

## ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ РОЛИКОВИМИ ОПОРАМИ ДЮКЕРА ПРИ ЙОГО ПРОТЯГУВАННІ ЧЕРЕЗ ВОДНУ ПЕРЕШКОДУ

Т.Ф. Тутко, В.Б. Запужляк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727138,  
e-mail: snp@nimg.edu.ua

Дюкер, встановлений на роликових опорах на спусковій доріжці безпосередньо перед водною перешкодою з метою визначення відстані між його опорами, розглядався як багатопрогінна балка під дією рівномірно розподіленого навантаження по всій його довжині. Для розкриття статичної невизначеності такої балки використано рівняння трьох моментів, яке було застосовано при кількості її опор, починаючи від трьох до десяти включно. В результаті встановлено, що найбільший згинальний момент у такій балці при будь-якій кількості опор має місце на другій і передостанній опорах. Цей згинальний момент було прийнято для розрахунку максимально допустимої відстані між опорами дюкера. Крім того, виявилось що при кількості опор більше семи найбільший згинальний момент практично не змінюється. Розрахунок максимально допустимої відстані між опорами дюкера виконано для трубопроводів, зовнішні діаметри яких рівні 529, 720, 820 і 1220 мм при різних товщинах їх стінок. Отримані результати показали, що зі збільшенням товщини стінки трубопроводу дюкера збільшується допустима відстань між його опорами.

Ключові слова: дюкер, багатопрогінна балка, максимально допустима відстань між опорами, найбільший згинальний момент.

Дюкер, установленный на роликовых опорах на спусковой дорожке непосредственно перед водной преградой с целью определения расстояния между его опорами, рассматривался как многопролетная балка под действием равномерно распределенной по всей ее длине нагрузки. Для раскрытия статической неопределимости такой балки использовано уравнение трех моментов, которое было применено при количестве ее опор, от трех до десяти включительно. В результате установлено, что наибольший изгибающий момент в такой балке при произвольном количестве опор имеет место на второй и предпоследней опорах. Этот изгибающий момент был принят для расчета максимально допустимого расстояния между опорами дюкера. Кроме того, оказалось, что при количестве опор больше семи наибольший изгибающий момент практически не изменяется. Расчет максимально допустимого расстояния между опорами дюкера выполнен для трубопроводов с внешним диаметром 529, 720, 820, 1220 мм при различных толщинах их стенок. Полученные результаты показали, что при увеличении толщины стенки трубопровода дюкера увеличивается допустимое расстояние между его опорами.

Ключевые слова: дюкер, многопролетная балка, максимально допустимое расстояние между опорами, наибольший изгибающий момент.

The aqueducts, mounted on roller bearings in the trigger path just before water obstacle, to determine the distance between its supports, was regarded as the multispan beam under uniformly distributed load along its length. To reach the beam redundancy, the three-moment equation was used, with the number of supports, ranging from three to ten inclusive. The result revealed that the largest bending moment in such a beam with any number of supports occurs on the second and penultimate supports. This bending moment was taken to calculate the maximum distance between aqueduct supports. Besides, it turned out that the number of supports over seven, the largest bending moment remains unchanged. Calculation of the maximum allowable distance between aqueduct supports was performed for pipelines, with outer diameter of 529, 720, 820 and 1220 mm for different wall thickness. The results showed that increasing the aqueduct pipeline wall thickness increases allowable distance between its supports.

Keywords: aqueduct, multispan beam, the maximum allowable distance between supports, the largest bending moment.

До переходів відносяться ділянки магістральних трубопроводів, які перетинають природні або штучні перешкоди.

Залежно від конструктивної схеми, способу спорудження, положення трубопроводу відносно поверхні землі переходи через природні та штучні перешкоди поділяються на наступні групи: підводні переходи, надземні переходи, підземні переходи. Існує багато способів прокладання трубопроводів через природні і штучні перешкоди та конструкцій таких переходів. Вибір способу (або конструкції) в кожному конкретному випадку повинен ґрунтуватися на розгляді сукупності умов проходження і вимог до переходу – технічних, економічних, екологічних тощо.

