

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

В. П. Шпачук, В. О. Пушня

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ І ЗАВДАННЯ
ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ З ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА»**

**«МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ
ВУЛИЧНИХ СВІТИЛЬНИКІВ»**

*(для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів
напряму підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)*

Харків
ХНАМГ
2010

Методичні вказівки і завдання до курсового проекту з дисципліни «Технічна механіка» «МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВУЛИЧНИХ СВІТИЛЬНИКІВ» (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів напряму підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / Харк. нац. акад міськ. госп-ва; уклад.: В.П. Шпачук, В.О. Пушня. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 47 с.

Укладачі: В. П. Шпачук,
В. О. Пушня

Рецензент: доц., к.т.н. Кузнєцов О. М.

Рекомендовано кафедрою теоретичної і будівельної механіки,
протокол № 16 від 30.06.2010 р.

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для самостійної роботи при вивченні технічної механіки студентами спеціальності «Світлотехніка і джерела світла». Наведено варіанти завдань і приклад виконання роботи. У додатках дано необхідні довідкові матеріали. Строк здачі етапів роботи й номери варіантів указуються викладачем.

Розглянуто основні етапи механічного розрахунку елементів кріплення вуличних світильників, що включають розрахунок у різних сполученнях вагових, вітрових, навантажень від ожеледі й розрахунки на міцність. Основні вимоги до розрахунків елементів конструкцій визначені «Строительными нормами и правилами» (СНиП). Усі розрахунки виконуються в одиницях СІ. Точність розрахунків залежить від обумовлених чисел. Якщо є ціла частина числа, то точність не менш п'яти значущих цифр (наприклад, 324,62; 76,385). Точність визначається трьома значущими цифрами, коли ціла частина числа дорівнює нулю (наприклад, 0,0762).

Варіанти завдань

Студент вибирає вихідні дані проекту (табл. 1,2) за шифром, котрий складається з двох цифр. Шифр указує викладач. Наприклад, шифр 35, де 3 – перша цифра, а 5 – друга.

Таблиця 1

Перша цифра шифру		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Відстані до точок підвіски світильників і троса (рис. 1.1), м	ℓ_1	25	30	25	40	25	50	20	45	20	30
	ℓ_2	15	40	30	30	20	25	30	25	35	25
	ℓ_3	30	35	20	40	20	30	30	35	25	45
	ℓ	70	105	75	110	65	105	80	105	80	100
Тип підвісного світильника		1	4	3	4	2	3	1	4	3	4
Діаметр троса, мм		6,6	10	7,1	11	6,1	8,6	8,1	9,1	7,6	12

Таблиця 2

Друга цифра шифру		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип місцевості		A	B	C	A	B	C	A	B	A	B
Район кліматичних умов	Вітер	II	III	IV	V	II	III	IV	V	IV	V
	Ожеледь	V	IV	II	III	IV	V	V	III	IV	V

Продовження табл. 2

Друга цифра шифру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Температура повітря, t°С	Вища	+40								
	Нижча	-40								
	Ожеледі	-5								
Ділянка струмопідведення	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$
Висота точок закріплення троса, м	12	15	10	9	11	15	12	10	12	15
Найбільша стріла прогину троса f_{max} , м	2,4	3,5	2,5	3,7	2,2	3,8	2,7	3,6	2,7	3,4
Тип опори консольного світильника	1	2	3	1	2	3	4	2	1	4
Тип консольного світильника	2	1	3	4	5	6	1	7	8	4

Примітки:

1. Точки закріплення троса підвісних світильників розташовані на одній висоті.
Схема розташування світильників дана на рис. 1.1.
2. Тип і розміри підвісних і консольних світильників зазначені в додатку 1.
3. Дані по характеристикам троса наведені в додатку 2.
4. Провід, що живить світильники, розташовано на ділянці струмопідведення. Діаметр проводу $d_{пр} = 8$ мм, маса $m_{пр} = 0,154$ кг/м. Провід підв'язати до троса.
5. Дані по напору вітру і товщині стінки ожеледі для відповідних кліматичних умов наведені в додатку 3.
6. Креслення опори консольного світильників дані в додатку 4.

Приклад розрахунку

Зміст роботи

Розрахунок троса підвіски вуличного світильника.

Креслення підвіски вуличного світильника.

Розрахунок опори консольного світильника.

Креслення опори консольного світильника.

Світильники є основною частиною вуличного освітлення міст, спортивних споруд, відкритих складів і робочих площадок. Гарне зовнішнє освітлення – це зниження числа шляхово-транспортних пригод і травматизму, сприятливе естетичне враження від вечірнього міста, відвідувань видовищних заходів і нормальної трудової діяльності на виробництві. Тому важливо забезпечити необхідну механічну міцність деталей кріплення світильників.

Для розрахунку елементів конструкції визначаються навантаження на конструкцію, розраховуються зусилля і внутрішні сили при різних сполученнях навантажень. Далі вибирається режим роботи найбільш небезпечний з погляду міцності чи деформацій й знаходяться розміри перерізу елементів або перевіряється їх міцність та, при необхідності, деформації.

РОЗРАХУНОК ТРОСА ПІДВІСКИ ВУЛИЧНОГО СВІТИЛЬНИКА

1. Вихідні дані

- | | |
|---|---|
| 1.1. Відстані до точок підвіски світильників (рис. 1.1) | $l_1 = 40 \text{ м}; l_2 = 35 \text{ м}; l_3 = 45 \text{ м}.$ |
| 1.2. Проліт між точками підвісу троса | $l = l_1 + l_2 + l_3 = 120 \text{ м}.$ |
| 1.3. Світильник підвісний (тип 1, додаток 1)
ЖСУ08–250–001/002. | Маса 10,3 кг. |
| Розміри: довжина | $l_c = 580 \text{ мм};$ |
| ширина | $a_c = 340 \text{ мм};$ |
| висота | $h_c = 300 \text{ мм}.$ |
| Вага | $G = m g = 10,3 \cdot 9,8 = 101 \text{ Н}.$ |
| 1.4. Трос (додаток 2). Діаметр | $d_r = 12,5 \text{ мм}.$ |
| Вага 1 м | $q_r = 7,9 \text{ Н/м}$ |
| Площа перерізу | $A = 94,44 \text{ мм}^2.$ |
| Температурний коефіцієнт лінійного розширення | $\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}.$ |
| Модуль пружності | $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$ |
| 1.5. Ділянка струмопідведення | $l_2 - l_3.$ |
| Діаметр проводу | $d_{пр} = 8 \text{ мм}.$ |
| Маса 1 м проводу | $m_{пр} = 0,154 \text{ кг/м}.$ |
| 1.6. Місцевість типу А (додаток 3). | |
| 1.7. Товщина стінки ожеледі нормативна (додаток 3) (для V району по ожеледі) | $b_o = 20 \text{ мм}.$ |
| 1.8. Тиск вітру нормативний (додаток 3) (для V вітрового району) | $w_o = 600 \text{ Н/м}^2.$ |
| 1.9. Висота точок закріплення троса | 15 м. |
| 1.10. Найбільша стріла провисання троса | $f_{\max} = 3 \text{ м}.$ |

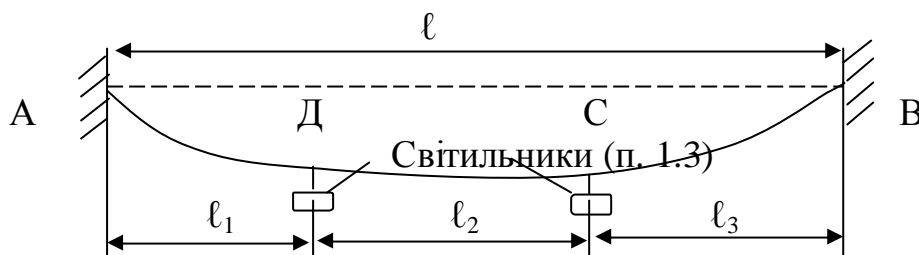


Рис. 1.1

2. Розрахунок навантажень на трос

Розглядаємо окремі випадки навантаження троса.

2.1. Трос навантажений ваговими розрахунковими навантаженнями (без ожеледі і без вітру)

Розрахункові навантаження дорівнюють добутку нормативних навантажень на коефіцієнт надійності по навантаженню, що для троса, проводу і світильників дорівнює $\gamma_f = 1,1$ (СНиП).

Зауваження. При виконанні розрахунків записується формула, підставляються усі величини, дається відповідь й указується розмірність шуканих величин.

2.1.1. Розрахункова вага 1 м троса $q_1 = \gamma_f \cdot q_T = 1,1 \cdot 7,9 = 8,693$ Н/м.

2.1.2. Розрахункова вага 1 м проводу $q_{пр} = \gamma_f \cdot m_{пр} \cdot g = 1,1 \cdot 0,154 \cdot 9,8 = 1,66$ Н/м.

Тут $q_T = 7,9$ Н/м (п. 1.4), $m_{пр} = 0,154$ кг /м (п. 1.5).

2.1.3. Розрахункова вага 1 м троса з проводом $q_2 = q_1 + q_{пр} = 10,35$ Н/м.

2.1.4. Розрахункова вага світильників $G_1 = G_2 = \gamma_f \cdot G = 1,1 \cdot 101 = 111$ Н.

2.1.5. Для розрахунку тросу розглядаємо прямолінійну «балку» АВ на опорах (рис. 2.1). Вертикальні реакції опор визначаємо з рівнянь рівноваги:

$$\Sigma m_B = -R_A \ell + q_1 \ell_1 (\ell_1/2 + \ell_2 + \ell_3) + G_1(\ell_2 + \ell_3) + G_2 \ell_3 + q_2(\ell_2 + \ell_3)^2/2 = 0;$$

$$\Sigma m_A = R_B \ell - q_1 \ell_1^2/2 - G_1 \ell_1 - G_2(\ell_1 + \ell_2) - q_2(\ell_2 + \ell_3)[\ell_1 + (\ell_2 + \ell_3)/2] = 0.$$

Знаходимо: $R_A = 689,191$ Н; $R_B = 723,579$ Н.

Перевірка: $\Sigma F_{KY} = R_A - q_1 \ell_1 - G_1 - G_2 - q_2(\ell_2 + \ell_3) + R_B = 0$.

2.1.6. Будуємо для цієї «балки» епюри поперечних сил і згинальних моментів.

Для побудови епюр використовуємо метод перерізів. Проводимо поперечний переріз, показуємо в перерізі внутрішні сили, записуємо рівняння рівноваги, з яких знаходимо внутрішні сили.

