



ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS

2018, ТОМ 24, НОМЕР 2, 49–60  
УДК 624.012.3

(18)-0375-1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**А. Н. Миронов<sup>1</sup>, М. О. Васькевич<sup>2</sup>, В. В. Журавлев**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>andreyexp@mail.ru, <sup>2</sup>Vaskevych\_m.o@mail.ru*

*Получена 21 марта 2018; принята 25 мая 2018.*

**Анотация.** В статье представлены результаты анализа общей устойчивости большепролетного трубобетонного арочного покрытия. Расчет произведен в вычислительном комплексе ЛИРА-САПР 2013. Главной целью работы было определение коэффициента запаса устойчивости и форм потери устойчивости, а также сравнительный анализ полученных результатов для арок сплошного и сквозного сечения. Для этого были смоделированы расчетные схемы трубобетонной арки сплошного сечения, создана модель арочного покрытия и модель трубобетонной арки сквозного сечения из стержневых конечных элементов (КЭ). Это позволило детально проанализировать форму потери устойчивости и коэффициент запаса, а также оценить устойчивость арочного покрытия с учетом раскрепления связями и прогонами. По результатам расчета было произведено экономическое сравнение двух видов арочных конструкций.

**Ключевые слова:** большепролетное арочное покрытие, трубобетонная арка сплошного сечения, трубобетонная арка сквозного сечения, общая устойчивость, коэффициент запаса устойчивости, форма потери устойчивости, стальная труба, бетонное ядро.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ВЕЛИКОПРОЛІТНИХ ТРУБОБЕТОННИХ АРОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**А. М. Миронов<sup>1</sup>, М. О. Васькевич<sup>2</sup>, В. В. Журавльов**

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>andreyexp@mail.ru, <sup>2</sup>Vaskevych\_m.o@mail.ru*

*Отримана 21 березня 2018; прийнята 25 травня 2018.*

**Анотація.** У статті надано результати аналізу загальної стійкості великопролітного трубобетонного арочного покриття. Розрахунок зроблено в обчислювальному комплексі ЛІРА-САПР 2013. Головною метою роботи було визначення коефіцієнта запасу стійкості і форм втрати стійкості, а також порівняльний аналіз отриманих результатів для арок суцільного і наскрізного перерізу. Для цього були змодельовані розрахункові схеми трубобетонної арки суцільного перерізу, створена модель арочного покриття і модель трубобетонної арки наскрізного перерізу із стрижневих КЕ. Це дозволило детально проаналізувати форму втрати стійкості та коефіцієнт запасу, а також оцінити стійкість арочного покриття з урахуванням розкріплення зв'язками і прогонами. За результатами розрахунку було зроблено економічне порівняння двох видів аркових конструкцій.

**Ключові слова:** великопролітне арочне покриття, трубобетонна арка суцільного перерізу, трубобетонна арка наскрізного перерізу, загальна стійкість, коефіцієнт запасу стійкості, форма втрати стійкості, сталеві труби, бетонне ядро.

## STUDY OF GENERAL STABILITY OF LARGE-SPAN PIPE-CONCRETE ARCH STRUCTURES

Andrei Mironov<sup>1</sup>, Maxim Vaskevych<sup>2</sup>, Vladislav Zhuravlev

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: <sup>1</sup>andreyexp@mail.ru, <sup>2</sup>Vaskevych\_m.o@mail.ru

Received 21 March 2018; accepted 25 May 2018.

**Abstract.** The results of analysis of general stability of long-span shotcrete of the arched coverage are presented in the article. A calculation is produced in a calculable complex LIRA-SAPR 2013. The main purpose of work was determination of coefficient of supply of stability and forms of loss of stability, and also comparative analysis of the obtained results for the arches of continuous and through section. For this it was engineered the design scheme of tube-confined concrete arches of solid section, it was created a model of an arched cover and the concrete pipe model of the arch end-to-end cross-section of rod finite elements. This allowed to analyze in detail the form of the loss of stability and the factor of reserve, as well as to assess the stability of the arched cover with regard to the release of connections and runs. According to the results of the calculation, economic comparison of two types of arch structures was made.

**Keywords:** the long-span arched coverage, concrete pipe arch of solid section, concrete pipe arch of through section, general stability, coefficient of supply of stability, form of loss of stability, steel pipe, concrete kernel.

### Цель публикации

В данной работе представлены теоретические расчеты, выполненные для определения формы потери устойчивости и коэффициента запаса устойчивости большепролетной трубобетонной арочной конструкции.

Трубобетонные конструкции надежны в эксплуатации. В предельном состоянии они не теряют несущую способность мгновенно, как железобетонные, а длительное время могут выдерживать нагрузку при значительном развитии деформаций. Конструкции из трубобетона обладают высокой несущей способностью и являются менее материалоемкими по сравнению с конструкциями из стали и бетона в отдельности.

### Объект исследования

Трубобетонное арочное покрытие стадиона «Кальмиус-Арена» с размерами в плане 104,3 × 87,8 м. Арочные конструкции опираются на опорный бетонный контур. Пространственная жесткость покрытия обеспечена системами связей и прогонов.

Схемы исследуемого объекта представлены на рисунках 1–5.

### Анализ проведенных исследований

Анализ литературы по данной теме показал, что на сегодняшний день вопрос, связанный с применением трубобетонных конструкций, остается актуальным. Значительный вклад в развитие трубобетонных конструкций внесли такие ученые как Р. С. Санжаровский [1–3], В. А. Росновский, А. И. Кикин [4], В. А. Трулль [5], А. А. Гвоздев и др.

Несмотря на то, что в научной литературе имеется большое разнообразие публикаций по данной тематике, все конструкции из трубобетона пока не нашли широкого практического применения в строительстве в странах СНГ.