До підводних переходів відносяться ділянки трубопроводів, які перетинають природні і штучні водойми (ріки, канали, озера, водосховища, морські затоки), шириною більше 10 м по дзеркалу води в межень і глибиною більше 1,5 м. Підводні переходи є найбільш трудомісткими і дорогими спорудами лінійної частини магістральних трубопроводів. При будівництві підводних переходів найскладнішим є розробка траншеї та укладання трубопроводу.

Підводний трубопровід споруджують, в основному, з труб з заводською ізоляцією. Для трубопроводів, які прокладають на підводних переходах, застосовують ізоляційне покриття підсиленого типу. Ізоляція стиків труб проводиться на монтажному майданчику безпосеред-

ньо біля підводного переходу після зварювання секцій ізольованих труб в нитку перед укладанням трубопроводу в траншею. Ізольовані труби розкладаються на монтажному майданчику на лежачих з м'якими підкладками.

Перед укладанням підготовану ділянку трубопроводу покривають суцільним шаром стандартної дерев'яної рейки (футеровки), яка захищає ізоляційне покриття трубопроводу від механічних пошкоджень під час укладання трубопроводу в підводну траншею та баластують кільцевими привантажувачами. Підготована до укладання ділянка трубопроводу називається дюкером.

Вибір способів укладання трубопроводів на переходах через водні перешкоди, які спорджують траншейним способом, залежить від:

- рельєфу місцевості в створі переходу (нахилу берегових схилів, рельєфу заплавних ділянок);
- гідрологічних умов (глибини і ширини водойми, швидкості течії), умов судноплавства;
- характеристики льодового покриття у разі виконання робіт взимку;
- діаметра і маси трубопроводу, який укладається;
- наявних технічних засобів (плавзасоби, крани, лебідки, трактори, понтони тощо).

Застосовують наступні способи укладання трубопроводу на підводному переході:

- укладання протягуванням трубопроводу дном водної перешкоди;
- укладання вільним зануренням з поверхні води;
- укладання трубопроводів з плаваючих засобів з послідовним нарощуванням секцій труб;
- укладання трубопроводів з льоду в підводну траншею [4].

Одним з найпоширеніших способів укладання дюкерів через водні перешкоди є спосіб його протягування по дну траншеї водної перешкоди. З метою зменшення тягового зусилля застосовують спускові доріжки безпосередньо перед водною перешкодою, на яких розміщують роликові опори. Дюкер перед протягуванням встановлюють на роликові опори. Довжина спускової доріжки і дюкера повинні перевищувати ширину водної перешкоди. Відстань між роликовими опорами повинна бути такою, щоб найбільший згинальний момент, що виникає у трубопроводі дюкера, не перевищував значення, при якому виникають напруження згину, більші допустимих значень.

Проблема визначення відстані між опорами трубопроводу великої довжини відома давно. У монографії [1] вказується, що ця відстань повинна визначатися розрахунком багатопрогінної балки. Такі балки є статично невизначеними. Проте, у згаданій роботі не наводяться числові значення відстаней для трубопроводів різних діаметрів з різними товщинами стінок.

Метою даної роботи є визначення відстаней між роликовими опорами дюкерів трубопроводів різних діаметрів і різної товщини стінки. З цією метою визначалися насамперед найбільші згинальні моменти, що виникають у

багатопрогінних балках при рівномірно розподіленому навантаженні по їх довжині.

Дюкер, що лежить на опорах, можна вважати рівномірно навантаженим по його довжині, тобто розглядати як балку з рівномірно розподіленим навантаженням по її довжині. Нижче розглядаються приклади спускових доріжок, обладнаних відповідно п'ятьма і сімома роликовими опорами, на яких розміщені дюкери. На рис. 1 (а) зображена статично невизначена балка на п'яти опорах з рівномірно розподіленим навантаженням по її довжині, яке викликане власною вагою дюкера. Така балка є тричі статично невизначена. Для розкриття статичної невизначеності балки використовуємо рівняння трьох моментів. Це рівняння має такий вигляд (стосується кожної пари сусідніх прогонів) [2,3]

$$M_l l_l + 2M_{cp}(l_l + l_n) + M_n l_n + 6\left(\frac{S_l}{l_l} + \frac{S_n}{l_n}\right) = 0, (1)$$

де  $M_l, M_{cp}, M_n$  – згинальні моменти відповідно на лівій, середній і правій опорах кожної пари сусідніх прогонів;

$l_l, l_n$  – довжини лівого і правого прогонів;

$S_l, S_n$  – статичні моменти площ епюр від зовнішнього навантаження кожного із прогонів відносно зовнішньої опори прогону.

