

ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ АРОК ТА СКЛЕПІНЬ В ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУДАХ

В.Г.Коломійчук, Т.С.Молдованенко, *студенти гр. КПЦБ-425*

Науковий керівник - к.т.н., доц. Коломійчук Г.П.,

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Виконано огляд сучасних робіт по застосуванню ефективних арок та склепінь в інженерних спорудах. Наведено результати їх розрахунків з використанням програмних комплексів. Показано приклади практичного використання ефективних арок та склепінь.

На Україні існує потреба у зведенні великої кількості малих і середніх мостів, а також водопропускних труб для розвитку сучасних автомобільних доріг з підвищеними вимогами якості. Перспективним видається більш широке застосування при будівництві малих і середніх мостів, а також водопропускних труб ґрунтозасипних споруд, з прогінними будовами у вигляді тонкостінних залізобетонних склепінь [1-9].

При розрахунку водопропускних труб враховується три схеми навантаження: дія постійного навантаження від тиску масиву вищерозташованого ґрунту автодорожного насипу; постійне навантаження разом з тимчасово розподіленим навантаженням від транспорту, прикладним симетрично по ширині водопропускної труби; постійне навантаження разом з тимчасовим на половині ширини водопропускної труби.

В роботі [3] проаналізовані результати розрахунків для варіантів, еквівалентних за водопропускною площею круглій водопропускній трубі діаметром 1 м. При дослідженні варіювався параметр $x_1 = a/b$ - співвідношення осей напівеліптичної арки. Розрахунки напружено-деформованого стану елементів виконувалися методом кінцевих елементів за допомогою програмного комплексу «Ліра 9.4». При $x_1 = a/b = 1$ напівеліптична арка «вироджується» у півкільце, отже напівкругла водопропускна труба є окремим випадком напівеліптичної водопропускної труби. При варіюванні співвідношенням півосей арки $x_1 = a/b$ прийнята умова рівності площі водопропускного отвору напівеліптичної та круглій водопропускних труб:

$$A_{HE} = A_{Kd} = \pi \cdot a \cdot b / 4 = \pi \cdot d^2 / 4 = \text{const}, \quad (1)$$

де A_{Kd} - площа водопропускного отвору, що відповідає круглій водопропускній трубі з внутрішнім діаметром d . Геометричні параметри варіантів розрахункових схем арок для напівеліптичної водопропускної

труби $A_{HE} = 0,785 \text{ м}^2$, еквівалентних круглій водопропускній трубі діаметром $d = 1 \text{ м}$, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Конструктивно-технологічні параметри розрахункових схем

№ п.п.	$x_1 = a/b$	a, м	b, м	$A_{HE}, \text{ м}^2$	$\Delta A_{HE}, \%$	Довжина дуги l, м	l/l_{HK}
1	К-ВІПТ, $d=1\text{м}$	-	-	0,785	-	-	-
2	1,00	0,71	0,71	0,791	0,8	2,25	1,00
3	0,80	0,63	0,79	0,781	0,5	2,25	1,00
4	0,75	0,62	0,82	0,798	1,6	2,25	1,00
5	0,70	0,59	0,85	0,787	0,3	2,25	1,00
6	0,65	0,57	0,88	0,788	0,4	2,30	1,01
7	0,60	0,55	0,91	0,786	0,1	2,30	1,01
8	0,55	0,52	0,95	0,776	1,2	2,30	1,01
9	0,50	0,50	1,00	0,785	0,0	2,35	1,05
10	0,40	0,45	1,12	0,791	0,8	2,45	1,10

Розрахунок напружено-деформованого стану напівеліптичної арки виконується для 1 п.м. труби. З метою порівняння та аналізу отриманих результатів, крім напівеліптичної арки, виконано розрахунок круглій водопропускній труби діаметром $d = 1 \text{ м}$. Результати розрахунку напів-еліптичних арок зведені в таблицю 2.