### Инженерная методика расчета трубобетонных элементов

При расчете гибких внецентренно сжатых трубобетонных элементов (табл. 1, 2) в первую очередь определяют относительный эксцентриситет продольной силы  $N$ :

$$e_{red} = \frac{2 \cdot e_0}{d \cdot \left(0,5 - \frac{0,25}{1 + \mu_{pb} \cdot \frac{\psi}{\chi}}\right)}, \quad (1)$$

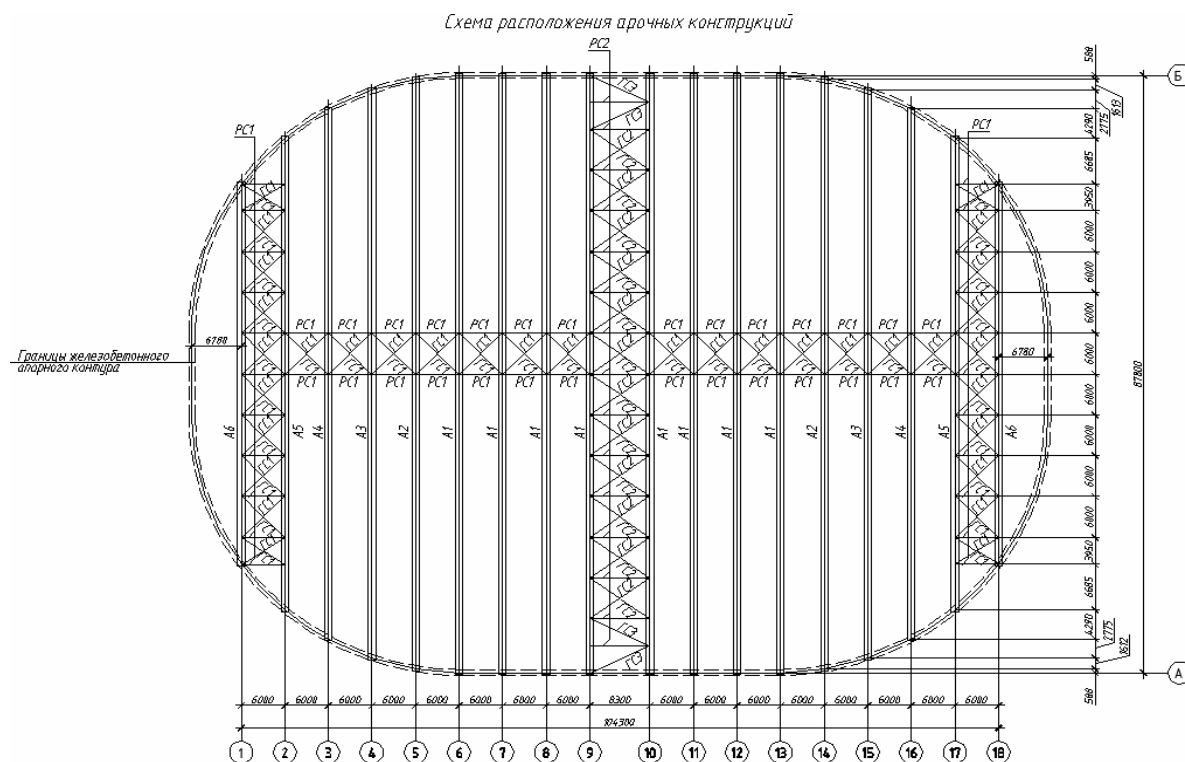


Рисунок 1. Схема расположения арочных конструкций.

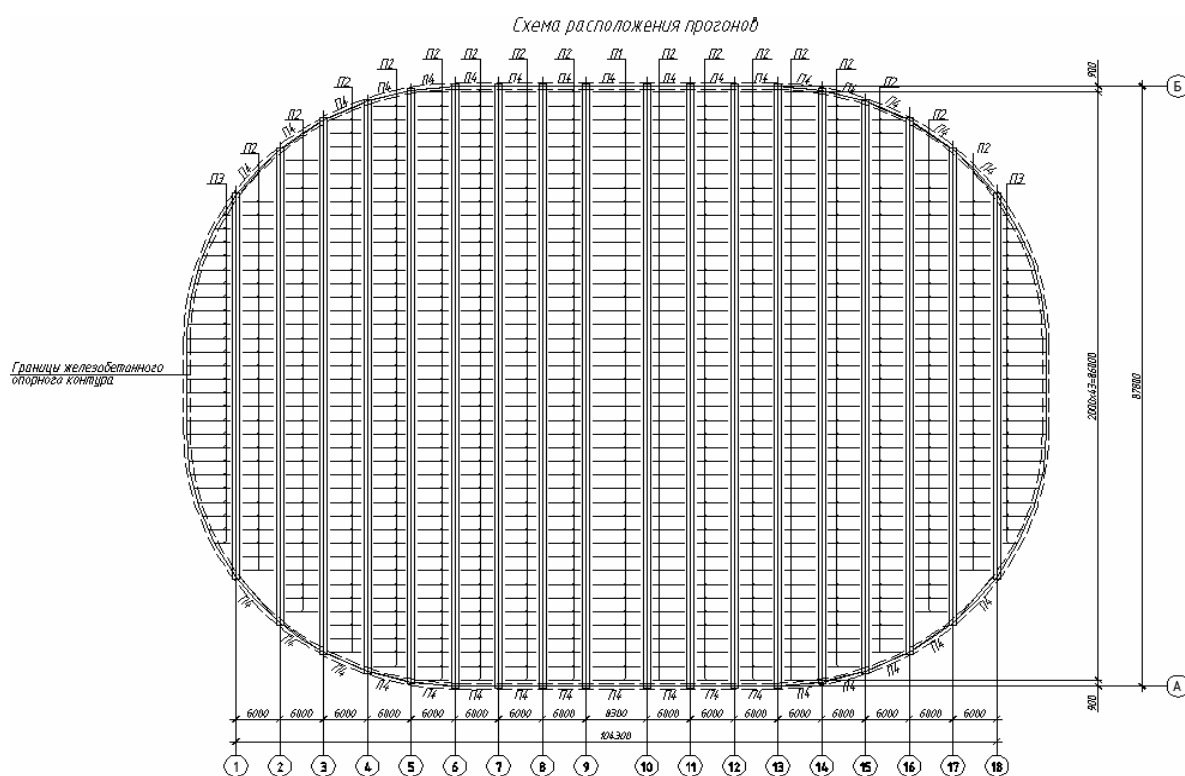


Рисунок 2. Схема расположения прогонов.