Так, для перерізу 1–1 ділянки АД (рис. 2.1,б) рівняння рівноваги мають вид:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_{KX} &= -N_A + N_1 = 0, \\ \Sigma F_{KY} &= -R_A + q_1 x_1 + Q_1 = 0, \\ \Sigma m_{(1)} &= -R_A x_1 + q_1 x_1^2/2 + m_1 = 0, \end{aligned} \right\} \text{де } 0 \leq x_1 < \ell_1. \quad (2.1)$$

Розглянемо далі ту ж ділянку троса. Трос абсолютно гнучкий, тому в перерізі тросу згинальний момент дорівнює нулю (рис. 2.1,в). Запишемо суму моментів відносно точки 1_т – центра ваги перерізу троса

$$\Sigma m_{(1т)} = -R_A x_1 + q_1 x_1^2/2 + N_A y = 0. \quad (2.2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{З рівнянь (2.1) знаходимо: } & N_1 = N_A; \\ & Q_1 = R_A - q_1 x_1; \\ & m_1 = R_A x_1 - q_1 x_1^2/2. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

З першого співвідношення видно, що горизонтальна складова тяжіння троса у всіх перерізах однакова. Вона дорівнює тяжінню в нижній точці троса. Позначимо її далі $N = N_A = N_B$.

З (2.2) знаходимо $H = (R_A x_1 - q_1 x_1^2 / 2) / y$, або з урахуванням (2.3)
 $y = m_1 / H$. (2.4)

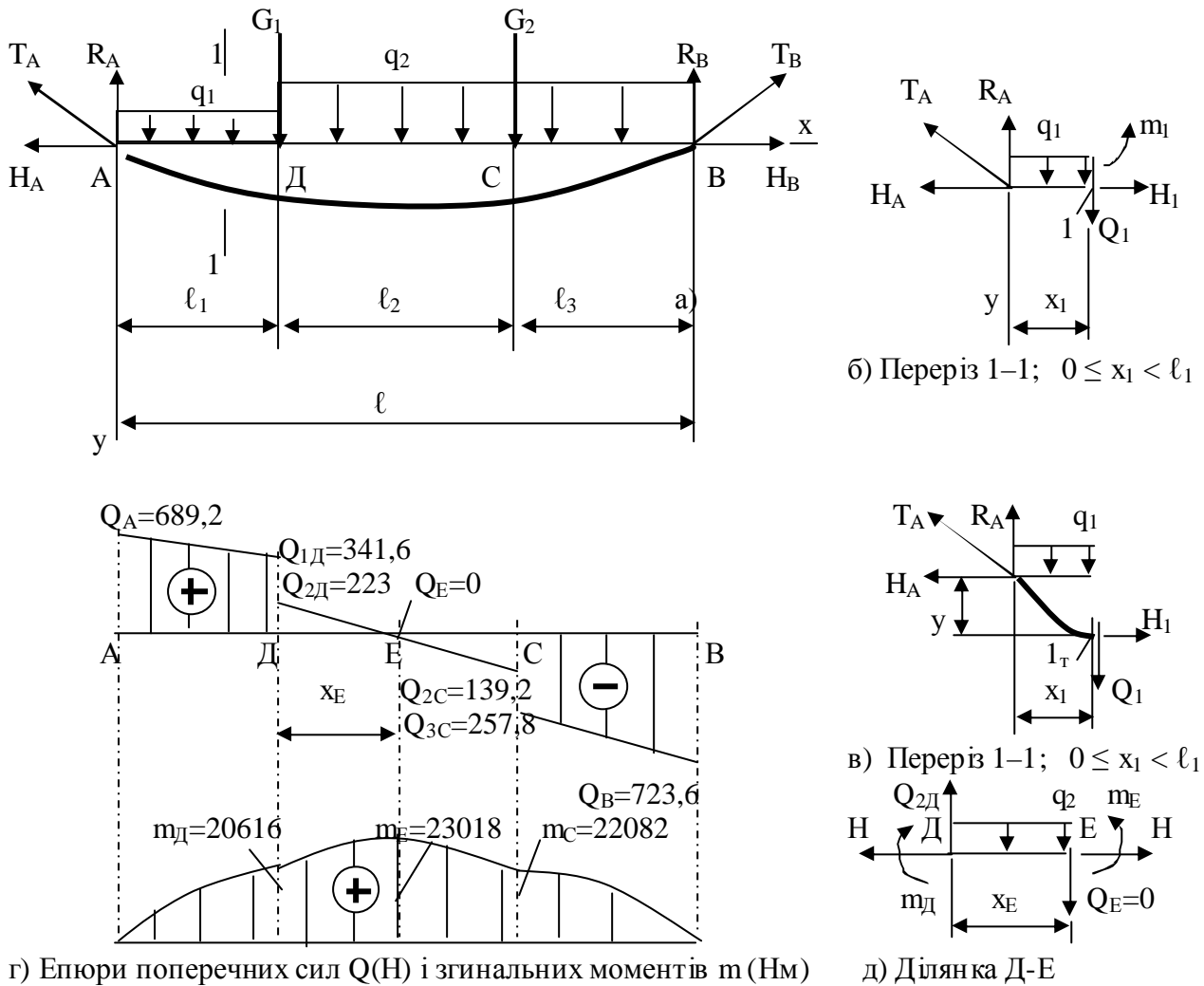


Рис. 2.1

Тобто, стріла провисання троса в будь-якому перерізі дорівнює відношенню «балкового» згинального моменту в цьому перерізі до горизонтальної складової тяжіння H .

Підставляємо значення координат $x_1 = 0$; $x_1 = \ell_1$ й обчислюємо відповідні значення:

поперечних сил $Q_A = R_A = 689,2 \text{ Н}$; $Q_{1Д} = R_A - q_1 \ell_1 = 341,6 \text{ Н}$,
 згинальних моментів $m_A = 0$; $m_{1Д} = R_A \ell_1 - q_1 \ell_1^2 / 2 = 20615,6 \text{ Нм}$.

Далі розглядаємо ділянки ДС, СВ. Знаходимо внутрішні сили в перерізах і будуюмо епюри поперечних сил і згинальних моментів (табл. 2.1 і рис. 2.1,в).

У перерізі Е (рис. 2.1,г) поперечна сила дорівнює нулю, тому в цьому перерізі згинальний момент має екстремальне значення. Розглядаємо сили, які діють на ділянку ДЕ (рис. 2.1,д). Записуємо рівняння рівноваги:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_{KY} &= -Q_{2D} + q_2 x_E = 0, \\ \Sigma m_{(E)} &= -Q_{2D}x_E + q_2x_E^2/2 + m_E - m_D = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.1

Переріз (рис. 2.1)	А	Д		Е	С		В
Поперечні сили, Н	А	Q _{1Д}	Q _{2Д}	Q _Е	Q _{2С}	Q _{3С}	Q _В
	689,2	341,6	223,0	0	-139,2	-257,8	-723,6
Згинальний момент, Нм	m _А	m _Д		m _Е	m _С		m _В
	0	20616		23018,2	22081,5		0

З (2.5) знаходимо координату перерізу Е: $x_E = Q_{2D} / q_2 = 21,55$ м та обчислюємо в цьому перерізі згинальний момент

$$m_E = Q_{2D}x_E - q_2x_E^2/2 + m_D = 23018,2 \text{ Нм.}$$

2.1.7. При подальших обчисленнях необхідно знайти для епюри поперечних сил інтеграл $\int Q^2 dx$. Значення інтеграла для епюри, що складається з декількох трапецієподібних і трикутних ділянок (рис. 2.1,г), можна знайти за такою формулою

$$\int Q^2 dx = (Q_A^2 + Q_A Q_{1D} + Q_{1D}^2) \ell_1/3 + (Q_{2D}^2 + Q_{2D} Q_{2C} + Q_{2C}^2) \ell_2/3 + (Q_{3C}^2 + Q_{3C} Q_B + Q_B^2) \ell_3/3 + \dots \quad (2.6)$$

Поперечні сили $Q_A, Q_{1D}, Q_{2D} \dots$ у формулу (2.6) треба приймати зі своїми знаками. При значеннях поперечних сил з табл. 2.1 знаходимо

$$\int Q^2 dx = 23120928 \text{ Н}^2\text{м.}$$

2.2. Навантаження від ожеледі

Розрахункова вага ожеледі дорівнює добутку нормативних навантажень від ожеледі на коефіцієнт надійності по навантаженню, що в цьому випадку дорівнює $\gamma_f = 1,3$ (СНиП).

2.2.1. Стінка ожеледі розрахункова $b_p = \gamma_f \cdot b_o = 1,3 \cdot 20 = 26$ мм.

2.2.2. Вага ожеледі на тросі

$$q_3 = 2,83 \cdot b_p \cdot (d_t + b_p) 10^{-2} = 2,83 \cdot 26 \cdot (12,5 + 26) \cdot 10^{-2} = 28,328 \text{ Н/м.}$$

2.2.3. Вага ожеледі на проводі

$$q_4 = 2,83 \cdot b_p \cdot (d_{пр} + b_p) 10^{-2} = 2,83 \cdot 26 \cdot (8 + 26) \cdot 10^{-2} = 25,017 \text{ Н/м.}$$

2.2.4. Вага ожеледі на світильниках

$$G_3 = G_4 = 17,64 \cdot b_p \cdot (\ell_c \cdot a_c + \ell_c \cdot h_c + a_c \cdot h_c) \cdot 10^{-6} = 17,64 \cdot 26 \cdot (580 \cdot 340 + 580 \cdot 300 + 340 \cdot 300) \cdot 10^{-6} = 217,03 \text{ Н.}$$

Тут $b_o = 20$ мм (п. 1.7); ℓ_c, a_c, h_c – розміри світильника (п. 1.3), мм.

2.2.5. Вага ожеледі на тросі і проводі

$$q_5 = q_3 + q_4 = 53,346 \text{ Н/м.}$$

2.2.6. Розглядаємо (рис. 2.2,а) «балку» АВ на опорах, що навантажена вантажами q_3, q_5, G_3, G_4 .