Таблиця 2. Результати розрахунку зусиль в арці


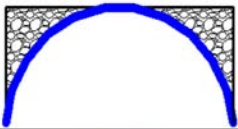
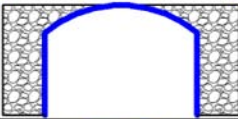

$x_1 = a/b$	1,00	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,40
Висота насипу 6,0 м									
N, кН	169,51	146,72	143,06	135,78	130,88	125,96	118,81	114,04	102,16
M, кН·м	8,44	5,86	5,43	4,59	4,00	3,45	2,68	2,18	3,76
Q, кН	45,46	30,05	26,44	22,22	18,96	16,19	12,67	10,37	17,79
Висота насипу 3,0 м									
N, кН	95,67	82,80	80,81	76,66	73,93	71,19	67,17	64,48	57,70
M, кН·м	5,31	4,14	4,01	3,67	3,48	3,32	3,13	3,54	4,88
Q, кН	25,25	17,68	16,01	14,03	13,80	14,70	14,59	15,52	19,06
Висота насипу 1,5 м									
N, кН	141,64	110,69	108,20	102,62	98,93	95,32	89,90	86,28	77,20
M, кН·м	10,39	9,00	8,93	8,90	8,95	9,12	9,72	10,63	13,13
Q, кН	38,80	38,37	38,73	39,41	40,39	42,07	43,16	45,85	54,69


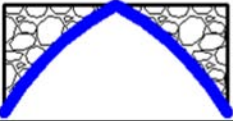
Альтернативою мостовим спорудам із залізобетонними склепіннями можна вважати влаштовані в насипах дорожні підземні споруди із металевих гофрованих конструкцій, які застосовуються для будівництва малих водопропускних та інших підземних споруд.

Грунтозасипні мостові споруди з листового гофрованого металу мають велику різноманітність перетинів, параметрів гофру, товщини металевих листів, що дозволяє виконати необхідні вимоги по несучій здатності, довжині прогонової будови, сприйняттю несприятливих кліматичних впливів і т.д. У нашій країні і за кордоном вони отримали широке поширення на автомобільних дорогах завдяки виразним архітектурним формам, простоті, коротким строкам зведення та суттєвій економічності.

Найбільш ефективна конструкція в якій розпір безшарнірного залізобетонного склепіння сприймається зворотним ґрунтовим насипом, засобами утримання насипу і стандартними елементами мостового полотна (бар'єрні та поручневі огорожі, опори освітлення, дорожнє покриття). Безшарнірна залізобетонна аркова пролітна будова може бути виконана з різним обрисом осі (таблиця 3) у вигляді плитної або посиленої ребрами плитно-ребристої конструкції.

Таблиця 3. Форми ґрунтозасипних мостів із залізобетонним склепінням

№ п/п	Форма	Ескіз	Проліт, м
1	Полога арка		15-25
2	Напівциркулярна арка, або кругова арка		3-45
3	Кругова плоска арка		3-12
4	Піднесена арка		3-15

№ п/п	Форма	Ескіз	Проліт, м
5	Підковообразна арка		6-16
6	Стрільчата арка		3-12

Результати зіставлення максимальних зусиль у характерних перетинах прогонової будови ґрунтозасипних мостових споруд, отримані з використанням лінійної і нелінійної розрахункових схем, для тимчасового навантаження на різних етапах навантаження верхнього шару ґрунтового масиву представлені в таблиці 4. У розрахунках розташування тимчасового навантаження над спорудою змінювалося. При цьому окремо виділялися позитивні і негативні згинальні моменти в характерних перетинах прогонової будови, так як знак зусилля важливий для армування верхніх або нижніх шарів залізобетонної плити. Позитивними вважалися згинальні моменти, що викликають в нижніх волокнах склепіння напруження розтягу.

Аналіз наведених за результатами розрахунків даних про максимальні зусилля у склепінні при різних рівнях статичного навантаження приводить до наступних висновків [4-5]:

1. Зусилля в несучому склепінні, отримані з використанням для засипки моделі Мора - Кулона, відрізняється від даних лінійного розрахунку. Згинальні моменти в конструкції зросли в порівнянні з лінійним розрахунком на 7 - 8%, а нормальні стискаючі зусилля зменшилися на 5,57 - 5,81%.

