превышает несущую способность монотрубной предварительно напряженной балки МТБ с одинаковыми площадями бетонных ядер в 5,8 раза.

ОРТОТРОПНАЯ ПЛИТА ТРУБОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ (Заявка № 2019109103)



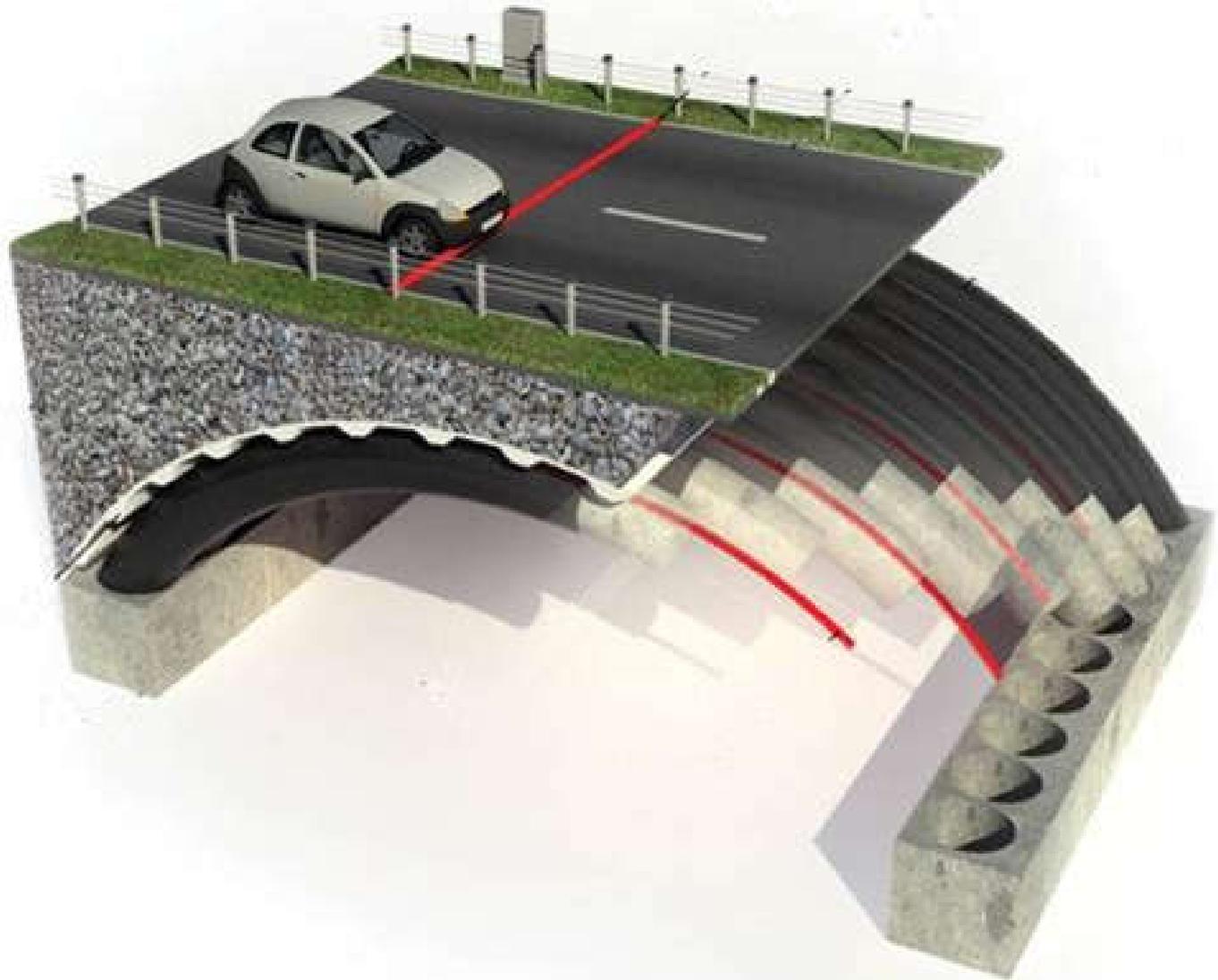
Ортотропная конструкция состоит из продольных элементов, выполненных в виде трубобетонных балок 1, поперечных элементов 2 в виде ребер или фасонных пластин и верхней плиты 3. Трубобетонные балки 1 жестко закреплены с поперечными ребрами 2 сваркой, а также с верхней плитой 3, сварка которой с балками 1 возможна контактной. Поперечные ребра 2 имеют фасонные вырезы, выполненные по конфигурации продольных трубобетонных балок 1, которые могут иметь круглый или прямоугольный профиль. Продольные элементы 1 в поперечном сечении могут быть расположены в контакте между собой или на расстоянии друг от друга. При контактном расположении продольных элементов 1, они сварены между, а поперечные элементы 2 выполнены в виде фасонных пластин (не показ.), прилегающих к верхней поверхности трубобетонных балок 1 и верхней плите 3. Для улучшения технологичности сварки верхняя плита 3 может быть выполнена из продольных или поперечных полос или в ней, в местах контактов с продольными балками 1 или поперечными балками 2 выполняются продольные технологические отверстия, при сборке на месте строительства моста. Заполнение бетоном 4 балок 1 может быть выполнено на месте монтажа пролетных строений.