Геометрическая схема трубобетонной арки сплошного сечения А1

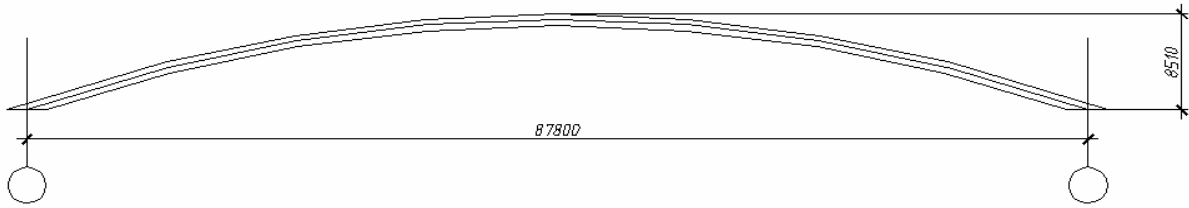


Рисунок 3. Геометрическая схема трубобетонной арки сплошного сечения А1.

Геометрическая схема трубобетонной арочной фермы

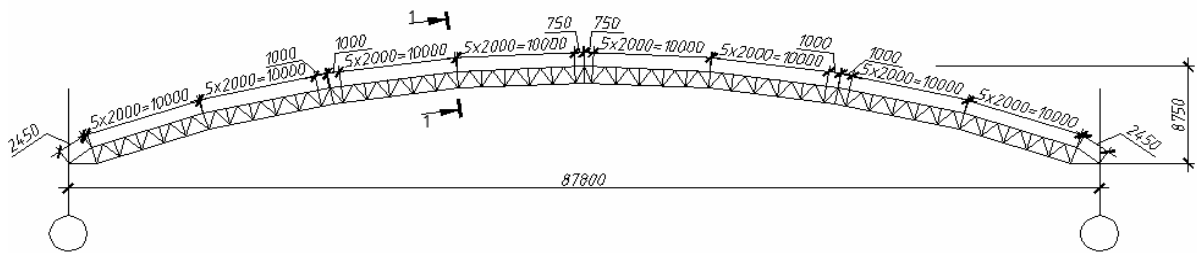


Рисунок 4. Геометрическая схема трубобетонной арки сквозного сечения А1.

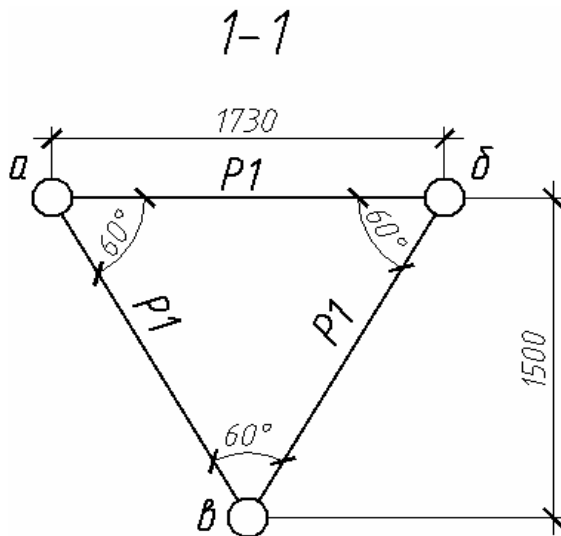


Рисунок 5. Вид поперечного сечения трубобетонной сквозной арки.

где  $e_0 = \frac{M}{N} + e_{случ}$  или  $e_0 = \frac{M}{N}$  – эксцентриситет продольного усилия  $N$  относительно центра тяжести сечения;

$M$  – расчетный изгибаемый момент в элементе;

$d = D - 2 \cdot t$  – внутренний диаметр трубы (диаметр бетонного ядра);

$\mu_{pb} = (D/d)^2 - 1$  – коэффициент армирования трубобетона;

$\psi$  и  $\chi$  – коэффициенты, учитывающие соотношение механических характеристик бетона и стали в предельном состоянии, определяемые по таблице 3.

Если относительный эксцентриситет  $e_{red} \leq 0,1$ , несущая способность трубобетонного элемента определяется из условия:

$$N \leq \varphi \cdot N_{red}, \quad (2)$$

где  $N$  – продольная сжимающая сила в трубобетонном элементе от внешних нагрузок;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба, зависящий от приведенной гибкости  $\lambda_{red}$ , и определяется по таблице 4 (промежуточные значения коэффициентов  $\varphi$  определяются линейной интерполяцией).

$$\lambda_{red} = \frac{2 \cdot l_p}{\sqrt{0,5 - \frac{0,25}{1 + \mu_{pb} \cdot \frac{\psi}{\chi}}}}, \quad (3)$$

Таблица 1. Ведомость элементов на конструкции покрытия

Ведомость элементов на конструкции покрытия								
Марка	Эскиз	Поз	Состав	Опорные усилия			Сталь	Примеч.
				M, кН*м	R, кН	N, кН		
А1..А6		1	тр. Ø 1020x8	-	-	-	C245	
		2	ядро Ø 1004 мм.	-	-	-		B25
ГС1			тр. Ø 219x6	-	-	-	C245	
ГС2			тр. Ø 219x6	-	-	-	C245	
ГС3			тр. Ø 219x6	-	-	-	C245	
РС1			тр. Ø 219x6	-	-	-	C245	
РС2			тр. Ø 219x6	-	-	-	C245	
П1			□ гн. 160x120x8	-	-	-	C245	
П2			□ гн. 160x120x8	-	-	-	C245	
П3			□ гн. 160x120x8	-	-	-	C245	
П4			□ гн. 160x120x8	-	-	-	C245	