2. Переміщення в характерних перетинах несучого склепіння при нелінійному поданні розрахункової схеми в порівнянні з лінійної моделлю збільшуються у таких діапазонах: в 1/5 довжини прольоту - горизонтальні переміщення (U_x) від 10,47 до 17,49%, вертикальні переміщення (U_y) - від 40,18 до 98,96%; в «ключовому» перетині - U_x - від 24,03 до 31,03%, U_y - від 1,51 до 5,28%.

Отримані результати розрахунків досліджень постановки завдань свідчать про прийнятність обраних розрахункових схем і необхідності врахування нелінійних властивостей ґрунтового масиву для вирішення практичних задач розрахунку ґрунтозасипних мостових споруд та

отримання достовірних результатів при збільшенні надклепінної будови по висоті.

Таблиця 4. Порівняння результатів лінійного та нелінійного розрахунків

Етап	Інтенсивність тимчасового навантаження, кН/м	Максимальне зусилля	Розрахункова схема		Похибка в %	Розташування небезпечного перерізу
			Лінійна	Нелінійна		
1	50,85	+M, кНм	45,76	49,78	-8,08	(1/5)р
		- M, кНм	-92,14	-93,54	-1,50	(п'ята)
		N, кН	-665,97	-629,43	5,81	(п'ята)
2	75,85	+M, кНм	76,66	82,08	-6,51	(1/5)р
		- M, кНм	-142,69	-145,30	-1,78	(п'ята)
		N, кН	-741,18	-701,78	5,60	(п'ята)
3	100,85	+M, кНм	107,68	115,23	-6,63	(1/5)р
		- M, кНм	-193,24	-197,5	-2,16	(п'ята)
		N, кН	-816,38	-773,29	5,57	(п'ята)

У роботах [6-8] в якості конструктивної схеми малопролітних засипних мостів розглянуто два варіанти арок - двохшарнірна прольотом 4м і трьохшарнірна прольотом 6 м. З метою обґрунтування раціонального обриса аркових конструкцій в обох варіантах були розглянуті кругова і параболічна арки при зміні стріли підйому $f = 1,4 \dots 2,0$ м для двохшарнірної арки прольотом 4 м і $f = 1,6 \dots 3,0$ м - для трьохшарнірної арки прольотом 6 м.

Для дослідження напружено-деформованого стану ланок арок засипних мостів, що працюють у складі споруди в умовах плоскої деформації, був використаний програмний комплекс «Plaxis 8.2», що дозволяє моделювати фізико-механічні характеристики ґрунтів основи та насипу арок і реалізувати спільну роботу залізобетонних конструкцій з ґрунтом під дією навантажень від автотранспорту та власної ваги ґрунту. Розрахунки виконані для декількох типів ґрунтової основи аркових мостів при варіюванні висоти засипки з піщаного ґрунту $h = 1 - 6$ м і різному розташуванні рухомих навантажень НК-80, НК-100 в межах прольоту. Стосовно до арок прольотом 4 і 6 м розрахунки проведені для поперечного перерізу одиничної довжини $b \times h = 1,0 \times 0,25$ м (b і h - відповідно ширина і висота фрагменту перетину).

На рисунку 1 представлені номограми несучих здатностей $N_{\text{пер-}e_0}$ перетину арки $1,0 \times 0,25$ м, виконаної з сталевібробетону на основі

бетону-матриці класів міцності В30 і В40, для характерних типів фібри 1-4, 3' згідно наведеної класифікації при $\mu_{fv} = 0,015$.