ПРОЛЕТНОЕ СТРОЕНИЕ МОСТА С ОРТОТРОПНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛИТОЙ (Патент № 2 702 444)

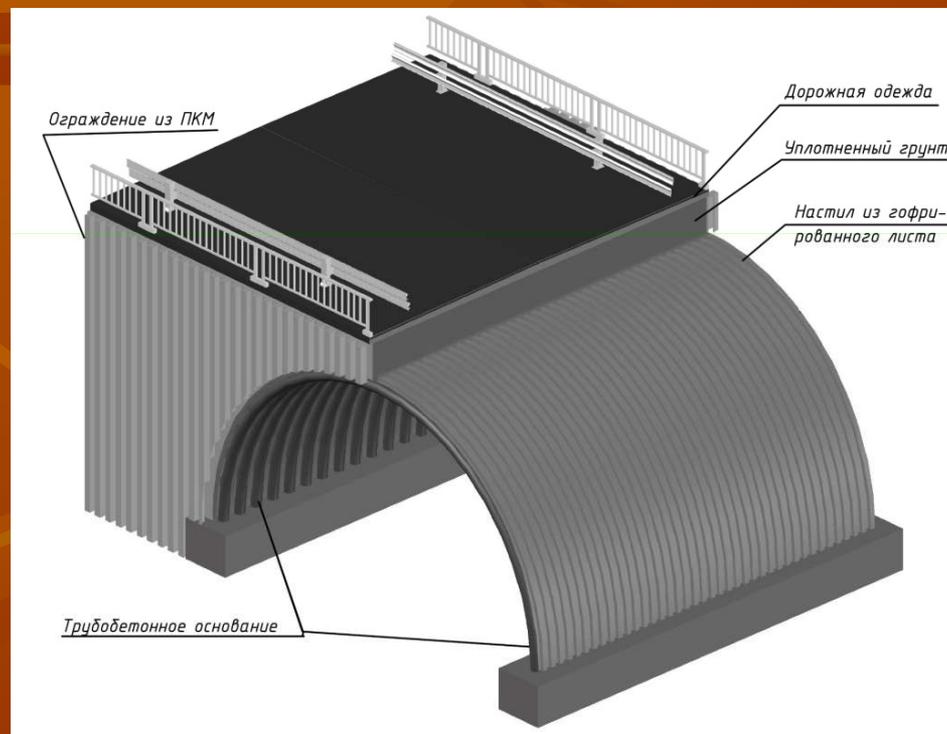


- Пролетное строение моста состоит из нижней несущей части в виде трубобетонных продольных балок 1 и верхней части в виде ортотропной плиты 2 с продольными 3 и поперечными 4 ребрами. В поперечных ребрах 4 плиты 2 выполняются фасонные вырезы с конфигурацией верхней поверхности балок 1.

