

УДК 624.6

*О. А. Тарабукина, Ю. Я. Тюкалов*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ДЛЯ АРОЧНЫХ МОСТОВ**

В статье рассматривается возможность применения пластиковых труб для арочных грунтозасыпных мостов малых пролётов по технологии «Bridge-in-a-Backpack», представляющая собой быстровозводимый бетонно-композитный мост. Конструкция такого моста состоит из композитных арок, заполняемых бетоном на месте строительства. В качестве альтернативного варианта арочных композитных элементов предлагаются напорные трубы для наружной системы водоснабжения из непластифицированного поливинилхлорида, которые выступают в качестве несъёмной опалубки и защитного слоя бетона. НПВХ, по сравнению с композитными материалами, более дешёвый и распространённый материал. В работе приводится расчёт труб на прочность при действии собственного веса арочного элемента. Полученные результаты говорят о возможности применения труб из НПВХ для арочных мостов малого пролёта. Материал статьи может быть полезен специалистам в области дорожно-мостового строительства.

*Ключевые слова:* арочный мост, бетонно-композитный мост, пластиковая труба.

В настоящий момент отрасль дорожно-мостового строительства находится в неудовлетворительном состоянии, многие сооружения практически выработали свой ресурс и продолжают эксплуатироваться за счёт заложенного в них запаса прочности. Для улучшения положения необходимо разрабатывать и использовать новые, современные материалы и технологии мостостроения.

Одной из них является технология «Bridge-in-a-Backpack», представляющая собой быстровозводимый бетонно-композитный мост, конструкция которого состоит из композитных арок, заполняемых бетоном на месте строительства (рисунок 1). Эта технология разработана американской компанией Advanced Infrastructure Technologies Inc. и Центра Продвинутой Конструкций и Композитов

университета штата Мэн [1]. Технология «мост в рюкзаке» рассматривается в ряде работ [5, 6, 7, 8, 9].