На рис. 1 (б) зображені епюри згинальних моментів від зовнішнього розподіленого навантаження  $q$  на кожному із чотирьох прогонів, а також невідомі згинальні моменти на внутрішніх опорах В, С і D  $M_1, M_2, M_3$ . Застосувавши рівняння (1) до перших двох прогонів АВ і ВС, отримуємо рівняння

$$4M_1 l + M_2 l + 6\left(\frac{ql^3}{24} + \frac{ql^3}{24}\right) = 0 \text{ або}$$

$$4M_1 l + M_2 = -\frac{ql^2}{2}. (2)$$

Для другої пари прогонів ВС і CD матимемо рівняння

$$M_1 + 4M_2 + M_3 = -\frac{ql^2}{2}, (3)$$

а для третьої пари CD, DE із (1) одержимо

$$M_2 + 4M_3 = -\frac{ql^2}{2}. (4)$$

В результаті розв'язання системи рівнянь (2)-(4) отримаємо вирази для моментів  $M_1, M_2, M_3$

$$M_1 = -\frac{3ql^2}{28}, M_2 = -\frac{ql^2}{14}, M_3 = -\frac{3ql^2}{28}. (5)$$

За відомими моментами  $M_1, M_2, M_3$ , на кожному із прогонів побудуємо епюри згинальних моментів від цих опорних моментів (на рис. 1 (в) ці згинальні моменти зображено ламаною лінією, розміщеною нижче осі балки). В результаті алгебраїчного складання згинальних моментів від зовнішнього навантаження і від опорних моментів  $M_1, M_2, M_3$  отримуємо