Таблица 2. Ведомость элементов на конструкции покрытия

Ведомость элементов на трубобетонную арочную ферму								
Марка	Эскиз	Поз	Состав	Опорные усилия			Сталь	Примеч.
				M, кН*м	R, кН	N, кН		
а		1	тр. Ø 177,8x6	-	-	-	C245	
		2	ядро Ø 162,8 мм.	-	-	-		B25
б		1	тр. Ø 177,8x6	-	-	-	C245	
		2	ядро Ø 162,8 мм.	-	-	-		B25
в		1	тр. Ø 177,8x6	-	-	-	C245	
		2	ядро Ø 162,8 мм.	-	-	-		B25
Р1			тр. Ø 50x5	-	-	-	C245	

Таблица 3. Значение коэффициентов  $\psi$  и  $\chi$ 

Коэффициенты	Класс бетона							
	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45
$\chi$	0,095	0,100	0,142	0,159	0,177	0,193	0,208	0,225
$\psi$	1,47	1,46	1,43	1,40	1,37	1,30	1,23	1,19

Таблица 4. Значения коэффициента продольного изгиба  $\varphi$ 

$\lambda_{red}$	Ф для класса бетона		$\lambda_{red}$	Ф для класса бетона	
	B20	B45		B20	B45
10	0,968	0,988	70	0,728	0,800
20	0,963	0,974	80	0,654	0,731
30	0,931	0,950	90	0,591	0,663
40	0,888	0,922	100	0,527	0,588
50	0,850	0,893	110	0,461	0,518
60	0,791	0,852	120	0,400	0,450

где  $l_p = \mu \cdot l_{geom}$  – расчетная длина элемента;

$N_{red} = \gamma_b \cdot (R_b^* \cdot A_b + \gamma_{s2} \cdot R_y \cdot A_{st})$  – несущая способность трубобетонного элемента при центральном сжатии;

$\gamma_{bs} = 1,1$  – коэффициент условий работы бетона и трубы;

$R_b^*$  – расчетное сопротивление бетона сжатию в трубобетоне;

$A_b$  – площадь сечения бетонного ядра;

$\gamma_{s2} = 0,9$  – коэффициент условий работы стали трубы, учитывающий снижение расчетного сопротивления стали при сложном напряженном состоянии;

$R_y$  – расчетное сопротивление стали трубы;

$A_{st}$  – площадь сечения стальной трубы.

Если относительный эксцентриситет  $e_{red} \geq 0,1$ , несущая способность трубобетонного элемента определяется из условия:

$$N \leq \varphi_e \cdot N_{red}, \quad (4)$$

где  $N$  – продольная сжимающая сила в трубобетонном элементе от внешних нагрузок;

$\varphi_e$  – коэффициент продольного изгиба, зависящий от условной гибкости и относительного эксцентриситета.

$$\lambda_{ef} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}};$$

$$\lambda = \frac{l_p}{i_{red}} \text{ – гибкость элемента;}$$

$l_p = \mu \cdot l_{geom}$  – расчетная длина элемента;

$i_{red} = \sqrt{\frac{I_{red}}{A_{red}}}$  – приведенный к стали радиус инерции поперечного сечения элемента;

$I_{red} = I_{st} + \frac{I_b}{n_R}$  – приведенный к стали момент инерции сечения;

$I_{st}$  – момент инерции сечения трубы;

$I_b = \frac{\pi d^4}{64}$  – момент инерции сечения бетонного ядра;

$n_R = \frac{R_y}{R_b}$  – соотношения расчетных сопротивлений стали и бетона сжатию;

$A_{red} = A_{st} + \frac{\pi d^2}{4 \cdot n_R}$  – приведенная к стали площадь сечения трубобетонного элемента, равная сумме площадей стальной трубы и бетонного ядра, приведенного к стали.

Приведенный относительный эксцентриситет определяется:

$$m_{ef} = \eta \cdot m_x, \quad (5)$$

где  $\eta$  – коэффициент влияния формы элемента, определяемый по [7];

$m_x = \frac{e_0 \cdot A_{red}}{W_{c,red}}$  – относительный эксцентриситет;

$e_0 = \frac{M}{N} + e_{сгуч}$  или  $e_0 = \frac{M}{N}$  – эксцентриситет продольного усилия  $N$  относительно центра тяжести сечения;

$W_{c,red} = \frac{2 \cdot I_{red}}{D}$  – приведенный к стали момент сопротивления наиболее сжатого волокна сечения элемента.

Критическая сила потери устойчивости арки в ее плоскости от действия осевых сил рассчитывается по формуле:

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot EI_x}{(\mu \cdot S)^2}, \quad (6)$$

где  $E$  – модуль упругости;

$I_x$  – момент инерции сечения;

$S$  – длина полуарки;

$\mu$  – коэффициент расчетной длины.

Коэффициент запаса устойчивости:

$$n = \frac{N_{кр}}{N \geq 1,5}. \quad (7)$$

### Необходимость расчета на ЭВМ

Определение коэффициента запаса устойчивости и форм потери устойчивости довольно сложно описать существующими методиками, ориентированными на аналитический расчет. Для решения таких задач зачастую применяются численные исследования с использованием современных программно-вычислительных комплексов, которые реализуют метод конечных элементов (МКЭ). В данной работе проводились численные исследования общей устойчивости с использованием ПК ЛИРА-САПР 2013.

### Определение расчетной схемы

Статический расчет моделей арок (рис. 6) выполнялся с использованием программных комплексов ЛИРА-САПР 2013 при упругой работе материала. Расчетными схемами являлись плоская стержневая (рис. 7), пространственная система покрытия из стержневых элементов (рис. 8). Описание жесткостных параметров моделей арок и КЭ приводится в таблицах 5–7.