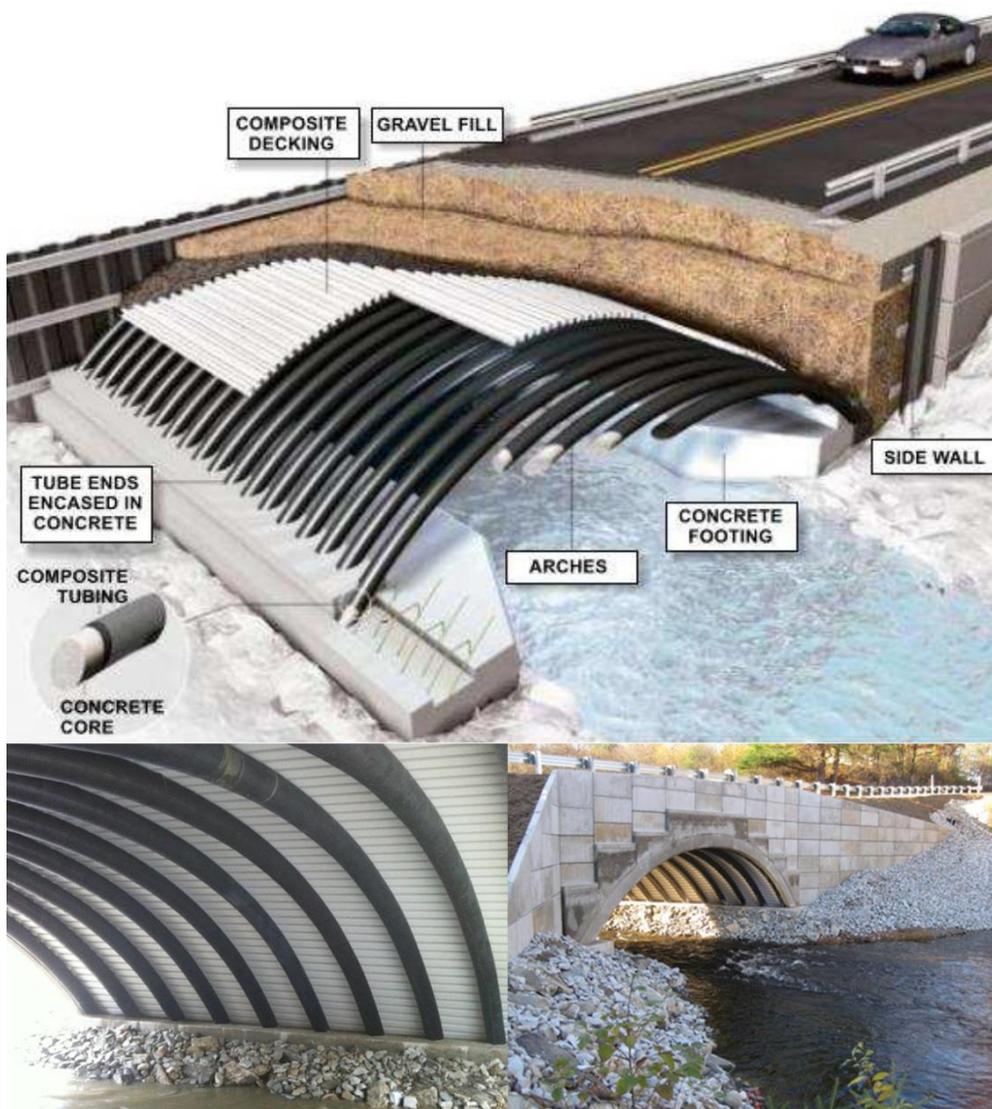


Рис. 1. Технология «Bridge-in-a-Backpack» [1]

Преимущества технологии строительства бетонно-композитного моста [1]:

- малые сроки строительства (6–12 дней);
- низкая стоимость по сравнению с железобетонным (на 7,6%) и металлическим (на 137,8%) мостом (рисунок 2) [2];
- минимальные эксплуатационные затраты, связанные с отсутствием металла и, как следствие, коррозии;

- длительный срок эксплуатации моста (более чем 100 лет);
- малый вес арочных элементов (не требуется применение специальной техники при монтаже).

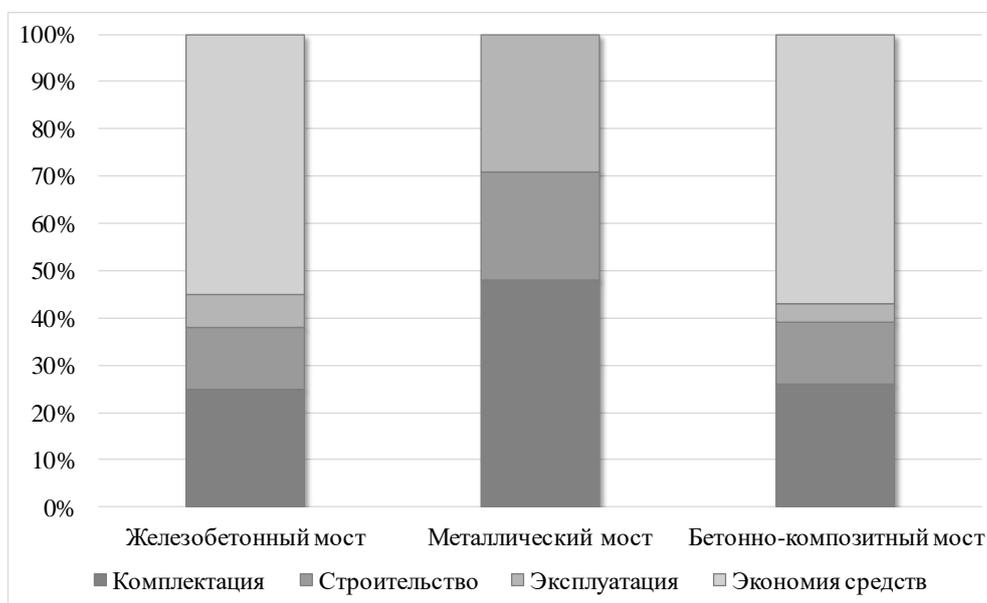


Рис. 2. Сравнение строительства и эксплуатации мостов за жизненный цикл (20 лет) [2]