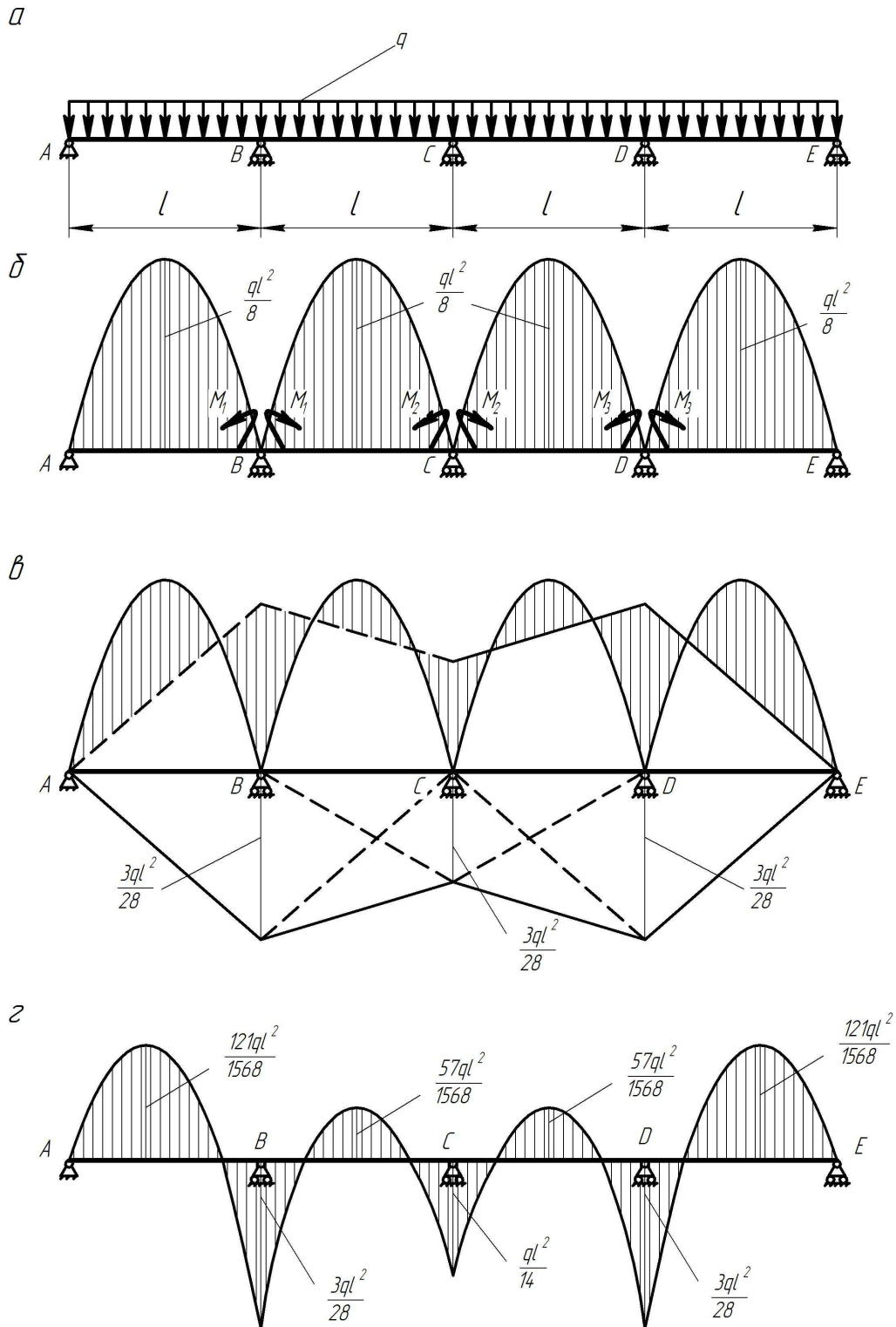


Рисунок 1 – Епюра згинальних моментів чотирипрогінної балки від рівномірно розподіленого навантаження

епюру згинальних моментів балки, а, отже, і дюкера по всій його довжині (рис. 1 (з)). Як видно із рис. 1 (з) найбільший згинальний момент має місце на опорах В і D, тому при визначенні допустимої відстані між роликowymi опорами дюкера саме цей згинальний момент необхідно приймати при виконанні розрахунку.

Максимальне напруження у трубопроводі дюкера буде

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R_1, \quad (6)$$

де  $M_{\max}$  – максимальний згинальний момент у трубопроводі (у нашому випадку

$$M_{\max} = \frac{3ql^2}{28});$$

$W_x$  – момент опору при згині трубопроводу;

$R_1$  – розрахунковий опір для випадку першого розрахункового граничного стану (при визначенні максимально допустимої довжини прогонів трубопроводів потрібно користуватися першим розрахунковим граничним станом [4]).

Розрахунковий опір визначається за формулою

$$R_1 = \frac{mR_1''}{k_1 k_n}, \quad (7)$$

де  $m$  – коефіцієнт умов роботи трубопроводу;  
 $R_1''$  – нормативний опір матеріалу;  
 $k_1$  – коефіцієнт надійності по матеріалу;  
 $k_n$  – коефіцієнт надійності за призначенням трубопроводу.

Визначимо для прикладу відстань між роликівими опорами дюкера трубопроводу. Маса 1 м труби з чавунними привантажувачами  $m_1 = 1203,3 \text{ кг/м}$  [4], а тому величина питомого навантаження вздовж дюкера складатиме

$$q = m_1 g = 1203,3 \cdot 9,81 = 11804,4 \text{ Н/м}.$$

Розрахунковий опір за формулою (7)

$$R_1 = \frac{0,6 \cdot 590}{1,34 \cdot 1,05} = 251,6 \text{ МПа}.$$

Момент опору при згині трубопроводу  $W_x = 9467 \text{ см}^3$ . Підставляємо всі величини у нерівність (6)

$$\frac{3 \cdot 11804,4 l^2}{28 \cdot 9467 \cdot 10^{-6}} \leq 251,6 \cdot 10^6,$$

звідки

$$l \leq \sqrt{\frac{256,6 \cdot 10^6 \cdot 28 \cdot 9467 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 11804,4}} = 43,4 \text{ м}.$$

Таким чином, загальна довжина дюкера становитиме

$$l_0 = l \cdot 4 = 43,4 \cdot 4 = 173,4 \text{ м}.$$

Отриманий максимальний згинальний момент для чотирьохпрогінної балки

( $M_{\max} = \frac{3ql^2}{28}$ ) можна використати для визначення відстаней між роликівими опорами дюкерів трубопроводів інших діаметрів.