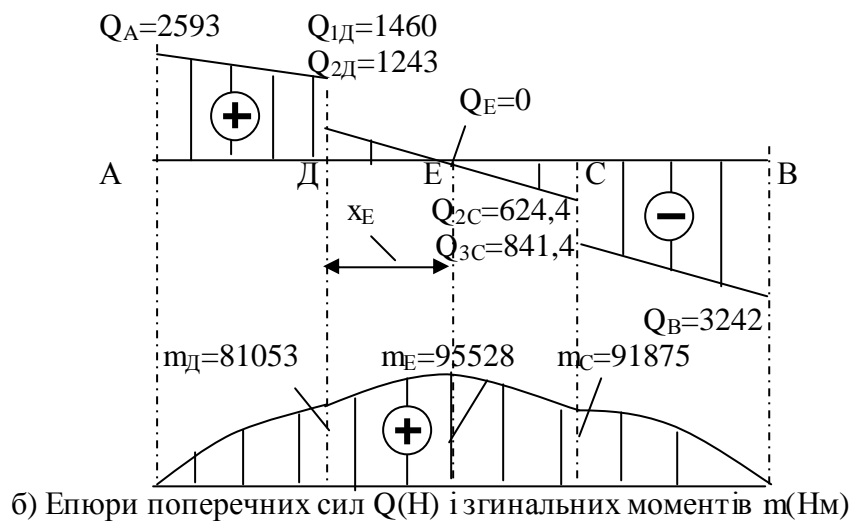
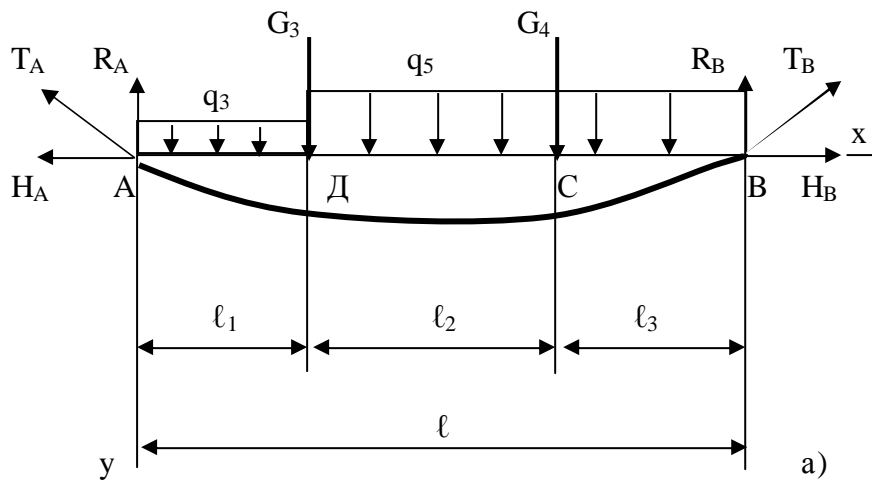


Рис.2.2

Вертикальні реакції опор (рис. 2.2) визначаємо з рівнянь рівноваги:

$$\Sigma m_B = -R_A l + q_3 l_1 (\frac{l_1}{2} + l_2 + l_3) + G_3 (l_2 + l_3) + G_4 l_3 + q_5 \frac{(l_2 + l_3)^2}{2} = 0;$$

$$\Sigma m_A = 0;$$

$$R_A = 2592,9 \text{ Н}; R_B = 3241,9 \text{ Н.} \quad \text{Перевірка } \Sigma F_{KY} = 0.$$

2.2.7. Будуємо для цієї «балки» епюри поперечних сил і згинальних моментів (табл. 2.2, рис. 2.2,б).

У перерізі E (рис. 2.2,б) поперечна сила дорівнює нулю, тому в цьому перерізі згинальний момент має екстремальне значення. Знаходимо координату цього перерізу (див. п.2.1)

$$x_E = Q_{2D} / q_5 = 23,3 \text{ м}$$

й обчислюємо в цьому перерізі згинальний момент $m_E = 95528,48 \text{ Нм}$.

Таблиця 2.2

Переріз (рис. 2.2)	А	Д		Е	С		В
Поперечні сили, Н	Q_A	$Q_{1Д}$	$Q_{2Д}$	Q_E	$Q_{2С}$	$Q_{3С}$	Q_B
	2592,9	1459,8	1242,7	0	-624,4	-841,4	-3241,9
Згинальний момент, Нм	m_A	m_D		m_E	m_C		m_B
	0	81053,2		95528,5	91874,7		0

2.3. Максимальний тиск вітру без ожеледі

Вітрові навантаження впливають на елементи конструкції в горизонтальній площині xAz (рис. 2.3,а).

При обчисленні статичного вітрового навантаження приймаємо:

нормативний тиск вітру для V району $w_0 = 600$ Н/м (п. 1.8);

коефіцієнт надійності для вітрового навантаження $\gamma_f = 1,2$ (СНиП);

коефіцієнт k , що враховує зміну навантаження від висоти вітрового тиску, для висоти 15 м (додаток 3) – $k = 1,12$.

2.3.1. Розрахунковий тиск вітру на трос

$$p_1 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot d_T / 1000 = 600 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,2 \cdot 12,5 / 1000 = 12,1 \text{ Н/м,}$$

де $c = 1,2$ – аеродинамічний коефіцієнт (додаток 3);

$d_T = 12,5$ мм – діаметр троса (п. 1.4).

2.3.2. Розрахунковий тиск вітру на провід

$$p_2 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot c \cdot d_{пр} / 1000 = 600 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,2 \cdot 8 / 1000 = 7,74 \text{ Н/м,}$$

де $c = 1,2$ – аеродинамічний коефіцієнт (додаток 3);

$d_{пр} = 8,0$ мм – діаметр проводу (п. 1.5).

2.3.3. Розрахунковий тиск вітру на трос із проводом

$$p_3 = p_1 + p_2 = 19,84 \text{ Н/м.}$$

2.3.4. Розрахунковий тиск вітру на світильники

$$P_1 = P_2 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot c \cdot \ell_c \cdot h_c \cdot 10^{-6} =$$

$$= 600 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,4 \cdot 580 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 196,44 \text{ Н,}$$

де $c = 1,4$ – аеродинамічний коефіцієнт (додаток 3);

$\ell_c = 580$ мм; $h_c = 300$ мм – довжина і висота світильника (п. 1.3).

2.3.5. Розглядаємо (рис. 2.3,а) прямолінійну «балку» АВ на опорах, що знаходиться під дією навантажень p_1, p_3, P_1, P_2 .

Горизонтальні реакції опор позначаємо R_A^r, R_B^r (рис. 2.3) і знаходимо їх з рівнянь рівноваги:

$$\Sigma m_B = -R_A^r \ell + p_1 \ell_1 (\ell_1 / 2 + \ell_2 + \ell_3) + P_1 (\ell_2 + \ell_3) +$$

$$+ P_2 \ell_3 + p_3 (\ell_2 + \ell_3)^2 / 2 = 0; \quad R_A^r = 1136,82 \text{ Н;}$$

$$\Sigma m_A = 0;$$

$$R_B^r = 1326,89 \text{ Н.}$$

$$\text{Перевірка } \Sigma F_{KZ} = 0.$$

2.3.6. Будемо для цієї «балки» епюри поперечних сил і згинальних моментів у горизонтальній площині (з індексом «Г») (табл. 2.3. і рис. 2.3,б).

У перерізі Е (рис. 2.3,б) поперечна сила дорівнює нулю, тому в цьому перерізі згинальний момент має екстремальне значення.

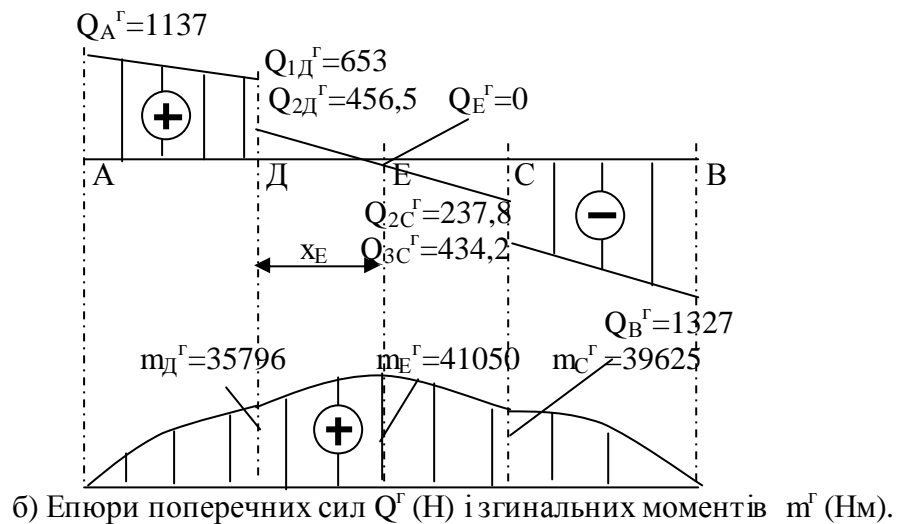
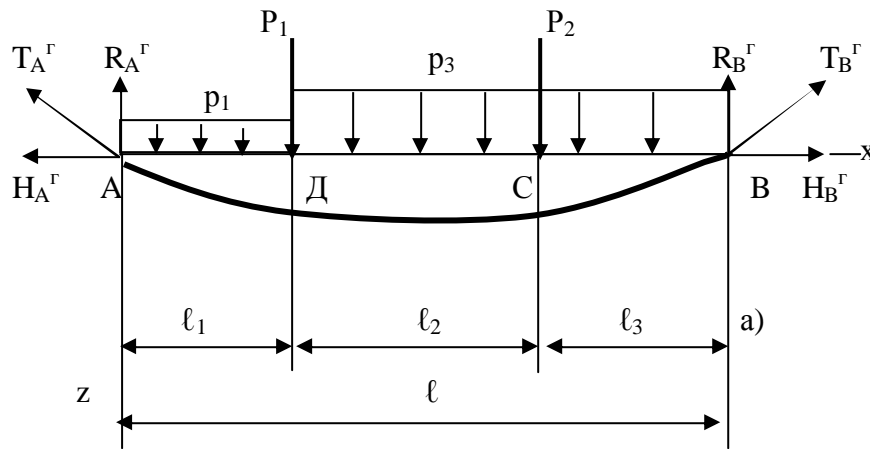


Рис. 2.3

Знаходимо координату цього перерізу $x_E^Г = Q_{2Д}^Г / p_3 = 23,01$ м й обчислюємо в цьому перерізі згинальний момент $m_E^Г = 41049,6$ Нм.

Таблица 2.3

Переріз (рис. 2.3)	А	Д		Е	С		В
Поперечні сили, Н	$Q_A^Г$ 1136,8	$Q_{1Д}^Г$ 653,0	$Q_{2Д}^Г$ 456,5	$Q_E^Г$ 0	$Q_{2С}^Г$ -237,8	$Q_{3С}^Г$ -434,2	$Q_B^Г$ -1326,9
Згинальний момент, Нм	маг 0	$m_D^Г$ 35796,1		$m_E^Г$ 41049,6	$m_C^Г$ 39624,7		$m_B^Г$ 0

2.4. Вітрові навантаження при ожеледі

Тиск вітру на покриті ожеледдю елементи приймається рівним 25% від нормативного значення вітрового тиску $w_0 = 600$ Н/м (п. 1.8) (СНиП).

Коефіцієнт надійності для вітрового навантаження $\gamma_f = 1,2$ (СНиП); коефіцієнт, що враховує зміну від висоти вітрового тиску, для висоти 15 м (додаток 3) – $k = 1,12$.

2.4.1. Розрахунковий тиск вітру на трос

$$p_4 = 0,25 w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (d_T + 2 \cdot b_p) / 1000 = \\ = 0,25 \cdot 600 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,2 \cdot (12,5 + 2 \cdot 26) / 1000 = 15,6 \text{ Н/м,}$$

де $c = 1,2$ – аеродинамічний коефіцієнт (додаток 3);

$d_T = 12,5$ мм – діаметр троса (п. 1.4);

$b_p = 26$ мм – розрахункова стінка ожеледі (п. 3.1).