Основной недостаток бетонно-композитных мостов – высокая стоимость композитных материалов. Кроме того, как отмечают авторы статьи [4]: «Арочные элементы мостового сооружения из полимерного композиционного материала (ПКМ) сложны в изготовлении и при их производстве могут возникнуть дефекты: зоны недопротитки смолой при изготовлении арок, зоны повышенной пористости, расслоения и другие нарушения сплошности материала».

В качестве альтернативного варианта арочных композитных элементов можно использовать напорные трубы для наружной системы водоснабжения из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) диаметром от 110 до 500 мм [10]. Модуль упругости таких труб 3000 МПа, предел текучести при растяжении 50–56 МПа, предел прочности при разрыве 30–50 МПа [3, 10].

Пластиковая труба выступает в качестве несъемной опалубки и защитного слоя бетона. Высокая коррозионная устойчивость трубы позволит уменьшить эксплуатационные расходы. Дефекты, характерные для ПКМ, в пластиковых

трубах отсутствуют. НПВХ, по сравнению с композитными материалами, более дешёвый и распространённый материал.

Срок службы пластиковой трубы и железобетона составляет 50 лет. Таким образом, долговечность арочного моста из пластиковых труб, заполненных бетоном, может составить 100 лет.

Для оценки способности трубы из НПВХ выдерживать нагрузку от собственного веса и веса бетона на время его твердения, проведём расчёт прочности трубы из условия

$$\sigma_{max} = \sigma_{сж} \pm \sigma_{изг} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot 1000} \pm \frac{M \cdot D}{2 \cdot I_{пвх} \cdot 1000} \leq [\sigma],$$

где  $\sigma_{сж}$  – напряжение сжатия, МПа;

$\sigma_{изг}$  – напряжение изгиба, МПа;

$N$  – продольная сжимающая сила, кН;

$A$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>;

$M$  – изгибающий момент, кН·м;

$W$  – момент сопротивления сечения, м<sup>3</sup>;

$D$  – внешний диаметр трубы, м;

$d$  – внутренний диаметр трубы, м;

$I_{пвх}$  – осевой момент инерции сечения, м<sup>4</sup>, определяемый по формуле

$$I_{пвх} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \cdot (1 - \alpha^4) = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right),$$

где  $\alpha$  – соотношение внутреннего и наружного диаметров труб друг к другу;

$[\sigma]$  – предельно допустимое напряжение в трубе из НПВХ [3, 10].

Расчёт производится с помощью ПК ЛИРА-САПР методом конечных элементов для труб из сортамента [10]. Арка по длине разделяется на конечные элементы, длина которых не превышает 0,3 м. Задаётся нагрузка от собственного веса железобетона и учитывается собственный вес поливинилхлоридной трубы

плотностью  $R_0 = 1410 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  [10]. Анализируются максимальные усилия в трёх точках (рисунок 3). Характеристики рассчитанных арок приведены в таблице 1. Результаты расчёта представлены в таблице 2.