Малые грунтозасыпные арочные мосты с композитно-бетонными несущими элементами

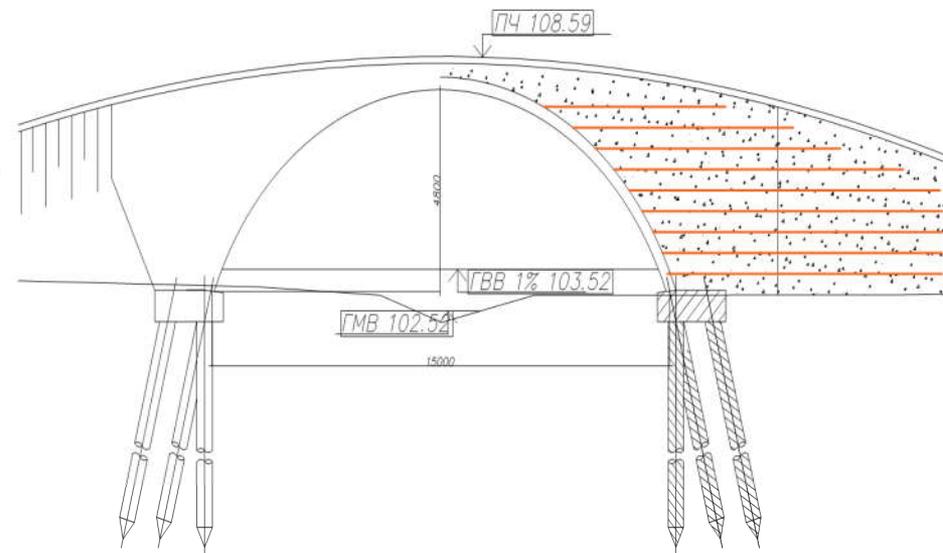
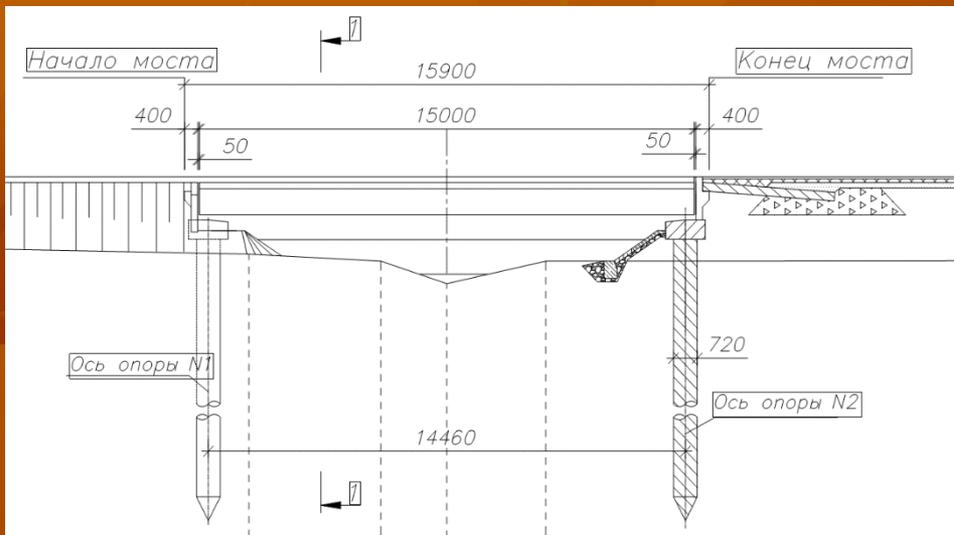


Сооружение представляет собой засыпной арочный мост с главными несущими элементами, выполненными в виде трубобетонных элементов с полимерной композитной оболочкой



Наименование характеристики	Значение
Перекрываемые пролеты, м	От 3 до 15
Диапазон рабочих температур, градусов С	От - 60 до +60
Проектный срок эксплуатации, лет	50
Длительность сооружения, мес.	2-3

Технико – экономическое сравнение



Наименование показателя	Балочный мост	Арочный мост из ПКМ
Пролет, м	15	15
Сметная стоимость, руб	31 641 881	22 529 037
Трудоемкость, чел*ч	4 214	1 635
Продолжительность строительства, мес	3	2

Испытания трубобетонных арок проводились в МГСУ



Пилотный объект – малый трубобетонный арочный мост около Ульяновска



Направления работ по применению трубобетонных конструкций в малом мостостроении

1. Организация финансирования фундаментальных инженерных исследований Росавтодором.
2. Изучение международного опыта изготовления и применения трубобетонных конструкций в мостостроении
3. Подготовка кадров для работы в сфере применения трубобетона в мостостроении (расчетчиков, проектировщиков, строителей, эксплуатационников)
4. Разработка расчетных моделей и методов расчета трубобетонных конструкций и мостов с применением трубобетона
5. Проведение лабораторных исследований трубобетонных конструкций
6. Разработка нормативных документов по применению трубобетона в мостостроении
7. Создание полигона для испытаний трубобетонных элементов, трубобетонных конструкций и мостовых сооружений с применением трубобетона
8. Проведение натурных (на полигоне) испытаний трубобетонных мостовых сооружений