2.4.2. Розрахунковий тиск вітру на провід

$$p_5 = 0,25 w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (d_{пр} + 2 \cdot b_p) / 1000 = \\ = 0,25 \cdot 600 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,2 \cdot (8 + 2 \cdot 26) / 1000 = 14,51 \text{ Н/м,}$$

де $c = 1,2$ – аеродинамічний коефіцієнт (додаток 3);

$d_{пр} = 8,0$ мм – діаметр проводу (п. 1.5).

2.4.3. Розрахунковий тиск вітру на трос із проводом

$$p_6 = p_4 + p_5 = 30,12 \text{ Н/м.}$$

2.4.4. Розрахунковий тиск вітру на світильник

$$P_3 = P_4 = 0,25 w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (\ell_c + 2b_p) \cdot (h_c + 2b_p) \cdot 10^{-6} = \\ = 0,25 \cdot 600 \cdot 1,2 \cdot 1,12 \cdot 1,4 \cdot (580 + 2 \cdot 26) \cdot (300 + 2 \cdot 26) \cdot 10^{-6} = 62,79 \text{ Н,}$$

де $c = 1,4$ – аеродинамічний коефіцієнт (додаток 3);

$\ell_c = 580$ мм; $h_c = 300$ мм – довжина й висота світильника (п. 1.3).

2.4.5. Розглядаємо (рис. 2.4,а) прямолінійну «балку» АВ на опорах, що навантажена вантажами p_4, p_6, P_3, P_4 .

Горизонтальні реакції опор позначаємо R_A^r, R_B^r (рис. 2.4,а).

Визначаємо з рівнянь рівноваги:

$$\Sigma m_B = -R_A^r \ell + p_4 \ell_1 (\ell_1/2 + \ell_2 + \ell_3) + P_3 (\ell_2 + \ell_3) + \\ + P_4 \ell_3 + p_6 (\ell_2 + \ell_3)^2 / 2 = 0;$$

$$\Sigma m_A = 0;$$

$$R_A^r = 1388,71 \text{ Н;}$$

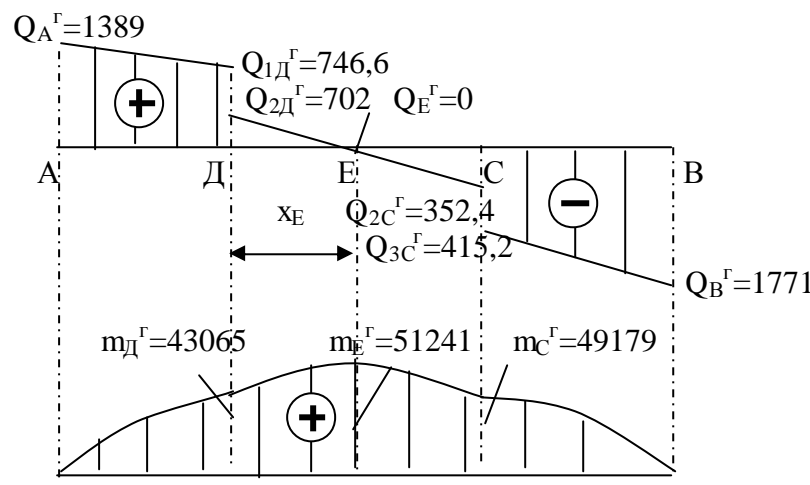
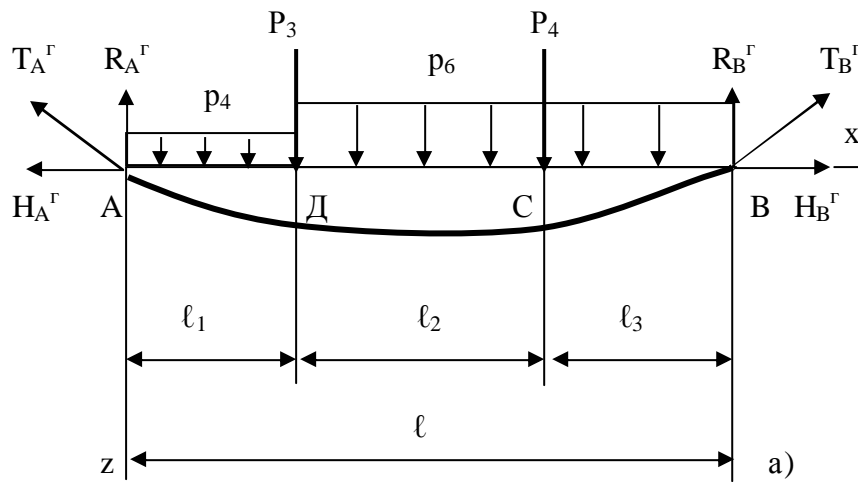
$$R_B^r = 1770,546 \text{ Н.}$$

$$\text{Перевірка } \Sigma F_{KZ} = 0.$$

2.4.6. Будуємо для цієї «балки» епюри поперечних сил і згинальних моментів у горизонтальній площині (з індексом «г») (табл. 2.4., рис. 2.4,б).

У перерізі Е (рис. 2.4,б) поперечна сила дорівнює нулю, тому в цьому перерізі згинальний момент має екстремальне значення. Знаходимо координату цього перерізу

$$x_E^r = Q_{2д}^r / p_6 = 23,3 \text{ м.}$$



б) Епюри поперечних сил Q^r (Н) і згинальних моментів m^r (Нм).

Рис. 2.4

Таблиця 2.4

Переріз (рис. 2.4)	А	Д		Е	С		В
Поперечні сили, Н	Q_A^r	Q_{1D}^r	Q_{2D}^r	Q_E^r	Q_{2C}^r	Q_{3C}^r	Q_B^r
	1388,7	746,6	701,8	0	-352,4	-415,2	-1770,6
Згинальний момент, Нм	m_A^r	m_D^r		m_E^r	m_C^r		m_B^r
	0	43065		51241	49179		0

Обчислюємо в цьому перерізі згинальний момент $m_E^r = 51241$ Нм.

2.5. Навантаження тросу власною вагою, ожеледдю і вітром

При розрахунку конструкцій на основні сполучення, що включають два й більш короточасні навантаження (у розглянутому випадку такими є

навантаження ожеледдю й вітром), їхні розрахункові значення (чи зусилля від них) враховують з множителем (коефіцієнт сполучень) $\psi = 0,9$ (СНиП).

Власна вага й вага ожеледі розташовані у вертикальній площині, а вітрове навантаження у горизонтальній площині, тому розрахункове зусилля в будь-якому перерізі для розглянутого режиму, наприклад у перерізі А, визначаються за формулами:

$$\text{поперечна сила } Q_{A5} = \sqrt{(Q_{A1} + \psi \cdot Q_{A2})^2 + (\psi \cdot Q_{A4})^2}, \quad (2.7)$$

$$\text{згинальний момент } m_{A5} = \sqrt{(m_{A1} + \psi \cdot m_{A2})^2 + (\psi \cdot m_{A4})^2}. \quad (2.8)$$

Тут цифра в нижньому індексі відповідає номеру пункту, значення якого використовуються для обчислень (номер розділу – цифра 2 у позначенні опущена).

Знаходимо, наприклад, для розглянутого режиму

$$Q_{A5} = \sqrt{(689,2 + 0,9 \cdot 2592,9)^2 + (0,9 \cdot 1388,7)^2} = 3271 \text{ Н},$$

$$Q_{B5} = -\sqrt{(-723,6 - 0,9 \cdot 3242)^2 + (-0,9 \cdot 1771)^2} = -3975 \text{ Н}.$$

Знак поперечної сили Q_i при обчисленнях збігається зі знаком складових поперечних сил.

Відповідно до формул (2.7), (2.8) обчислюємо для розглянутого режиму розрахункові значення поперечних сил і згинальних моментів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

№ пункту	Переріз (рис. 2.1-2.5)							
	А	Д		Е	С		У	
Поперечні сили, Н		Q_A	$Q_{1Д}$	$Q_{2Д}$	$Q_E/x_E(\text{м})$	$Q_{2С}$	$Q_{3С}$	Q_B
	2.1	689,19	341,6	223	0/21,55	-139,2	-257,8	-723,6
	2.2	2592,9	1460	1243	0/23,3	-624,4	-841,4	-3242
	2.4	1388,7	746,6	701,8	0/23,3	-352,4	-415,2	-1771
Розглянутий режим	2.5	3271	1793	1483	0/23,3	-769,6	-1082	-3975
Згинальний момент, Нм		m_A	m_D	m_E	m_C	m_B		
	2.1	0	20616	23018	22082	0		
	2.2	0	81053	95528	91875	0		
	2.4	0	43065	51241	49179	0		
Розглянутий режим	2.5	0	101274	118349	113735	0		

Примітка: Координати перерізів Е, де згинальний момент має екстремальне значення, для різних випадків навантаження трохи відрізняються. Приймаємо для розглянутого режиму координату цього перерізу рівній координаті режиму, де згинальний момент найбільший, тобто $x_{E5} = x_{E2} = 23,3$ м.

Епюри поперечних сил і згинальних моментів для сумарного нагрюження мають вид, зображений на рис. 2.5.

Знаходимо для епюри поперечних сил інтеграл $\int Q^2 dx$ (див. пункт 2.1.7).

При значеннях поперечних сил з табл. 2.5. (рис. 2.5) обчислюємо

$$\int Q_5^2 dx = 6,02 \cdot 10^8 \text{ Н}^2 \text{ м}.$$

Епюри поперечних сил $Q(N)$ і згинальних моментів $m(Нм)$

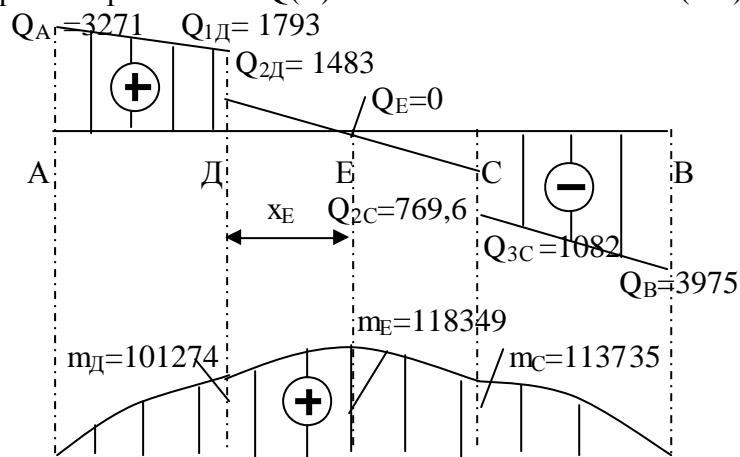


Рис. 2.5

2.6. Навантаження тросу власною вагою і максимальним вітровим навантаженням (без ожеледі)

При розрахунку конструкцій на основні сполучення, що включають тільки одне короткочасне навантаження (у розглянутому випадку це вітрове навантаження), останнє приймається без зниження (тобто, коефіцієнт сполучень $\psi = 1,0$).