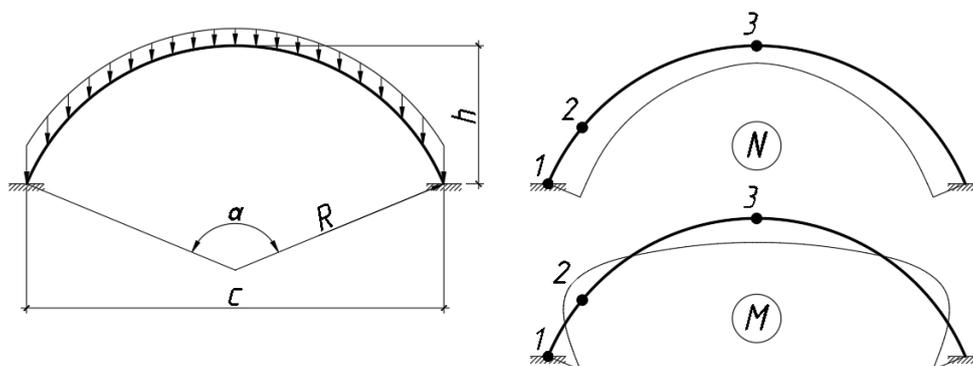


Рис. 3. Расчётная схема арки и эпюры внутренних усилий

Таблица 1

### Параметры арки

Параметры арки	Пролёт $c$ , м			
	6	8	12	18
Длина дуги $l$ , м	7,64	10,73	15,29	22,93
Радиус дуги $R$ , м	3,25	4,17	6,50	9,75
Высота подъёма $h$ , м	2	3	4	6
Центральный угол $\alpha$ , °	134,76	147,48	134,76	134,76
Отношение $h/c$	1/3	1/2,67	1/3	1/3
Количество конечных элементов	30	42	60	90
Максимально допустимые вертикальные перемещения, мм	40	53,3	80	120

Таблица 2

### Результаты расчёта

$D$ , мм	$t$ , мм	$d$ , мм	Собств. вес ж/б., кН/м	Точка	$N$ , кН	$M$ , кН · м	$\sigma_{max}$ , МПа	Перемещ. по $X$ , мм	Перемещ. по $Z$ , мм
----------	----------	----------	------------------------	-------	----------	--------------	----------------------	----------------------	----------------------

## Технические науки

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Пролёт 6 м</b>									
<b>110</b>	2,7	107,3	0,222	1	-1,041	0,080	<b>8,729</b>	–	–
				2	-0,829	-0,038	<b>4,872</b>	-7,150	3,661
				3	-0,591	0,032	<b>3,871</b>	–	-16,835
<b>160</b>	4,0	156,0	0,469	1	-2,198	0,163	<b>6,423</b>	–	–
				2	-1,749	-0,082	<b>3,879</b>	-3,213	1,071
				3	-1,244	0,072	<b>3,112</b>	–	-9,562
<b>225</b>	5,5	219,5	0,928	1	-4,338	0,297	<b>5,077</b>	–	–
				2	-3,445	-0,167	<b>3,379</b>	-1,561	-0,044
				3	-2,440	0,157	<b>2,760</b>	–	-6,608
<b>315</b>	7,7	307,3	1,818	1	-8,468	0,486	<b>3,931</b>	–	–
				2	-6,698	-0,345	<b>2,973</b>	-0,702	-0,608
				3	-4,708	0,359	<b>2,492</b>	–	-4,997
<b>400</b>	9,8	390,2	2,932	1	-13,597	0,596	<b>3,240</b>	–	–
				2	-10,705	-0,593	<b>2,759</b>	-0,365	-0,822
				3	-7,449	0,680	<b>2,371</b>	–	-4,326
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>500</b>	12,3	487,7	4,580	1	-21,105	0,509	<b>2,649</b>	–	–
				2	-16,504	-1,006	<b>2,594</b>	-0,171	-0,935
				3	-11,313	1,289	<b>2,293</b>	–	-3,889
<b>Пролёт 8 м</b>									
<b>110</b>	2,7	107,3	0,222	1	-1,389	0,196	<b>18,866</b>	–	–
				2	-1,090	-0,087	<b>9,402</b>	-36,065	17,520
				3	-0,722	0,075	<b>7,632</b>	–	-68,565
<b>160</b>	4,0	156,0	0,469	1	-2,936	0,408	<b>13,492</b>	–	–
				2	-2,302	-0,184	<b>7,070</b>	-16,541	7,043
				3	-1,524	0,162	<b>5,718</b>	–	-34,729
<b>225</b>	5,5	219,5	0,928	1	-5,803	0,786	<b>10,480</b>	–	–
				2	-4,546	-0,369	<b>5,869</b>	-8,364	2,600
				3	-3,003	0,331	<b>4,704</b>	–	-20,734
<b>315</b>	7,7	307,3	1,818	1	-11,356	1,463	<b>8,076</b>	–	–
				2	-8,881	-0,737	<b>4,908</b>	-4,087	0,302