На рис. 2 (а) зображена шестипрогінна балка з рівномірно розподіленим навантаженням  $q$ , яка є п'ять разів статично невизначеною. Для розкриття статичної невизначеності такої балки теж використовуємо рівняння трьох моментів (1).

На рис. 2 (б) зображені епюри згинальних моментів від зовнішнього розподіленого навантаження  $q$  на кожному із шести прогонів, а також невідомі згинальні моменти  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  на внутрішніх опорах В, С, Д, Е і М.

Застосовуючи послідовно рівняння трьох моментів (8) для кожної пари сусідніх прогонів, починаючи з прогонів АВ і ВС, отримуємо систему із п'яти рівнянь

$$\begin{cases} 4M_1 + M_2 = -\frac{ql^2}{2}; \\ M_1 + 4M_2 + M_3 = -\frac{ql^2}{2}; \\ M_2 + 4M_3 + M_4 = -\frac{ql^2}{2}; \\ M_4 + 4M_5 = -\frac{ql^2}{2}, \end{cases} \quad (8)$$

розв'язок якої має такий вигляд:

$$M_1 = M_5 = -\frac{11}{104} ql^2 \approx -0,10577 ql^2;$$

$$M_2 = M_4 = -\frac{1}{13} ql^2 \approx -0,07692 ql^2;$$

$$M_3 = -\frac{9}{104} ql^2 \approx -0,08657 ql^2.$$

На рис. 2 (в) побудовані епюри згинальних моментів від всіх знайдених опорних моментів  $M_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$  і  $5$ ) і їх сумарна епюра (рис. 2 (г)). Ця епюра зображена суцільною ламаною лінією, розміщеною нижче осі балки. В результаті алгебраїчного складання згинальних моментів від зовнішнього навантаження і від опорних моментів  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  одержано епюру згинальних моментів балки, а, отже, і семиопорного дюкера по всій його довжині (рис. 2(з)). Як видно із рис. 2 (з), найбільший згинальний момент має місце на другій і передостанній опорах. Епюра згинальних моментів симетрична відносно середини балки. При визначенні допустимої відстані між роликівими опорами дюкера саме цей згинальний момент необхідно приймати при виконанні розрахунку.

Аналогічне дослідження було проведено для низки статично невизначених балок для випадку рівномірно розподіленого навантаження по їх довжині, починаючи від триопорної балок включно. Найбільші згинальні моменти у всіх випадках мали місце на другій і передостанній опорах. Отримані числові значення цих моментів зведено до таблиці 1.

Як видно із таблиці 1, балки з непарним числом опор утворюють з найбільших згинальних моментів  $M_{\max}$  спадну послідовність, а балки з парним числом опор – навпаки, зростаючу послідовність. Але ці дві послідовності зі зростанням числа опор балки наближаються одна до одної. Якщо взяти різницю між найбільшими згинальними моментами балок з найближчими непарним і парним числом опор, то отримаємо таку послідовність

$$\frac{ql^2}{8} - \frac{ql^2}{10} = \frac{1}{40} ql^2; \quad \frac{3}{28} ql^2 - \frac{2}{19} ql^2 = \frac{1}{532} ql^2;$$