Формули (2.7), (2.8), наприклад у перерізі А, мають вигляд:

$$\text{поперечна сила } Q_{A6} = \sqrt{(Q_{A1})^2 + (Q_{A3})^2}, \quad (2.9)$$

$$\text{згинальний момент } m_{A6} = \sqrt{(m_{A1})^2 + (m_{A3})^2}. \quad (2.10)$$

Відповідно до формул (2.9), (2.10) обчислюємо для розглянутого режиму розрахункові значення поперечних сил і згинальних моментів (табл. 2.6).

Приймаємо, що координата перерізу Е дорівнює координаті режиму, де згинальний момент найбільший, тобто $x_{E6} = x_{E3} = 23,01$ м.

Епюри поперечних сил і згинальних моментів для сумарного навантаження мають вид, зображений на рис. 2.6.

Таблиця 2.6

№ пункту	Переріз (рис. 2.1, 2.3, 2.6)							
	А	Д		Е	С		У	
Поперечні сили, Н	Q_A	$Q_{1Д}$	$Q_{2Д}$	Q_E/x_E (м)	$Q_{2С}$	$Q_{3С}$	Q_B	
	2.1	689,2	341,6	223,0	0/21,55	-139,2	-257,8	-723,6
2.3	1136,8	653,0	456,5	0/23,01	-237,8	-434,2	-1326,9	
Розглянутий режим	2.6	1329,4	736,9	508,1	0/23,01	-275,5	-505,0	-1511,4
Згинальний момент, Нм	m_A	$m_Д$		m_E	$m_С$		m_B	
	2.1	0	20616		23018	22082		0
2.3	0	35796,1		41049,6	39625		0	
Розглянутий режим	2.6	0	41308		47063	45362		0

Знаходимо для епюри поперечних сил інтеграл $\int Q^2 dx$ (див. пункт 2.1.7) (рис. 2.6)

$$\int Q_6^2 dx = 9,567 \cdot 10^7 \text{ Н}^2\text{м.}$$

Епюри поперечних сил $Q(\text{Н})$ і згинальних моментів $m(\text{Нм})$
 $Q_A = 1329,4$ $Q_{1Д} = 736,9$

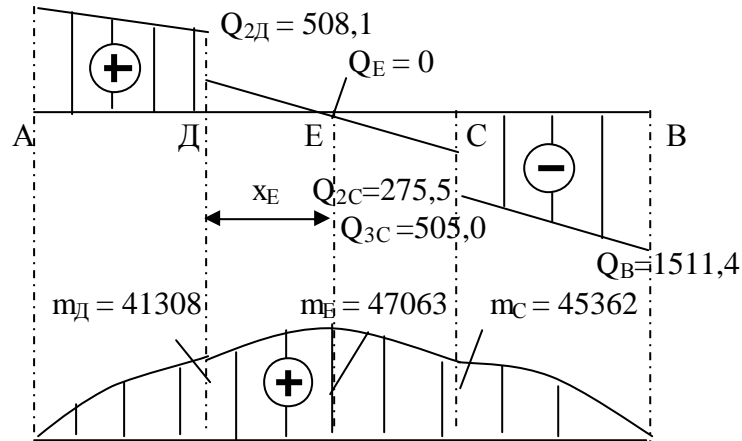


Рис. 2.6

2.7. Навантаження тросу власною вагою й ожеледдю (без вітру)

При розрахунку конструкцій на основні сполучення, що включають тільки одне короткочасне навантаження (у розглянутому випадку це навантаження від ожеледі), останнє приймається без зниження, тобто коефіцієнт сполучень $\psi = 1,0$ (СНиП). Формули (2.7), (2.8), наприклад у перерізі А, приймають вигляд

$$\text{поперечна сила } Q_{A7} = Q_{A1} + Q_{A2}, \quad (2.11)$$

$$\text{згинальний момент } m_{A7} = m_{A1} + m_{A2}. \quad (2.12)$$

Обчислюємо значення поперечних сил і згинальних моментів (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

№ пункту		Переріз (рис. 2.1, 2.2, 2.7)							
		А	Д		Е	С		У	
Поперечні сили, Н		Q_A	$Q_{1Д}$	$Q_{2Д}$	Q_E/x_E (м)	$Q_{2С}$	$Q_{3С}$	Q_B	
		2.1	689,2	341,6	223,0	0/21,55	-139,2	-257,8	-723,6
		2.2	2592,9	1459,8	1242,7	0/23,3	-624,4	-841,4	-3241,9
Розглянутий режим	2.7	3282	1801	1466	0/23,3	-763,6	-1099	-3966	
Згинальний момент, Нм		m_A	m_D		m_E	m_C		m_B	
		2.1	0	20616	23018	22082	0		
		2.2	0	81053	95528	91875	0		
Розглянутий режим	2.7	0	101669	118547	113956	0			

Приймаємо, що для даного режиму координата перерізу Е дорівнює координаті режиму, де згинальний момент найбільший, тобто $x_{E7} = x_{E2} = 23,3$ м. Епюри поперечних сил і згинальних моментів для сумарного навантаження мають вид, зображений на рис. 2.7.

Знаходимо для епюри поперечних сил інтеграл $\int Q^2 dx$ (див. пункт 2.1.7):

$$\int Q_7^2 dx = 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2\text{м.}$$

Епюри поперечних сил $Q(\text{Н})$ і згинальних моментів $m(\text{Нм})$

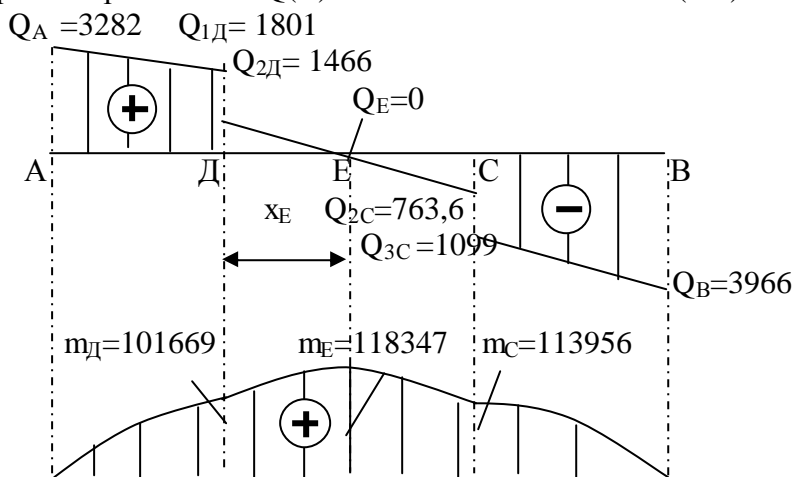


Рис. 2.7

2.8. Результати розрахунків поперечних сил і згинальних моментів

У табл. 2.8 наведені узагальнені результати розрахунків різних сполучень навантажень на трос з указівкою відповідної температури.

Таблиця 2.8

№ п/п	№ пункту	Навантаження	$t^\circ \text{C}$	Інтеграл $\int Q^2 dx, \text{Н}^2\text{м}$	Згинальний момент m_E , найбільший, Нм	Координата x_E , м
1	2.1	Власна вага конструкції	+40 -40 -5	$2,312 \cdot 10^7$	23018,2	21,55
2	2.5	Власна вага, вага ожеледі й вігер	-5	$6,02 \cdot 10^8$	118348,6	23,3
3	2.6	Власна вага й максимальний вігер	-5	$9,567 \cdot 10^7$	47062,8	23,0
4	2.7	Власна вага й вага ожеледі (без вітру)	-5	$6,039 \cdot 10^8$	118546,7	23,3

3. Визначення тяжіння троса N , напружень σ і стріл провисання f

При розрахунку троса необхідно забезпечити виконання умов міцності й визначити, що стріла провисання троса у всіх режимах не перевищує стрілу провисання $f_{\max} = 3$ м (п. 1.10), що допускається.

Перевірка умов міцності по методу граничних станів для центрально-розтягнутих елементів (троси, стержні та інші елементи) виконується відповідно до формул (СНиП):

$$\text{по напруженням } \sigma = N/A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_n \gamma_m, \quad (3.1)$$

$$\text{по зусиллях } N \leq U_m \gamma_c / \gamma_n \gamma_m. \quad (3.2)$$

Тут N – поздовжня сила, що має найбільше значення в точках А або В закріплення троса і поки невідома. При початкових розрахунках для троса приймаємо $N = H$, тобто сила N дорівнює горизонтальній складовій тяжіння;

A_n – площа поперечного переріза «нетто» (тобто з урахуванням ослаблення перерізу деталі отворами або іншими змінами форми перерізу); для розглянутого троса $A_n = A = 94,44 \text{ мм}^2$ (п. 1.4);

R_u – межа міцності матеріалу; приймаємо спочатку нижче значення межі міцності для даного троса – $R_u = 1372 \text{ МПа}$ (дод. 2), якщо умова міцності не виконується, то приймаються більші значення R_u ;

γ_c – коефіцієнт умов роботи конструкції, приймаємо $\gamma_c = 0,9$ (СНиП);

γ_m – коефіцієнт надійності матеріалу, приймаємо $\gamma_m = 1,1$ (СНиП);

$\gamma_n = 1,3$ – коефіцієнт надійності, що вводиться при розрахунках з використанням межі міцності R_u або при руйнівному навантаженні U_m ; при розрахунках з використанням границі текучості приймають $\gamma_n = 1,0$ (СНиП);

U_m – руйнівне навантаження для елемента, що розраховується;

для троса $U_m = 109500 \text{ Н}$ (дод. 2) при $\gamma_n = 1,3$.

Найбільші навантаження на трос (табл. 2.8) виникають у режимі ожеледі при температурі утворення ожеледі (без вітру) – п. 2.7 – далі цей режим будемо називати вихідним. Тому розглядаємо спочатку цей режим.

У залежності від навантажень і температури повітря вихідним може бути й інший режим.

Розрахунок троса при дії власної ваги, ожеледі і вітру (п. 2.5) далі не виконується, тому що значення згинальних моментів і інтеграла $\int Q^2 dx$ у цьому режимі не перевищують цих величини для вихідного режиму при дії власної ваги й ожеледі (без вітру) (п. 2.7), а температура та сама ($t_{\text{ож}} = -5^\circ \text{ С}$).

Розрахунок виконуємо по двох критеріях: за умовою міцності й за умовою обмеження найбільшої стріли провисання троса (обмеження деформацій). Ця вимога обумовлена необхідністю дотримання вертикальної відстані від елементів конструкції світильників до наземного транспорту або інших об'єктів у прольоті.