## Технические науки

				3	-5,843	0,690	<b>3,938</b>	–	-13,320
<b>400</b>	9,8	390,2	2,932	1	-18,291	2,207	<b>6,726</b>	–	–
				2	-14,274	-1,219	<b>4,401</b>	-2,394	-0,601
				3	-9,345	1,196	<b>3,552</b>	–	-10,352
<b>500</b>	12,3	487,7	4,580	1	-28,519	3,098	<b>5,651</b>	–	–
				2	-22,186	-1,973	<b>4,021</b>	-1,402	-1,121
				3	-14,419	2,060	<b>3,281</b>	–	-8,565
<b>Пролёт 12 м</b>									
<b>110</b>	2,7	107,3	0,222	1	-2,077	0,336	<b>31,681</b>	–	–
				2	-1,622	-0,147	<b>15,409</b>	-117,574	73,482
				3	-1,187	0,128	<b>12,928</b>	–	-228,822
<b>160</b>	4,0	156,0	0,469	1	-4,388	0,703	<b>22,572</b>	–	–
				2	-3,427	-0,312	<b>11,508</b>	-54,042	31,255
				3	-2,505	0,275	<b>9,624</b>	–	-113,210
<b>225</b>	5,5	219,5	0,928	1	-8,673	1,364	<b>17,458</b>	–	–
				2	-6,769	-0,620	<b>9,408</b>	-27,438	13,431
				3	-4,944	0,557	<b>7,860</b>	–	-65,240
<b>315</b>	7,7	307,3	1,818	1	-16,977	2,574	<b>13,411</b>	–	–
				2	-13,235	-1,227	<b>7,759</b>	-13,515	4,166
				3	-9,649	1,143	<b>6,516</b>	–	-39,923
<b>400</b>	9,8	390,2	2,932	1	-27,351	3,956	<b>11,163</b>	–	–
				2	-21,291	-2,004	<b>6,877</b>	-8,000	0,511
				3	-15,487	1,949	<b>5,830</b>	–	-29,831
<b>500</b>	12,3	487,7	4,580	1	-42,659	5,731	<b>9,396</b>	–	–
				2	-33,138	-3,186	<b>6,211</b>	-4,760	-1,614
				3	-24,022	3,286	<b>5,341</b>	–	-23,812
<b>Пролёт 18 м</b>									
<b>110</b>	2,7	107,3	0,222	1	-3,112	0,761	<b>68,299</b>	–	–
				2	-2,447	-0,330	<b>31,999</b>	-598,712	388,361
				3	-1,781	0,287	<b>27,076</b>	0,169	-1119,120
<b>160</b>	4,0	156,0	0,469	1	-6,576	1,602	<b>47,988</b>	–	–
				2	-5,171	-0,698	<b>23,231</b>	-276,676	173,946
				3	-3,764	0,611	<b>19,568</b>	0,164	-535,093

## Технические науки

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>225</b>	5,5	219,5	0,928	1	-13,002	3,143	<b>36,592</b>	–	–
				2	-10,220	-1,385	<b>18,463</b>	-141,900	83,897
				3	-7,435	1,221	<b>15,457</b>	0,167	-291,687
<b>315</b>	7,7	307,3	1,818	1	-25,461	6,058	<b>27,712</b>	–	–
				2	-20,004	-2,726	<b>14,741</b>	-71,320	36,872
				3	-14,541	2,445	<b>12,318</b>	0,166	-163,775
<b>400</b>	9,8	390,2	2,932	1	-41,045	9,574	<b>22,880</b>	–	–
				2	-32,227	-4,424	<b>12,753</b>	-43,340	18,255
				3	-23,403	4,049	<b>10,670</b>	0,165	-112,968
<b>500</b>	12,3	487,7	4,580	1	-64,077	14,503	<b>19,178</b>	–	–
				2	-50,263	-6,975	<b>11,262</b>	-26,872	7,337
				3	-36,445	6,570	<b>9,465</b>	0,164	-82,918