Опорные закрепления всех исследуемых моделей назначались следующим образом:

- по концам арочных конструкций запрещались линейные перемещения вдоль общей системы координат по направлениям X, Y, Z, которые моделируют шарнирно неподвижную опору (неподвижный балансир);

- в местах примыкания связей и прогонов запрещалось перемещение вдоль оси Y, которые моделируют неподвижность балки в данных узлах из ее плоскости.

### Определение нагрузок на расчетную модель

При моделировании расчетной схемы учитывались следующие нагрузки:

1. Постоянная от собственного веса металлических и трубобетонных конструкций.
2. Постоянная нагрузка от покрытия.
3. Постоянная нагрузка от веса «медиа куба».
4. Снеговая нагрузка распределенная по «сину-соиде».
5. Снеговая нагрузка распределенная по «треугольнику».
6. Ветровая нагрузка.

Сбор нагрузок производился по [8].

Для расчета устойчивости арочного покрытия были составлены расчетные сочетания нагрузок (РСН) (таблица 8).

По результатам расчета было определено, что РСН №1 является наиболее неблагоприятным для наших конструкций, т. к. коэффициент запаса устойчивости меньше.

### Анализ процесса потери устойчивости

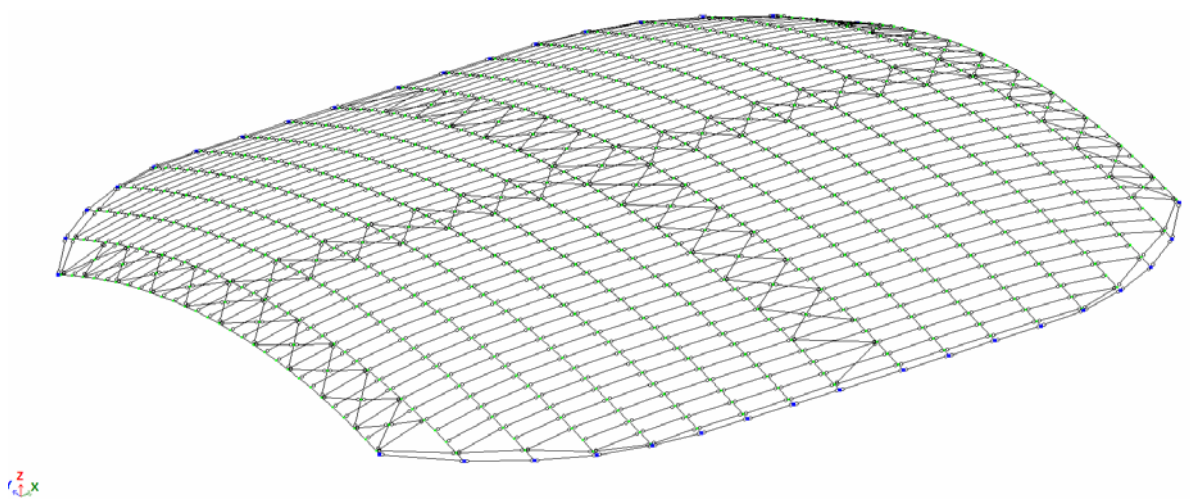
Для расчетных моделей производился численный расчет на общую устойчивость по расчетному сочетанию нагрузок № 1.

Анализ общей устойчивости плоской стержневой модели трубобетонной арки сплошного сечения производился только с концевыми опорными закреплениями (без дополнительных закреплений балки из ее плоскости вдоль пролета) и расчетной длиной сжатого пояса, равной произведению полулуги арки и коэффициента расчетной длины  $l_p = 46,2$  м.

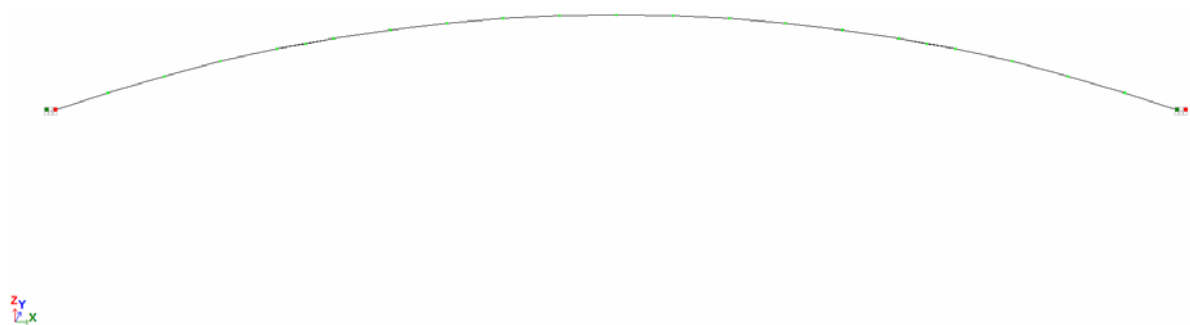
Анализ общей устойчивости пространственных стержневых моделей трубобетонной арки сквозного сечения производился с концевыми опорными закреплениями и связями, запрещающими перемещение по оси Y в местах примыкания прогонов и связей.