3.1. Розрахунок троса за умовою міцності

3.1.1. Режим ожеледі без вітру при температурі ожеледі $t_{\text{ож}} = -5^\circ \text{ С}$.

Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.7.

В умову міцності (3.1), (3.2), з огляду на те, що найбільший натяг троса буде в точках його закріплення й цей натяг поки невідомий, уводимо множник 0,9 і визначаємо з (3.1), (3.2) натяг троса у режимі ожеледі без вітру (п. 2.7).

$$3 (3.1) \quad H_7 \leq 0,9 A R_u \gamma_c / (\gamma_H \gamma_M) = 0,9 \cdot 94,44 \cdot 1372 \cdot 0,9 / (1,3 \cdot 1,1) = 73394 \text{ (Н)}.$$

$$3 (3.2) \quad H_7 \leq 0,9 U_m \gamma_c / (\gamma_H \gamma_M) = 0,9 \cdot 109500 \cdot 0,9 / (1,3 \cdot 1,1) = 62024 \text{ (Н)}.$$

З розрахунків приймаємо для забезпечення умов міцності менше значення, тобто $H_7 = 62024 \text{ (Н)}$.

Знаходимо найбільшу стрілу провисання в перерізі Е (п. 2.1 – формула 2.4) й порівнюємо зі стрілою провисання $f_{\max} = 3 \text{ м}$ (п. 1.10), що допускається, (умова обмеження деформацій)

$$f_7 = m_{E7} / H_7 = 1,91 \text{ м} \leq f_{\max} = 3 \text{ м}. \quad (3.3)$$

$$\text{Напруження в перерізі Е} \quad \sigma_{E7} = H_7 / A = 656 \text{ МПа}.$$

Обчислюємо натяг троса при ожеледі без вітру в точці закріплення [3]

$$T_{(\text{зак})7} = H_7 \sqrt{1 + (Q_B / H_7)^2} = 62151 \text{ (Н)}. \quad (3.4)$$

Тут $A = 94,44 \text{ мм}^2$ (див. п. 1.4), $m_{E7} = 118546,7 \text{ Нм}$ (п. 2.7), $|Q_B| = 3965,5 \text{ (Н)}$ (п. 2.7) – найбільше значення згинального моменту в прольоті й модуля поперечної сили на опорі А чи В.

Перевіряємо виконання умови міцності (3.2) у точці закріплення троса

$$N = T_{(\text{зак})7} = 62151 < U_m \gamma_c / (\gamma_H \gamma_M) = 109500 \cdot 0,9 / (1,3 \cdot 1,1) = 68916 \text{ (Н)},$$

де U_m – руйнівне навантаження для троса (додаток 2).

Умови обмеження деформацій (3.3) і міцності (3.2) виконуються.

Якщо умова міцності не виконується, то приймається менше значення натягу H_7 , так, щоб вертикальна стріла провисання в перерізі Е була б не більш той, що допускається (п. 1.10), або використовується більш якісна сталь, тобто приймаються більші значення R_u і U_m .

3.1.2. Режим нижчої температури ($t_H = -40^\circ\text{C}$, без вітру).

Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.1.

Натяг троса в будь-якому $i^{\text{ому}}$ режимі знаходимо в залежності від натягу вихідного режиму за формулою

$$H_i = n_i H_{\text{вих}}, \quad (3.5)$$

$$\text{де } n_i \text{ – корінь рівняння } n_i^3 + C n_i^2 - D = 0; \quad (3.6)$$

$$C = E A \left[\int Q_{\text{вих}}^2 dx / (2 \ell H_{\text{вих}}^3) + \alpha_t (t_i - t_{\text{вих}}) / H_{\text{вих}} \right] - 1; \quad (3.7)$$

$$D = E A \int Q_i^2 dx / (2 \ell H_{\text{вих}}^3); \quad (3.8)$$

Співвідношення (3.5)–(3.8) ураховують зміну навантаження на трос і зміну температури конструкції.

Рівняння (3.5)–(3.8) знайдені при розгляданні довжини троса для різноманітних випадків навантаження (ожеледь, вітер) і зміни температури навколишнього середовища [3].

У випадку, який розглядається, горизонтальний натяг троса у вихідному режимі $H_{\text{вих}} = H_7$, тобто $H_i = n_i H_7$, $\int Q_{\text{вих}}^2 dx = \int Q_7^2 dx$.

Тут
$$\left. \begin{aligned} H_7 &= 62024 \text{ (Н)}; \\ \int Q_7^2 dx &= 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2\text{м}; \\ t_{\text{вих}} &= t_{\text{ож}} = -5^\circ \text{С}; \end{aligned} \right\} \text{ – натяг троса } H_7, \int Q_7^2 dx \text{ (п. 2.7)}$$
 і температура $t_{\text{вих}}$ у вихідному, найбільш важкому режимі (табл. 2.8, п. 3.1.1); $H_i; \int Q_i^2 dx; t_i$ – натяг троса, інтеграл $\int Q_i^2 dx$ і температура в шуканому режимі;

$\ell = 120 \text{ м}; \alpha_t = 0,000012 \text{ } ^1/\text{град}; E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; A = 94,44 \text{ мм}^2$ (п. 1.2 і 1.4) – прольот, температурний коефіцієнт лінійного розширення, модуль пружності матеріалу і площа перерізу троса.

Розглядаємо режим нижчої температури без вітру, тобто $t_i = t_n = -40^\circ \text{С}$, $\int Q_i^2 dx = \int Q_1^2 dx = 2,312 \cdot 10^7 \text{ Н}^2\text{м}$, (табл. 2.8, п. 2.1).

Обчислюємо з (3.7), (3.8) значення C і D : $C = -0,9287; D = 0,007626$.

Рівняння (3.6) розв'язуємо послідовною підстановкою значень n у співвідношення

$$z = n_i^3 + C n_i^2 - D. \quad (3.9)$$

Спочатку за допомогою рис. 3.1, 3.2 знаходимо перше наближене значення кореня рівняння (3.6). Для $C = -0,9287$ і $D = 0,007626$ перше наближене $n \approx 0,9$ – рис. 3.2.

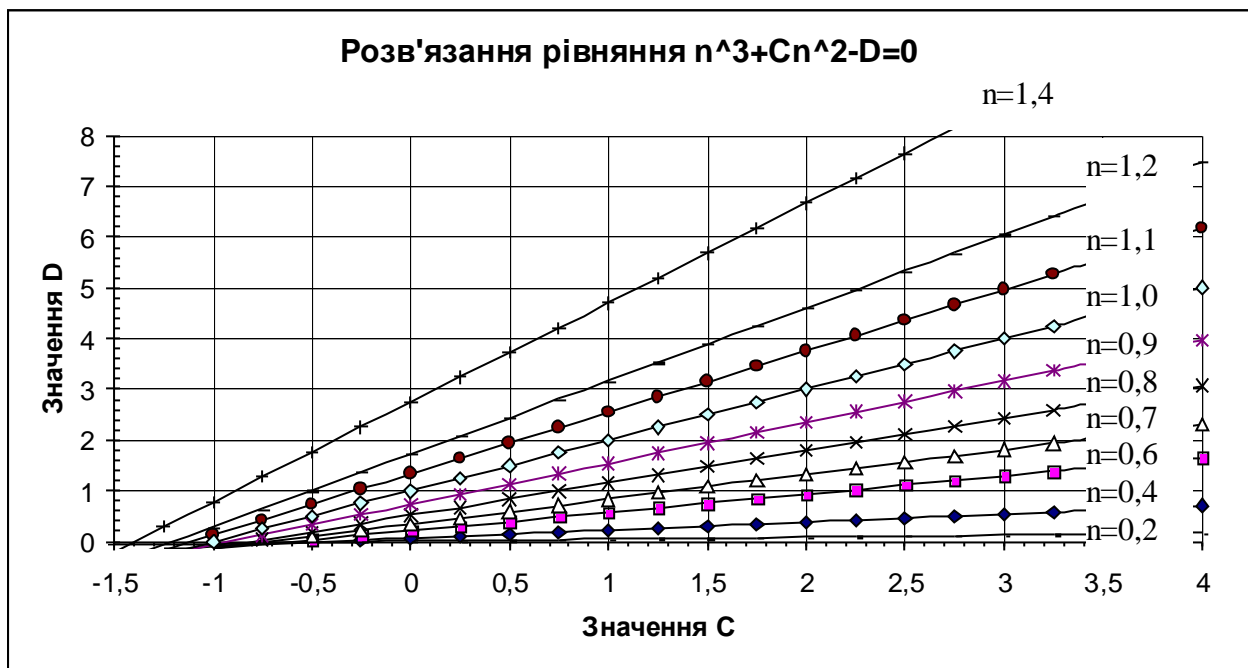


Рис. 3.1

Обчислюємо далі (3.9) при деяких значеннях n , котрі близькі до n' , і знаходимо значення n на границі зміни знака z при значеннях z , що мають не менш двох нулів після коми (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Режим нижчої температури ($t_n = -40^\circ \text{С}$, без вітру), $C = -0,9287; D = 0,007626$				
n	0,85	0,9	0,937	0,95
z	-0,0645	-0,0309	-0,0004	0,0116

З таблиці видно, що наближене значення кореня рівняння (3.6)

$$n_H = 0,937.$$

Натяг троса в режимі нижчої температури без вітру знаходимо з (3.5)

$$H_H = n_H H_7 = 0,937 \cdot 62024 = 58117 \text{ (Н)}.$$

Напруження в перерізі Е $\sigma_{EH} = H_H / A = 615 \text{ МПа}$.