Анализируя результаты расчёта, можно сделать вывод о том, что применение труб из НПВХ для арочных элементов мостов малых пролётов возможно. С точки зрения действующих напряжений в трубе  $\sigma$ , в качестве несъёмной опалубки подходят трубы всех пролётов, за исключением пролёта 18 м и диаметра трубы 110 мм. С другой стороны, перемещения труб некоторых пролётов превышают предельно допустимые значения. Эту проблему можно решить, используя строительный подъём при производстве труб, а также всевозможные подпорные конструкции на время твердения бетона. В дальнейшем, предполагается рассмотреть работу арок такой конструкции под нагрузкой и определить рациональные очертания арочных элементов при различных толщинах засыпки грунтом.

## Список литературы

1. Carbon Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composite Tubes «Bridge-in-a-Backpack». Advanced Infrastructure Technologies. URL: <http://www.aitbridges.com> (дата обращения: 20.10.2016).
2. Бетонно-композитный арочный мост: пояснительная записка ООО «Новый проект». URL: <http://newchallenge.ru> (дата обращения: 29.01.2017).

3. Ведомственные строительные нормы по проектированию и монтажу подземных сетей канализации и водопровода из поливинилхлоридных труб: ВСН 20-95. Введ. 1995-07-01. URL: <http://vsni.ru/vsni/full/80>.

4. *Мурашов В. В., Слюсарев М. В., Евдокимов А. А.* Контроль качества оболочек арочных элементов надземных частей опор быстровозводимых мостовых сооружений из ПКМ // Труды ВИАМ. 2016. № 7 (43). С. 84–97.

5. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 5. Опыт применения трубобетонных арок и гибридных конструкций с оболочкой из полимерных композиционных материалов / И. И. Овчинников [и др.] // Наукoведение: интернет-журнал. 2016. № 1. URL: <http://naukovedenie.ru> (дата обращения: 21.10.2016).

6. Применение заполненных бетоном трубчатых конструкций из фиброармированных пластиков в транспортном строительстве. Ч. 1. Исследование применимости фибропластиков для создания арочной мостовой конструкции / И. Г. Овчинников [и др.] // Наукoведение: интернет-журнал. 2014. № 4 (23). URL: <http://naukovedenie.ru> (дата обращения: 21.10.2016).

7. Применение заполненных бетоном трубчатых конструкций из фиброармированных пластиков в транспортном строительстве. Ч. 2. Отечественные исследования заполненных бетоном фибропластиковых арок и технология сооружения мостов с применением фибропластиковых арок / И. Г. Овчинников [и др.] // Наукoведение: интернет-журнал. 2014. № 4 (23). URL: <http://naukovedenie.ru> (дата обращения: 21.10.2016).

8. *Сарвас А. С., Кобаев А. А.* Бетонно-композитный арочный мост «мост в рюкзаке» // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: сб. тр. науч.-практич. конф. Красноярск: СФУ, 2016. Ч. 1. С. 244–246.

9. Строительство бетонно-композитных мостов / И. А. Коротков [и др.] // Труды ВИАМ. 2015. № 1. URL: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=763](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=763) (дата обращения: 21.10.2016).

10. Трубные системы. Трубы НПВХ: технические характеристики. URL: <http://trub-sys.ru/catalog/4> (дата обращения: 22.10.2016).

**ТАРАБУКИНА Ольга Алексеевна** – магистрант, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: tarabukinaoa@mail.ru

**ТЮКАЛОВ Юрий Яковлевич** – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и машин, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: [yutvgu@mail.ru](mailto:yutvgu@mail.ru)