Суть расчета на общую устойчивость заключается в определении:

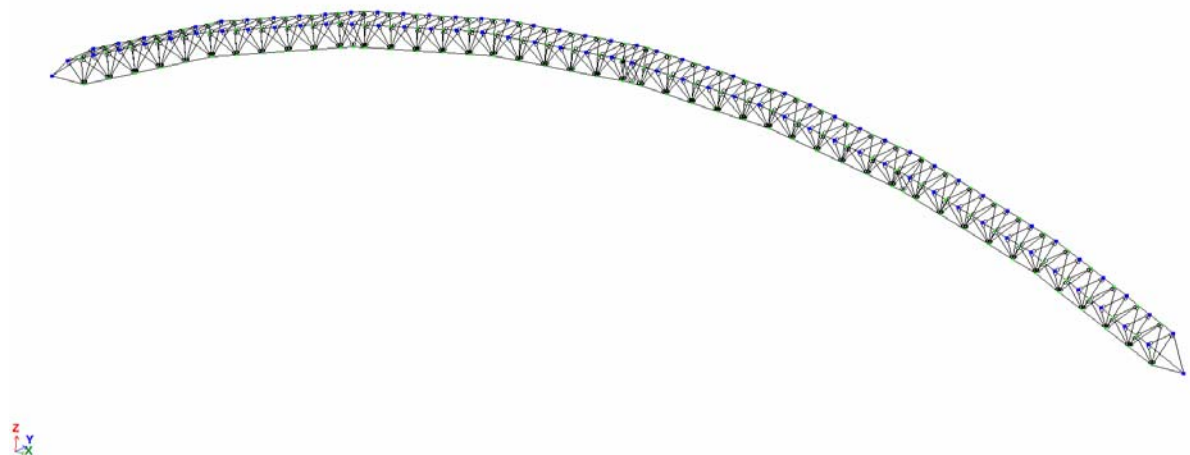
- первой формы потери устойчивости при упругих деформациях стали;



**Рисунок 6.** Расчетная модель арочного покрытия. Количество узлов в расчетной схеме составляло 824 шт., элементов 1 695 шт.



**Рисунок 7.** Расчетная модель трубобетонной арочной конструкции сплошного сечения. Количество узлов в расчетной схеме составляло 23 шт., элементов 24 шт.



**Рисунок 8.** Расчетная модель сквозной трубобетонной арочной конструкции. Количество узлов в расчетной схеме составляло 223 шт., элементов 577 шт.



**Таблица 5.** Элементы компьютерных моделей арки сплошного сечения из трубобетонного в ЛИРА-САПР 2013

№ типа жесткости в расчетной модели	Описание конечного элемента (КЭ)	Элемент конструкции
1	10 – универсальный пространственный	Трубобетонная арка Ø1020×8

**Таблица 6.** Элементы компьютерных моделей арки сквозного сечения из трубобетона в ЛИРА-САПР 2013

№ типа жесткости в расчетной модели	Описание конечного элемента (КЭ)	Элемент конструкции
1	10 – универсальный пространственный	Пояса фермы из трубобетона Ø177,8×6
2	10 – универсальный пространственный	Раскосы из трубы Ø50×5

**Таблица 7.** Элементы компьютерных моделей трубобетонного арочного покрытия из арок сплошного сечения в ЛИРА-САПР 2013

№ типа жесткости в расчетной модели	Описание конечного элемента (КЭ)	Элемент конструкции
1	4 – пространственные фермы	Связи – профиль «Молодечно» сечением 160×120×8
2	4 – пространственные фермы	Прогоны – труба сечением Ø219×8
3	10 – универсальный пространственный	Арки трубобетонного сечения Ø1020×8

**Таблица 8.** Расчетные сочетания нагрузок для расчета устойчивости

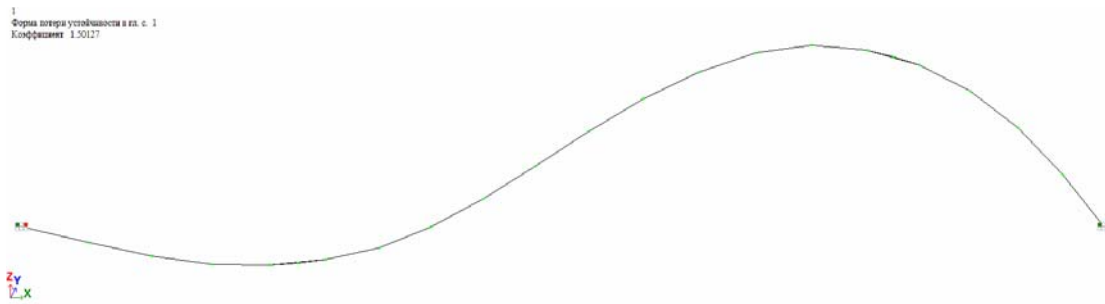
РСН №1	
1.	Постоянная от собственного веса металлических и трубобетонных конструкций
2.	Постоянная нагрузка от покрытия
3.	Постоянная нагрузка от веса «медиа куба»
4.	Снеговая нагрузка по «синусоиде»
РСН №2	
1.	Постоянная от собственного веса металлических и трубобетонных конструкций
2.	Постоянная нагрузка от покрытия
3.	Постоянная нагрузка от веса «медиа куба»
4.	Снеговая нагрузка по «треугольнику»

Примечание: ветровая нагрузка в РСН не учитывалась, т. к. она разгружает данную конструкцию.

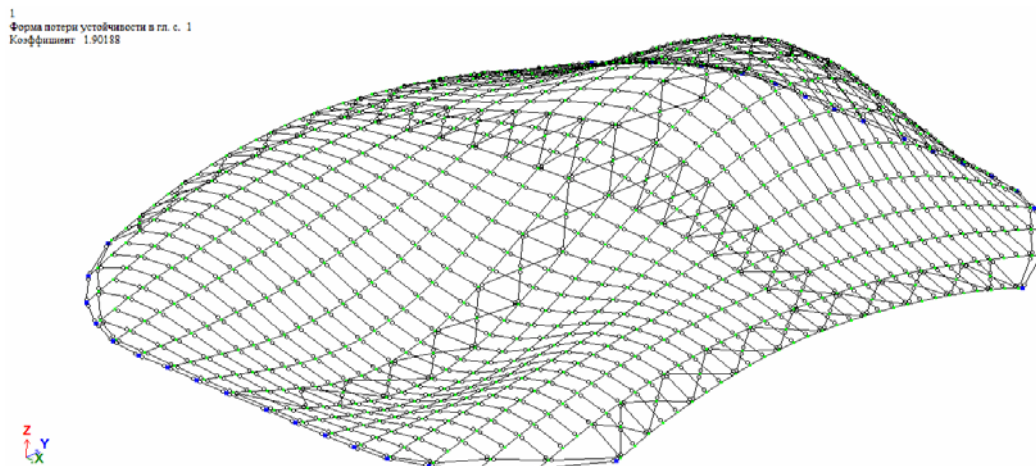
– коэффициента запаса устойчивости  $K_z$ , физический смысл которого заключается в необходимости увеличения действующей нагрузки на рассматриваемую модель в такое количество раз, чтобы произошла потеря устойчивости элемента.