Знаходимо стрілу провисання в перерізі Е з (2.4) ($m_{EH} = 23018,2 \text{ Нм}$ – табл. 2.8, п. 2.1) і перевіряємо умову обмеження деформацій (3.3):

$$f_{EH} = m_{EH} / H_H = 0,396 \text{ м} \leq f_{\max} = 3 \text{ м}.$$

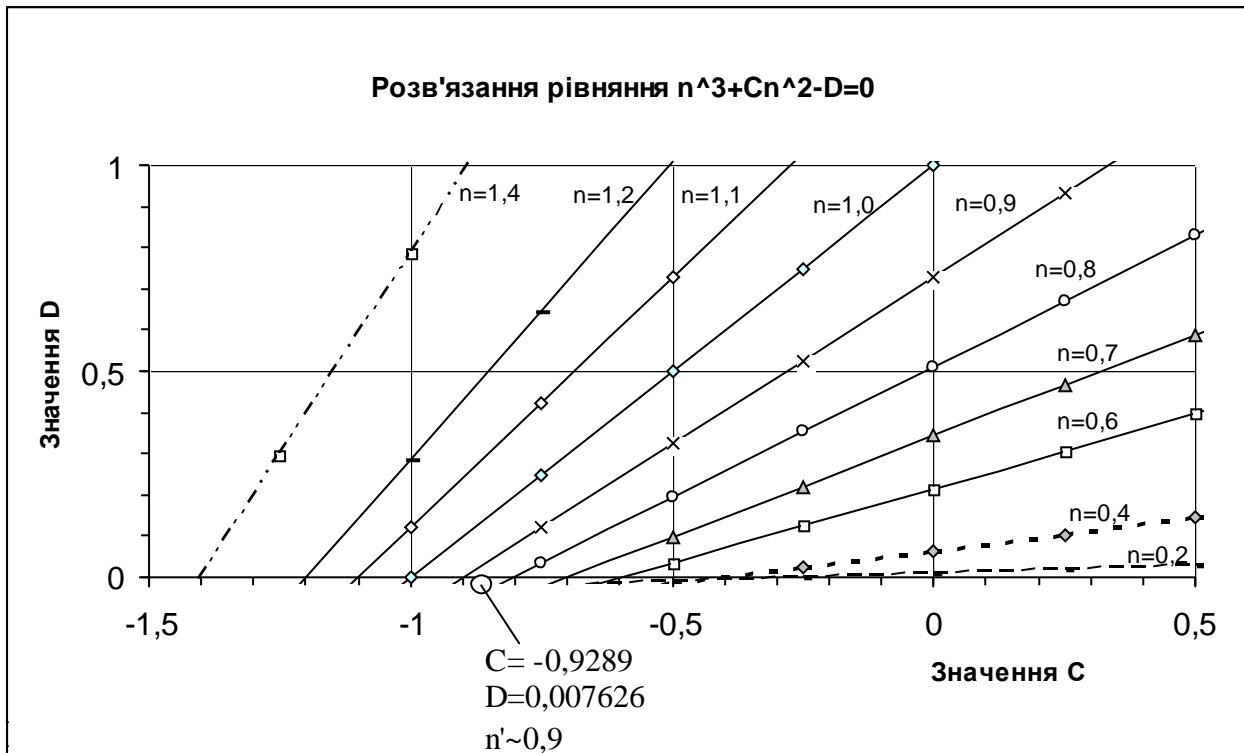


Рис. 3.2

$$T_{(\text{зак})H} = H_H \sqrt{1 + (Q_{BH} / H_H)^2} = 58239 \text{ (Н)},$$

де $Q_{BH} = 723,6 \text{ (Н)}$ – найбільше значення модуля поперечної сили в точці А або В закріплення троса (п. 2.1).

Перевіряємо виконання умови міцності (3.2) у точці закріплення троса

$$N = T_{(\text{зак})H} = 58239 < U_m \gamma_c / (\gamma_H \gamma_M) = 109500 \cdot 0,9 / (1,3 \cdot 1,1) = 68916 \text{ (Н)}.$$

Умови обмеження деформацій (3.3) і міцності (3.2) виконуються.

З обчислень видно, що натяг троса й напруження в перерізі Е в режимі нижчої температури без вітру менше, ніж у режимі ожеледі без вітру.

3.1.3. Режим вищої температури ($t_b = + 40^\circ\text{C}$, без вітру)

Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.1.

Послідовність обчислень викладена в п. 3.1.2.

Значення Е, А, ℓ , α_t – див. п. 3.1.2;

$$H_7 = 62024 \text{ (Н)};$$

$$\int Q_7^2 dx = 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2\text{м};$$

$$t_7 = -5^\circ \text{C};$$

$$\int Q_i^2 dx = \int Q_1^2 dx = 2,312 \cdot 10^7 \text{ Н}^2\text{м}, (\text{табл. 2.8, п. 2.1});$$

$$t_i = t_B = +40^\circ \text{C}.$$

Обчислюємо з (3.7), (3.8) $C = -0,6364$; $D = 0,00763$ і знаходимо з рис. 3.2 $n_B' \approx 0,6$.

Далі обчислюємо (3.9) при деяких значеннях n , котрі близькі до n_B' , і знаходимо значення n на границі зміни знака z при значеннях z , що мають не менш двох нулів після коми (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Режим вищої температури ($t_B = +40^\circ \text{C}$, без вітру), $C = -0,6364$; $D = 0,00763$				
n	0,6	0,65	0,654	0,7
z	-0,0207	-0,0187	$-8,4 \cdot 10^{-5}$	0,0235

З таблиці видно, що наближене значення кореня (3.6) $n_B = 0,654$.

Знаходимо: натяг троса в режимі вищої температури без вітру за формулою (3.5)

$$H_B = n_B H_7 = 40564 \text{ (Н)};$$

напруження в перерізі E $\sigma_{EB} = H_B / A = 429 \text{ МПа}$;

найбільшу стрілу провисання в перерізі E ($m_{EB} = 23018,2 \text{ Нм}$ – табл. 2.8) і перевіряємо умову обмеження деформацій (3.3)

$$f_{EB} = m_{EB} / H_B = 0,567 \text{ м} < f_{\text{max}} = 3 \text{ м}.$$

Умова обмеження деформацій виконується.

Умова міцності (3.2) виконується, тому що натяг троса в розглянутому режимі значно менше, ніж у вихідному: $H_B = 40564 \text{ (Н)} < H_7 = 62024 \text{ (Н)}$.

3.1.4. Максимальний вітер при температурі ожеледі.

Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.6.

Послідовність обчислень викладена в п. 3.1.2.

Значення E , A , l , α_t – див. п. 1 чи п. 3.1.2;

$$H_7 = 62024 \text{ (Н)};$$

$$\int Q_7^2 dx = 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2\text{м};$$

$$t_7 = -5^\circ \text{C};$$

$$\int Q_i^2 dx = \int Q_6^2 dx = 9,567 \cdot 10^7 \text{ Н}^2\text{м}, (\text{табл. 2.8, п. 2.6});$$

$$t_i = t_{\text{ож}} = -5^\circ \text{C}.$$

Обчислюємо з (3.7), (3.8) $C = -0,801$; $D = 0,0316$ і знаходимо з рис. 3.2 $n_6' \approx 0,8$.

Далі обчислюємо (3.9) при деяких значеннях n , котрі близькі до n_6' , і знаходимо значення n на границі зміни знака z при значеннях z , що мають не менш двох нулів після коми (табл. 3.3).

З таблиці видно, що наближене значення кореня (3.6) $n_6 = 0,845$.

Таблиця 3.3

Максимальний вітер при температурі ожеледі $t_{ож} = -5^{\circ} \text{C}$. $C = -0,801; D = 0,0316$				
n	0,75	0,8	0,845	0,85
z	-0,0601	-0,0321	$-2,5 \cdot 10^{-6}$	0,0039

Обчислюємо: натяг троса в режимі максимального вітру за формулою (3.5)

$$H_6 = n_6 H_7 = 52411(\text{H});$$

напруження в перерізі E $\sigma_{E6} = H_6 / A = 555,0 \text{ МПа};$

найбільшу стрілу провисання в перерізі E ($m_{E6} = 47062,8 \text{ Нм}$ – п. 2.6) і перевіряємо умову обмеження деформацій (3.3)

$$f_6 = m_6 / H_6 = 0,898 \text{ м} < f_{\max} = 3 \text{ м}.$$

Умова обмеження деформацій (3.3) виконується. Умова міцності (3.2) виконується, тому що $H_6 = 52411 (\text{H}) < H_7 = 62024 (\text{H})$.

3.2. Розрахунок троса по найбільшій стрілі провисання

Розрахунок троса виконаємо також за умови, що найбільша стріла провисання троса в прольоті $f_{\max} = 3 \text{ м}$ (п. 1.10), тобто з умови обмеження деформацій.

3.2.1. Режим ожеледі без вітру при температурі ожеледі $t_{ож} = -5^{\circ} \text{C}$

У цьому випадку, для найбільш навантаженого режиму ожеледі без вітру – п. 2.7 (вихідний режим) приймаємо, що $f_{E7}^1 = f_{\max} = 3 \text{ м}$, і знаходимо з (3.3) натяг троса

$$H_7^1 = m_{E7} / f_{E7}^1 = 39516 (\text{H}),$$

де $m_{E7} = 118547 \text{ Нм}$ (п. 2.7) – найбільше значення згинального моменту.

Обчислюємо з (3.4) натяг у точці закріплення троса

$$T_{(зак)7}^1 = H_7^1 \sqrt{1 + (Q_B / H_7^1)^2} = 39714(\text{H}).$$

Тут $|Q_B| = 3966 (\text{H})$ (п.2.7) – найбільше значення модуля поперечної сили у точці закріплення троса.

Перевіряємо виконання умови міцності (3.2)

$$N = T_{(зак)7}^1 = 39714 (\text{H}) < U_m \gamma_c / (\gamma_n \gamma_m) = 109500 \cdot 0,9 / (1,3 \cdot 1,1) = 68916 (\text{H}). \quad (3.10)$$

Умова міцності й обмеження деформацій (тому що $f_{E7}^1 = f_{\max} = 3 \text{ м}$) виконуються.

Зусилля $T_{(зак)7}^1 = 39714 (\text{H})$ для найбільш важкого вихідного режиму значно менше зусилля, що допускається, які обчислені в правій частині нерівності (3.10) і дорівнюють $68916(\text{H})$. Тому для інших режимів натяг у точці закріплення троса далі не обчислюємо.

3.2.2. Режим нижчої температури ($t_n = -40^\circ\text{C}$, без вітру)

Методика обчислень викладена в п. 3.1.2.

Розглядаємо режим нижчої температури без вітру, тобто $t_i = t_n = -40^\circ\text{C}$,

$$\int Q_i^2 dx = \int Q_1^2 dx = 2,312 \cdot 10^7 \text{ Н}^2\text{м}, (\text{табл. 2.8, п. 2.1}),$$

$$H_7^1 = 39516 \text{ (Н)} \text{ (п. 3.2.1);}$$

$$\int Q_7^2 dx = 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2\text{м} \text{ (п. 2.7);}$$

$$t_{\text{исх}} = t_{\text{ож}} = -5^\circ\text{C} \text{ (табл. 2.8, п. 3.1);}$$

$\ell = 120 \text{ м}$; $\alpha_t = 0,000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ / град; $E = 200000 \text{ МПа}$; $A = 94,44 \text{ мм}^2$ (п. 1.2 і 1.4) – проліт, температурний коефіцієнт лінійного розширення, модуль пружності матеріалу і площа перерізу троса.

Обчислюємо з (3.7), (3.8) значення C і D : $C = -0,43047$; $D = 0,02949$ і знаходимо з рис. 3.2 $n_6 \approx 0,5$.

Рівняння (3.6) вирішуємо підстановкою значень n у співвідношення (3.9) і знаходимо величину n на границі зміни знака z (табл. 3.4). З таблиці видно, що наближене значення кореня рівняння (3.6) $n_n = 0,534$.