$$\frac{11}{104} ql^2 - \frac{15}{142} ql^2 = \frac{1}{7384} ql^2;$$

$$\frac{41}{388} ql^2 - \frac{28}{265} ql^2 = \frac{1}{102820} ql^2.$$

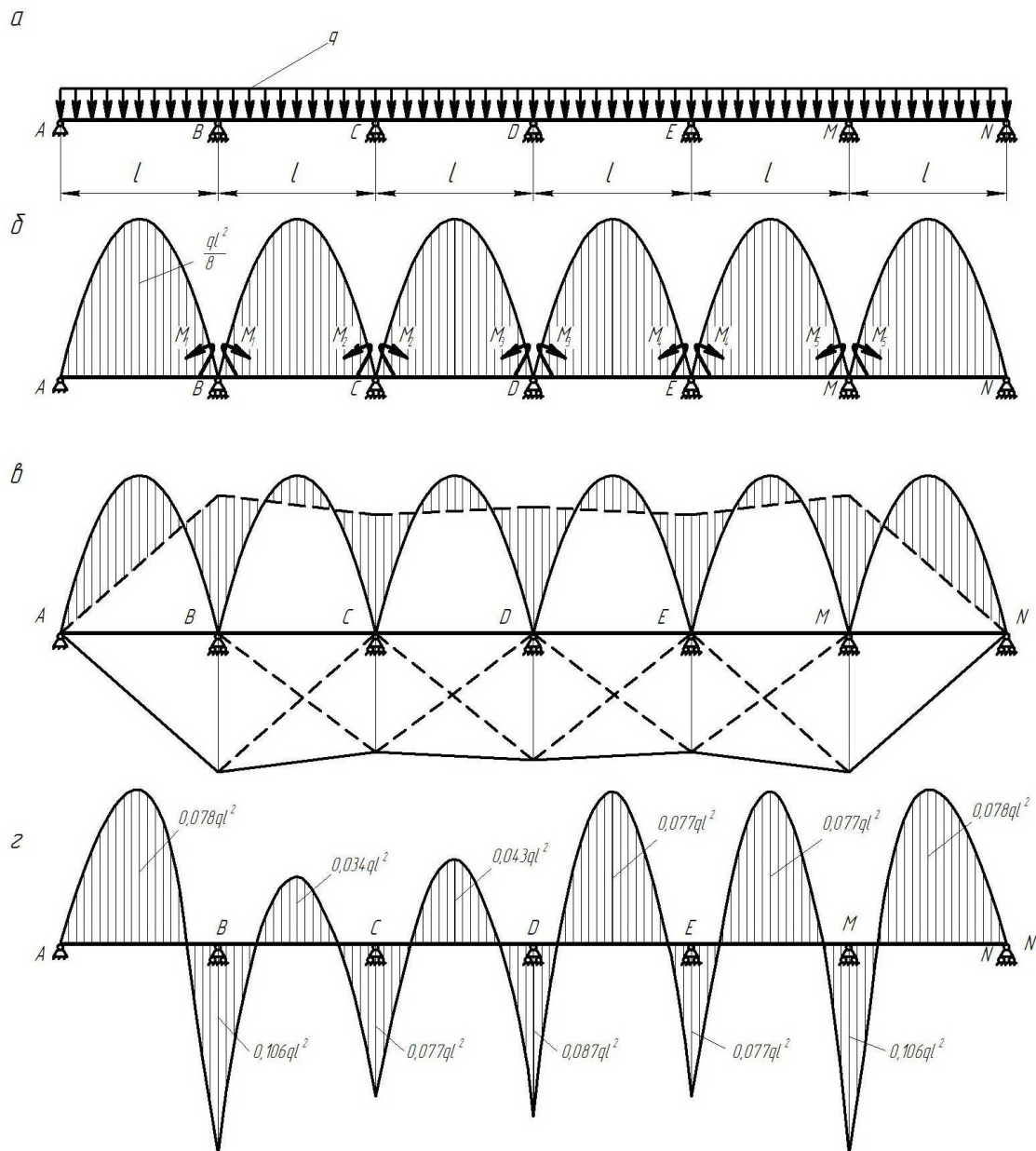


Рисунок 2 – Епюра згинальних моментів шестипрогінної балки від рівномірно розподіленого навантаження

Таблиця 1 – Найбільші згинальні моменти багатоопорних балок при рівномірно розподіленому навантаженні

Кількість опор балки	Статична невизначеність балки	Навантаження на балку	Найбільший згинальний момент $M_{най}$
3	1	Рівномірне розподілене	$ql^2/8 = 0,125ql^2$
4	2	Рівномірне розподілене	$ql^2/10 = 0,1ql^2$
5	3	Рівномірне розподілене	$3ql^2/28 \approx 0,10714ql^2$
6	4	Рівномірне розподілене	$2ql^2/19 \approx 0,10526ql^2$
7	5	Рівномірне розподілене	$11ql^2/104 \approx 0,10577ql^2$
8	6	Рівномірне розподілене	$15ql^2/142 \approx 0,10563ql^2$
9	7	Рівномірне розподілене	$41ql^2/388 \approx 0,10567ql^2$
10	8	Рівномірне розподілене	$28ql^2/265 \approx 0,10566ql^2$