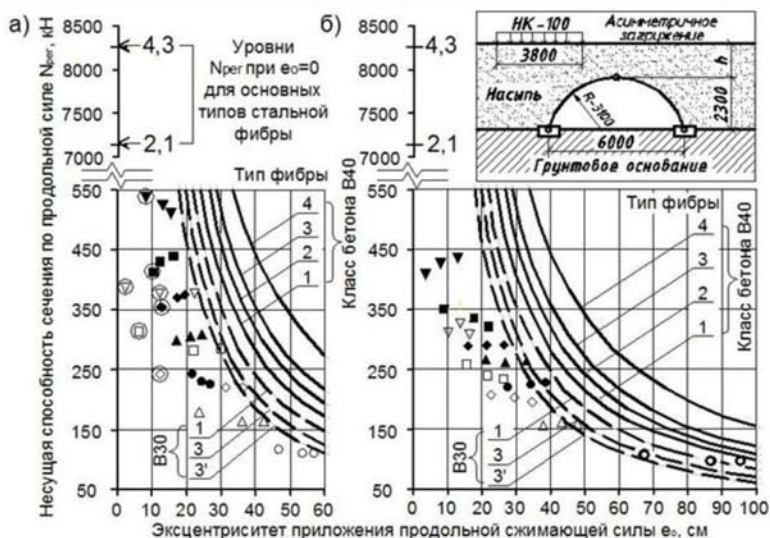


Рис. 1. Несуча здатність $N_{пер} - e_0$ сталевібробетонного перетину арки $1,0 \times 0,25$ м для бетону класів міцності В30, В40 і чотирьох типів фібри

Висновки

1. Наведені ефективні конструкції ґрунтозасипних аркових мостів та водопропускних труб, для різних прольотів з вирішенням архітектурної виразності.

2. Застосування сучасних програмних комплексів, розроблених з використанням числового методу кінцевих елементів, що можуть розглядати властивості матеріалів в нелінійній постановці, дозволяють наблизити числовий експеримент до реальної роботи конструкції в ґрунтовому середовищі.

3. Сталевібробетонні засипні аркові мости, в порівнянні з аналогічними конструкціями з стрижневим армуванням, дозволяють знизити витрати сталі, трудомісткість, а відповідно і собівартість, при забезпеченні надійності роботи конструкції.

1. Денисова, А.П. Проектирование и расчёт железобетонных водопропускных труб на автомобильных дорогах: Учебное пособие / А.П. Денисова, А.И. Овчинникова. - Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2003. - 138 с.

2. Клейн, Г.К. Расчёт безнапорных железобетонных труб / Г.К. Клейн, С.Б. Смирнов // Бетон и железобетон, 1973. - №5. - С. 40-42.

3. Захаров, Ф.Н. Конструктивный ряд водопропускных труб для автомобильных дорог / Ф.Н. Захаров, В. П. Валуйских // Сборник научных трудов SWord. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012». - Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. - С. 70-74.

4. Сафронов, В. С. Арочные железобетонные грунтозасыпные сооружения на автомобильных дорогах РФ. Конструктивная особенность, перспективы применения, расчетный анализ / В. С. Сафронов, В. В. Зазонов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию БНТУ, Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и подземных сооружений, часть 1, БНТУ.– Минск, 2010. – С. 361–367.

5. Сафронов, В.С. Влияние деформационных характеристик песчаной засыпки на напряженно-деформированное состояние грунтозасыпных мостов / В.С. Сафронов, В.В. Зазонов // Строительная механика и конструкции. – Воронеж, 2010. – Вып.1. – С. 16 – 20.

6. Бабков, В.В. Водопропускные трубы и малопролетные засыпные арочные мосты на основе сталефибробетона в автодорожном строительстве / В.В. Бабков, И.В. Недосеко, Р.Р. Сахибгареев, В.Н. Мохов, В.А. Ивлев, Р.Ш. Дистанов, Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец // Бетон и железобетон, 2009. - № 2. - С. 4 - 6.

7. Дистанов, Р.Ш. Силовое состояние трехшарнирных арок засыпных мостов пролетом 6 метров и возможности их изготовления в сталефибробетоне / Р.Ш. Дистанов, В.А. Ивлев, В.В. Бабков, Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, И.В. Недосеко // Проблемы строительного комплекса России: материалы XII Международ. науч. -техн. конф. при XII спец. выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство - 2008». - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2008, С. 89 - 93.

8. Бабков, В.В. Железобетонные конструкции для автодорожного строительства из сталефибробетона / В.В. Бабков, Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, И.В. Недосеко, В.Н. Мохов, Р.Ш. Дистанов, В.А. Ивлев // Строительные конструкции: Сборник научн. статей. - Вып. 73. - Уфа: БашНИИстрой, 2006. - С. 49 - 63.

9. Шапиро, Д.М. Теория и расчетные модели оснований и объектов геотехники / Д.М. Шапиро. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2012. – 164 с.