## Выводы

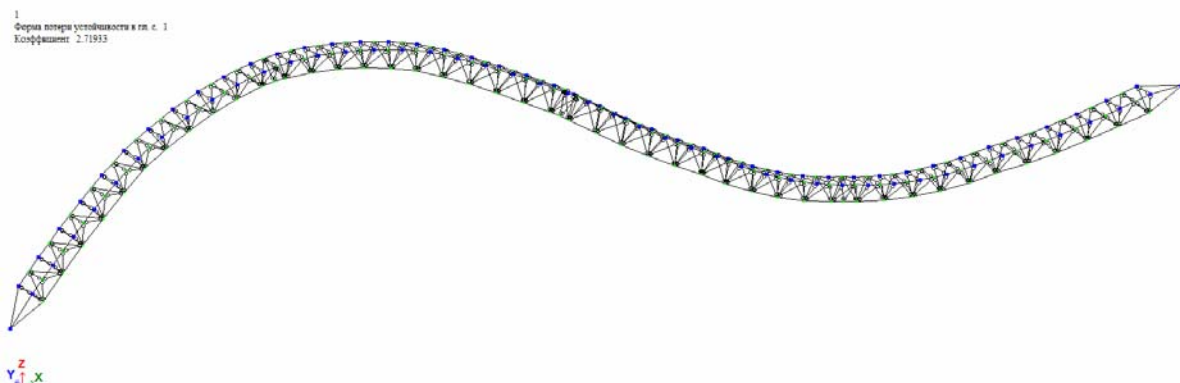
1. Для всех расчетных моделей РСН № 1 является наиболее неблагоприятным, так как в данном случае коэффициент запаса устойчивости является наименьшим.
2. Для трубобетонной арки сплошного сечения Ø1020×8 была создана расчетная модель и произведен расчет общей устойчивости, была получена первая форма потери устойчивости (рисунок 9) и коэффициент запаса устойчивости в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013, при этом форма потери устойчивости соответствует нормативной, а  $K_z = 1,5 \geq 1,5$  удовлетворяет условию.
3. Был произведен анализ общей устойчивости модели трубобетонного арочного покрытия Ø1020×8 с учетом раскрепления связями и прогонами, в результате исследования была получена первая форма потери устойчивости (рисунок 10) и коэффициент запаса устойчивости  $K_z = 1,9 > 1,5$ . По результатам сравнения коэффициента запаса устойчивости трубобетонной арки и трубобетонного арочного покрытия можно сделать вывод, что в совокупности со связями и прогонами арочная конструкция является устойчивее, а разница коэффициента запаса составляет 21 %.
4. Для трубобетонной арки сквозного сечения, была получена первая форма потери устойчивости (рисунок 11) и коэффициент запаса устойчивости  $K_z = 2,71 > 1,5$ , что на 44,5 % превышает минимальное допустимое значение.
5. Анализ экономической эффективности трубобетонной арки сплошного сечения и трубобетонной арки сквозного сечения, показал преимущества трубобетонной арки сквозного сечения над аркой сплошного сечения на 32,75 %.



**Рисунок 9.** Первая форма потери устойчивости трубобетонной арки сплошного сечения  $\varnothing 1020 \times 8$  мм, плоская стержневая модель ( $K_s = 1,5$ ).



**Рисунок 10.** Первая форма потери устойчивости трубобетонного арочного покрытия из арок сплошного сечения  $\varnothing 1020 \times 8$  мм, пространственная стержневая модель ( $K_s = 1,9$ ).



**Рисунок 11.** Первая форма потери устойчивости трубобетонной арочной конструкции сквозного сечения, пространственная стержневая модель ( $K_s = 2,71$ ).

## Литература

1. Санжаровский, Р. С. О критериях потери устойчивости и методах исследования работы сжатых стержней в условиях ползучести / Р. С. Санжаровский ; Ленингр. инженерно-строит. ин-т. // Исследования по строительным конструкциям. – Л., 1972. – С. 15–33.
2. Санжаровский, Р. С. О критериях прочности и устойчивости сжатых трубобетонных стержней / Р. С. Санжаровский ; Ленингр. инженерно-строит. ин-т // Механика стержневых систем и сплошных сред. 1971. № 68. С. 169–175.
3. Санжаровский, Р. С. Трубобетонные конструкции в строительстве / Р. С. Санжаровский // Промышленное строительство. 1979. №5. С. 22–23.
4. Кикин, А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труль. – М. : Стройиздат, 1974. – 144 с.
5. Труль, В. А. Экспериментальные исследования несущей способности трубы, заполненной бетоном / В. А. Труль, Р. С. Санжаровский // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1968. № 3. С. 27–30.
6. Металлические конструкции. Общий курс : учебник для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др. ; под общ. ред. Е. И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 560 с.
7. ДБН В.2.6-163:2010 Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / УКРНДІ-ПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦІЯ ім. В. М. Шимановського. – Чинні з 01.12.2011. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 165 с.
8. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия / Государственные строительные нормы Украины. – Издание официальное. – К. : Минстрой Украины, 2006. – 78 с.
9. Стороженко, Л. И. Расчет трубобетонных конструкций / Л. И. Стороженко, П. И. Плахотный, А. Я. Черный. – Киев : Будівельник, 1991. – 120 с.
10. Ставров, Г. Н. Прочность и жесткость изгибаемых и сжато-изогнутых трубобетонных элементов / Г. Н. Ставров, А. П. Васильев // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1984. №4. С. 1–4.
11. Кусябгалиев, С. Г. Исследование некоторых вопросов несущей способности стальных труб, заполненных бетоном, при кратковременном и длительном нагружении : дисс. ... канд. техн. наук / С. Г. Кусябгалиев. – Л., 1971. – 142 с.
12. Gong, C.-J. Application of concrete-filled steel tubular columns in tall buildings in earthquake area / C.-J. Gong, X. Lin, S.-H. Cai // Structures Congress XII. Proceedings of the ASCE Structures Congress 94, Atlanta, GA. 1994. Vol. 1. P. 146–151.
13. Johnson, R. S. Concrete-Filled Steel Tubes / R. S. Johnson // Composite Structures of steel and Concrete 1984. Vol. 1. Chapter 5. P. 171–177.