Таблиця 2 – Дані, необхідні для обчислення розрахункового опору  $R_1$  і його числове значення

Діаметр трубопроводу	Товщина стінки трубопроводу, мм	Робочий тиск у трубопроводі, МПа	Матеріал труб	Границя міцності матеріалу $\sigma_s$ , МПа	Розрахунковий опір $R_1$ , МПа
529	7	5,4-9,8	Сталь 13ГС	510	271,9
	8				
	9				
720	8	5,4-7,5	Сталь 12ГСБ	510	273,2
	9				
	10				
820	10	5,4-9,8	Сталь 10Г2СФ	590	314,5
	12				
	14				
1220	12	5,4-7,4	Сталь 12ГСБ	510	273,2
	14				

Отже, при числі опор балки 9 і 10 різниця між їх найбільшими згинальними моментами є меншою  $0,00001ql^2$ . Це означає, що при числі опор 9, 10 і більше можна приймати для найбільшого згинального моменту значення  $\frac{41}{388}ql^2$  або  $\frac{28}{265}ql^2$ .

Вихідні дані, необхідні для визначення розрахункового опору трубопроводів різних діаметрів, а також числове значення розрахункового опору, обчислене за формулою (7), подані в таблиці 2. При цьому було використано довідковий матеріал, який розміщено в [4]. Наводимо обчислення розрахункового опору для трубопроводу діаметром 529 мм

$$R_1 = \frac{mR_1^n}{k_1 k_n} = \frac{0,75 \cdot 510}{1,34 \cdot 1,05} = 271,9 \text{ МПа}.$$

Для інших діаметрів труб розрахунок величини  $R_1$  аналогічний.

Підставляючи у (6) вираз для найбільшого згинального моменту, взятий із табл.1, для балок з різною кількістю опор, починаючи з триопорної балки, і розв'язуючи отримані нерівності відносно відстані  $l$  між сусідніми опорами, послідовно отримуємо формули для обчислення максимально допустимих відстаней між опорами балок (триопорної, чотириопорної і т.д.)

$$l = \sqrt{\frac{8W_x R_1}{q}}, \quad l = \sqrt{\frac{10W_x R_1}{q}}, \quad (9)$$

$$l = \sqrt{\frac{28W_x R_1}{3q}}, \quad l = \sqrt{\frac{19W_x R_1}{2q}}, \quad (10)$$

$$l = \sqrt{\frac{104W_x R_1}{11q}}, \quad l = \sqrt{\frac{142W_x R_1}{15q}}, \quad (11)$$

$$l = \sqrt{\frac{388W_x R_1}{41q}}, \quad l = \sqrt{\frac{265W_x R_1}{28q}}. \quad (12)$$

Момент опору при згині  $W_x$  і питоме навантаження  $q$  приймалися з використанням довідкових даних, наведених у [4]. У питоме навантаження  $q$  входить вага 1 м труби разом з футеровкою та чавунним привантажувачем. Обчислено величини  $l$  за формулами (9)-(12) для трубопроводів чотирьох діаметрів з різними товщинами стінок, які вказані у таблиці 2, і крім того, для різної кількості опор, починаючи від трьох і закінчуючи десятьма опорами. Отримані результати подані у таблиці 3.

Як бачимо з таблиці 3, що при кількості опор дюкера від 3 до 7 максимально допустима відстань  $l$  між його опорами є змінною величиною. Для непарного числа опор вона є послідовністю, що зростає зі збільшенням числа опор, а для парного числа опор ця відстань утворює спадну послідовність. При числі опор 7 і більше різниця між цими послідовностями практично зникає, тобто при числі опор 7, 8 і більше відстань  $l$  залишається незмінною. При збільшенні товщини стінки трубопроводу відстань  $l$  збільшується для всіх діаметрів трубопроводу.

Виконане дослідження і отримані при цьому результати дають підстави зробити такі висновки:

1) дюкер, встановлений на роликіві опори на спусковій доріжці перед протягуванням через водну перешкоду, можна розглядати як багатоопорну балку з рівномірно розподіленим навантаженням по всій її довжині;

2) розкриття статичної невизначеності багатоопорних балок (від триопорної до десятиопорної) за допомогою рівняння трьох моментів дало можливість отримати формули (9)-(12) для розрахунку максимально допустимої відстані  $l$  між опорами дюкера і практично вико-

Таблиця 3 – Максимально допустимі відстані між роликowymi опорами дюкерів

Діаметр трубопроводу, мм	Товщина стінки трубопроводу, мм	Момент опору при згині $W, \text{см}^3$	Питома навантаження $q$ (вага 1 м труби з футеровкою і привантаженням), Н/м	Розрахунковий опір $R, \text{МПа}$	Максимально допустима відстань $l$ між опорами, м							
					3 опори	4 опори	5 опор	6 опор	7 опор	8 опор	9 опор	10 опор
529	7	1483	3353	271,9	31,0	34,7	33,5	33,8	33,7	33,7	33,7	33,7
	8	1686	3332	271,9	33,2	37,1	35,8	36,2	36,1	36,1	36,1	36,1
	9	1886	3313	271,9	35,2	39,3	38,0	38,3	38,2	38,3	38,3	38,3
720	8	3153	5953	273,2	34,0	38,0	36,7	37,1	37,0	37,0	37,0	37,0
	9	3530	5925	273,2	36,1	40,3	39,0	39,3	39,2	39,2	39,2	39,2
	10	3906	5898	273,2	38,0	42,5	41,1	41,5	41,4	41,4	41,4	41,4
	12	4648	5843	273,2	41,7	46,6	45,0	45,4	45,3	45,4	45,4	45,4
820	10	5092	7572	314,5	41,1	46,0	44,4	44,8	44,7	44,7	44,7	44,7
	12	6066	7510	314,5	45,1	50,4	48,7	49,1	49,0	49,0	49,0	49,0
	14	7025	7448	314,5	48,7	54,5	52,6	53,1	53,0	53,0	53,0	53,0
	16	7976	7385	314,5	52,1	58,3	56,3	56,8	56,7	56,7	56,7	56,7
1220	12	13630	16669	273,2	42,3	48,3	45,7	46,1	46,0	46,0	46,0	46,0
	14	15810	16575	273,2	45,7	51,0	49,3	49,8	49,6	49,7	49,7	49,7

нати обчислення цієї відстані для дюкерів трубопроводів, діаметрами 529, 720, 820 і 1220 мм, при різних товщинах стінок;

3) при кількості опор дюкерів 7 і більше максимально допустима відстань  $l$  між його опорами практично не змінюється;

4) зі збільшенням товщини стінки трубопроводу дюкера відстань  $l$  збільшується для трубопроводів всіх діаметрів.

Слід зауважити, що оскільки спускова доріжка для дюкера, встановленого на роликowych опорах, має певний нахил у напрямку водної перешкоди, то напруження, які виникають у трубопроводі, будуть дещо меншими у порівнянні з таким же трубопроводом, встановленим горизонтально на таких же опорах. Це пояснюється тим, що згин трубопроводу у такому випадку викликається тільки складовою розподіленою навантаження, яка спрямована перпендикулярно до осі трубопроводу.

Формули (9)-(12) можуть бути використані для визначення відстані  $l$  між опорами для трубопроводів і при деяких інших технологічних операціях.

Отримані результати розрахунку максимально допустимих відстаней між роликowymi опорами дюкерів, які приведені в таблиці 3, можуть бути практично використані при спорудженні переходів через водні перешкоди.

### Література

- 1 Левин С.И. Проектирование и строительство подводных трубопроводов / С.И.Левин. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 334 с.
- 2 Тимошенко С.П. Сопротивление материалов, т.1. Элементарная теория и задачи / С.П.Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 364 с.
- 3 Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для машиностроительных вузов / В.И.Феодосьев. – М.: Наука, 1970. – 544 с.
- 4 Дорошенко Я.В. Спорудження магістральних трубопроводів: підручник / Я.В.Дорошенко. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 563 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
16.09.13

Рекомендована до друку  
професором **Грудзом В.Я.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук **Вольченко Д.А.**

(Прикарпатський національний університет  
ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)