## References

1. Sangarovsky, R. S. On the criteria of buckling, and methods of investigation of compressed rods under creeping conditions. In: *Research on engineering structures*, 1972, pp. 15–33.
2. Sanzharovsky, R. S. On the criteria of strength and stability of compressed concrete-filled steel tube rods. In: *Mechanics of rod systems and continuum*, 1971, № 68, pp. 169–175.
3. Sangarovsky, R. S. Concrete-filled steel tube in construction. In: *Industrial construction*, 1979, №5, pp. 22–23.
4. Kikin, A. I.; Sangarovsky, R. S.; Trull, V. A. Construction of steel pipes filled with concrete. Moscow: Sroizdat, 1974. 144 p.
5. Trull, V. A.; Sangarovsky, R. S. Experimental studies of the bearing capacity of a pipe filled with concrete. In: *News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture*, 1968, № 3, pp. 27–30.
6. Belinia, E. I.; Baldin, V. A.; Vedernikov, G. S. and others. Steel structures. General course: textbook for universities. Under the General editorship of E. I. Belinia. 6th ed. Moscow: Sroizdat, 1986. 560 p.
7. DBN 2.6-163:2010 Steel structures. Design, manufacturing and installation standards. Kiyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 165 p.
8. DBN V. 1.2-2:2006. Loads and impacts. The official publication. Kiyiv: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. 78 p.
9. Storozhenko, L. I.; Plakhotny, P. I.; Cherniy, A. Ya. Calculation of concrete-filled steel tube construction. Kiyiv: Budivelnik, 1991. 120 p.
10. Stavrov, G. N.; Vasil'ev, A. P. Strength and bending stiffness, and compressed-bent of concrete-filled steel tube elements. In: *News of Higher Educational Institutions. Construction and architecture*, 1984, №4, pp. 1–4.
11. Kusiabgaliev, S. G. The investigation of certain problems of bearing capacity of steel tubes filled with concrete under short-term and long-term load cases: Ph.D. thesis in Engineering Science. Leningrad, 1971. 142 p.
12. Gong, C.-J.; Lin, X.; Cai, S.-H. Application of concrete-filled steel tubular columns in tall buildings in earthquake area. In: *Structures Congress XII. Proceedings of the ASCE Structures Congress 94*, Atlanta, GA 1994, Vol. 1, pp. 146–151.
13. Johnson, R. S. Concrete-Filled Steel Tubes. In: *Composite Structures of Steel and Concrete*, 1984, Vol. 1, Chapter 5, pp. 171–177.
14. Cai, S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Communication Press China, 2003. 358 p.
15. Cai, S.-H.; Jiao, Z.-S. Ultimate strength of concrete-filled steel tube columns: experiment, analysis and design. In: *Institute of structures China Academy of Building Research Beijing*, 1983, No. 1, pp. 56–69.
16. Kotsovos, M. D. A mathematical model of the deformational behavior of concrete under generalized

14. Cai, S.-H. Modern Street Tube Confined Concrete Structures / S.-H. Cai. – Communication Press China, 2003. – 358 p.
15. Cai, S.-H. Ultimate strength of concrete-filled steel tube columns: experiment, analysis and design / S.-H. Cai, Z.-S. Jiao // Institute of structures China Academy of Building Research Beijing. 1983. No. 1. P. 56–69.
16. Kotsovos, M. D. A mathematical model of the deformational behavior of concrete under generalized stresses based of fundamental material properties / M. D. Kotsovos // Material of construction. 1980. Issue 13. P. 289–297.

stresses based of fundamental material properties. In: *Material of construction*, 1980, Issue 13, pp. 289–297.

**Миронов Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: усталостная прочность металлических конструкций, концентрация напряжений в узлах ферм с применением широкополочных двутавров и гнутосварных замкнутых профилей, напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных конструкций, в том числе трубобетонных конструкций.

**Васькевич Максим Олегович** – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование общей устойчивости большепролетных трубобетонных арочных конструкций.

**Журавлев Владислав Валериевич** – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: напряженно-деформированное состояние несущих конструкций в сложных горно-геологических условиях.

**Миронов Андрій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: втомлена міцність металевих конструкцій, концентрація напружень в вузлах ферм із застосуванням широко полочкових двотаврів та гнуто-зварних замкнених профілів, напружено-деформований стан сталезалізобетонних конструкцій, у тому числі трубобетонних конструкцій.

**Васькевич Максим Олегович** – магістрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження загальної стійкості великопрольотних трубобетонних аркових конструкцій.

**Журавльов Владислав Валерійович** – магістрант кафедри металевих конструкцій та споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: напружено-деформований стан несучих конструкцій в складних гірничо-геологічних умовах.

**Mironov Andrei** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fatigue strength of metal structures, concentration of stresses in the nodes of trusses with the use of wide-frangles I-beams and roll-welded closed profiles, stress-strain state of composite structures including pipe-concrete structures.

**Vaskevych Maxim** – Master's degree student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study of the General stability of large-span pipe-concrete arch structures.

**Zhuravlev Vladislav** – Master's degree student, Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: stress-strain state of bearing structures in complex geological conditions.