Таблиця 3.4

Режим нижчої температури ($t_n = -40^\circ\text{C}$, без вітру). $C = -0,43047$; $D = 0,02949$.				
n	0,5	0,52	0,534	0,56
z	-0,0121	-0,00528	0,0000308	0,0111

Знаходимо: натяг троса в режимі нижчої температури за формулою (3.5)

$$H_n^1 = n_n H_7^1 = 21101 \text{ (Н)} < H_7 = 62024 \text{ (Н)};$$

напруження в перерізі E $\sigma_{En}^1 = H_n^1 / A = 224 \text{ МПа}$.

Стріла провисання в перерізі E знаходиться з (2.4) ($m_E = 23018,2 \text{ Нм}$ – п. 2.8)

$$f_{En}^1 = m_E / H_n^1 = 1,091 \text{ м} < f_{\text{max}} = 3 \text{ м}.$$

Умови обмеження деформацій (3.3) і міцності (3.2) виконуються, тому що $H_n^1 = 21101 \text{ (Н)} < H_7 = 62024 \text{ (Н)}$.

3.2.3. Режим вищої температури ($t_b = +40^\circ\text{C}$, без вітру)

Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.1.

Послідовність обчислень викладена в п. 3.1.2.

Значення E , A , ℓ , α_t – див. п. 1 чи п. 3.2.2;

$$\int Q_i^2 dx = \int Q_1^2 dx = 2,312 \cdot 10^7 \text{ Н}^2\text{м}, (\text{табл. 2.8, п. 2.1}),$$

$$H_7^1 = 39516 \text{ (Н)} \text{ (п. 3.2.1);}$$

$$\int Q_7^2 dx = 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2\text{м} \text{ (п. 2.7);}$$

$$t_{\text{исх}} = t_{\text{ож}} = -5^\circ\text{C} \text{ (табл. 2.8, п. 3.1);}$$

$$t_i = t_b = +40^\circ\text{C}.$$

Обчислюємо з (3.7), (3.8) $C = -0,02839$; $D = 0,02949$ і знаходимо з рис. 3.2 $n_b \approx 0,25$.

Рівняння (3.6) вирішуємо послідовною підстановкою значень n у співвідношення (3.9). Результати обчислень дані в табл. 3.5. З таблиці видно, що наближене значення кореня рівняння (3.6) $n_B = 0,3$.

Таблиця 3.5

Режим вищої температури ($t_B = +40^\circ \text{C}$, без вітру), $C = 0,02839$; $D = 0,02949$				
n	0,25	0,275	0,3	0,325
z	-0,01209	-0,00655	$6,55 \cdot 10^{-3}$	0,00784

Визначаємо: натяг троса за формулою (3.5)

$$H_B^1 = n_B H_7^1 = 11855 \text{ (Н)} < H_7^1 = 39516 \text{ (Н)};$$

напруження в перерізі E $\sigma_{EB}^1 = H_B^1 / A = 125,5 \text{ МПа}$;

стрілу провисання в перерізі E знаходимо з (2.4) ($m_{EB} = 23018,2 \text{ Нм}$ – п. 2.8)

$$f_{EB}^1 = m_{EB} / H_B^1 = 1,94 \text{ м} < f_{\max} = 3 \text{ м}.$$

Для цього режиму обов'язково перевіряємо виконання умови обмеження деформацій, тому що найбільший прогин троса може бути в режимі найбільшого навантаження або в режимі вищої температури.

Умови міцності й обмеження деформацій виконуються.

3.2.4. Максимальний вітер при температурі ожеледі

Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.6.

Послідовність обчислень викладена в п. 3.1.2.

Значення E , A , l , α_t – див. п. 1 чи п. 3.1.2;

$$\int Q_i^2 dx = \int Q_6^2 dx = 9,567 \cdot 10^7 \text{ Н}^2 \text{м}, (\text{табл. 2.8, п. 2.6});$$

$$H_7^1 = 39516 \text{ (Н)};$$

$$\int Q_7^2 dx = 6,039 \cdot 10^8 \text{ Н}^2 \text{м};$$

$$t_{\text{исх}} = t_r = -5^\circ \text{C};$$

$$t_i = t_{\text{ож}} = -5^\circ \text{C}.$$

З (3.7), (3.8) обчислимо $C = -0,2297$; $D = 0,122$ й знаходимо з рис. 3.2 $n_6 \approx 0,55$.

Рівняння (3.6) вирішуємо послідовною підстановкою значень n у співвідношення (3.9). Результати обчислень дані в табл. 3.6. З таблиці видно, що наближене значення кореня (3.6) $n_6 = 0,585$.

Таблиця 3.6

Максимальний вітер при температурі ожеледі $t_{\text{ож}} = -5^\circ \text{C}$. $C = -0,2297$; $D = 0,122$				
n	0,55	0,575	0,585	0,6
z	-0,0251	-0,00786	-0,00044	0,0113

Обчислюємо натяг троса за формулою (3.5)

$$H_6^1 = n_6 H_7^1 = 23117 \text{ (Н)} < H_7^1 = 39516 \text{ (Н)};$$

напруження в перерізі E $\sigma_{E6}^1 = H_6^1 / A = 245 \text{ МПа};$

найбільшу стрілу провисання в перерізі E ($m_{E6} = 47063 \text{ Нм} - \text{п. 2.6}$)

$$f_{E6}^1 = m_{E6} / H_6^1 = 2,03 \text{ м} < f_{\text{max}} = 3 \text{ м.}$$

Умови міцності й обмеження деформацій виконуються.

4. Висновки

Результати розрахунків троса підвісних світильників за умовою міцності наведені в табл. 4.1, а по найбільшій стрілі провисання в табл. 4.2.

В усіх розглянутих режимах з урахуванням власної ваги, ожеледі й вітрових навантажень виконуються умови міцності.

Найбільша стріла провисання при розрахунку троса підвісних світильників за умовою міцності в найбільш важкому режимі ожеледі без вітру дорівнює 1,91 м (табл. 4.1), а для того ж режиму для випадку, коли задана максимальна стріла провисання, вона дорівнює 3 м (табл. 4.2).

У табл. 4.3 наведено для розглянутих режимів натяг троса $H_{\text{міц}}$, обчислене за умовою міцності, і натяг троса $H_{\text{пров}}$, знайдений по максимальній стрілі провисання, і їхнє відношення $H_{\text{міц}} / H_{\text{пров}}$. Видно, що в другому випадку натяг троса й напруження у всіх розглянутих режимах істотно менше (у 1,57...3,42разу), що дає можливість значно підвищити надійність підвіски троса, зменшити навантаження на конструкції, до яких закріплен трос, спростити монтаж і збільшити ресурс роботи троса.

Таблиця 4.1

Результати розрахунку троса за умовою міцності						
№ п/п	№ пункту	Навантаження	t° C	Натяг троса $H_{\text{міц}}$, (Н)	Напруження у перерізі E, МПа	Стріла провисання, м
1	2.1	Власна вага конструкції (нища температура)	-40	58117	615	0,396
2	2.1	Власна вага конструкції (вища температура)	+40	40564	429	0,567
3	2.6	Вагова й максимальна вітрова (без ожеледі)	-5	52411	555	0,898
4	2.7	Власна вага з ожеледдю (без вітру)	-5	62024	656	1,91

Таблиця 4.2

Результати розрахунку троса по найбільшій стрілі провисання						
№ п/п	№ пункту	Навантаження	t° C	Натяг троса Н _{пров} , (Н)	Напруження у перерізі Е, МПа	Стріла провисання, м
1	2.1	Власна вага конструкції (нища температура)	-40	21101	224	1,09
2	2.1	Власна вага конструкції (вища температура)	+40	11855	125,5	1,94
3	2.6	Вагова й максимальна вігрова (без ожеледі)	-5	23117	244,8	2,03
4	2.7	Власна вага з ожеледдю (без вітру)	-5	39516	421	3

Таблиця 4.3

№ п/п	№ пункту	Навантаження	t° C	Натяг троса Н _{міц} , (Н)	Натяг троса Н _{пров} , (Н)	Н _{міц} /Н _{пров}
1	2.1	Власна вага конструкції (нища температура)	-40	58117	21101	2,75
2	2.1	Власна вага конструкції (вища температура)	+40	40564	11855	3,42
3	2.6	Вагова й максимальна вігрова (без ожеледі)	-5	52411	23117	2,27
4	2.7	Власна вага з ожеледдю (без вітру)	-5	62024	39516	1,57

Тому, приймаємо для умов експлуатації результати розрахунку троса підвіски світильників, виконані по найбільшій стрілі провисання (табл. 4.2).

4.2. Монтажний режим (без вітру)

Виконаємо розрахунок зусиль натягу й стрілі провисання при монтажу троса (без вітру). Навантаження для цього режиму визначені в п. 2.1.

Монтаж троса може здійснюватись при різній температурі. При монтажі виконується контроль величини натягу або перевіряється стріла провисання троса. При виконанні монтажних умов натяг троса й стріла провисання в інших режимах, у тому числі й у найбільш важкому режимі при навантаженні власною вагою з ожеледдю без вітру (п. 2.7), будуть відповідати розрахунковим значенням.

У табл. 4.4 й на рис. 4.1. наведені значення температури й відповідні розрахункові значення тяжіння троса Н_{роз} й стріли провисання f_{роз}, які обчислені по методиці п. 3.1.2 за допомогою програми Microsoft Excel на ділянці зміни температури t від -40°C до +40°C з кроком 5°C. Також знайдені рівняння (табл. 4.5), котрі апроксимують функції тяжіння троса Н_{пр} й стріли провисання f_{пр} на окремих проміжках температури от -40°C до 0 і от 0 до

+40°C лінійною функцією. Параметри відповідних прямих знайдено за координатами двох граничних точок початку й кінця кожного проміжку t_1 , $H_{p03}(t_1)$, $f_{p03}(t_1)$ і t_2 , $H_{p03}(t_2)$, $f_{p03}(t_2)$ з рівнянь:

$$H_{пр}(t) = K_H t + B_H, \quad (3.12)$$

$$\text{де } K_H = [H_{p03}(t_2) - H_{p03}(t_1)] / (t_2 - t_1), \quad B_H = -K_H t_1 + H_{p03}(t_1) = H_{p03}(t=0); \quad (3.13)$$

$$f_{пр}(t) = K_f t + B_f, \quad (3.14)$$

$$\text{де } K_f = [f_{p03}(t_2) - f_{p03}(t_1)] / (t_2 - t_1), \quad B_f = -K_f t_1 + f_{p03}(t_1) = f_{p03}(t=0). \quad (3.15)$$

У табл. 4.4 наведені також значення тяжіння троса $H_{пр}$ й стріли провисання $f_{пр}$, які обчислені за формулами (3.12) – (3.15). З табл. 4.4 видно, що відносна похибка апроксимації лінійною функцією розрахункових значень тяжіння троса H_{p03} й стріли провисання f_{p03} відповідними значеннями $H_{пр}$ й $f_{пр}$ не перевищує 1,66 %. Похибка апроксимації розрахована за формулами:

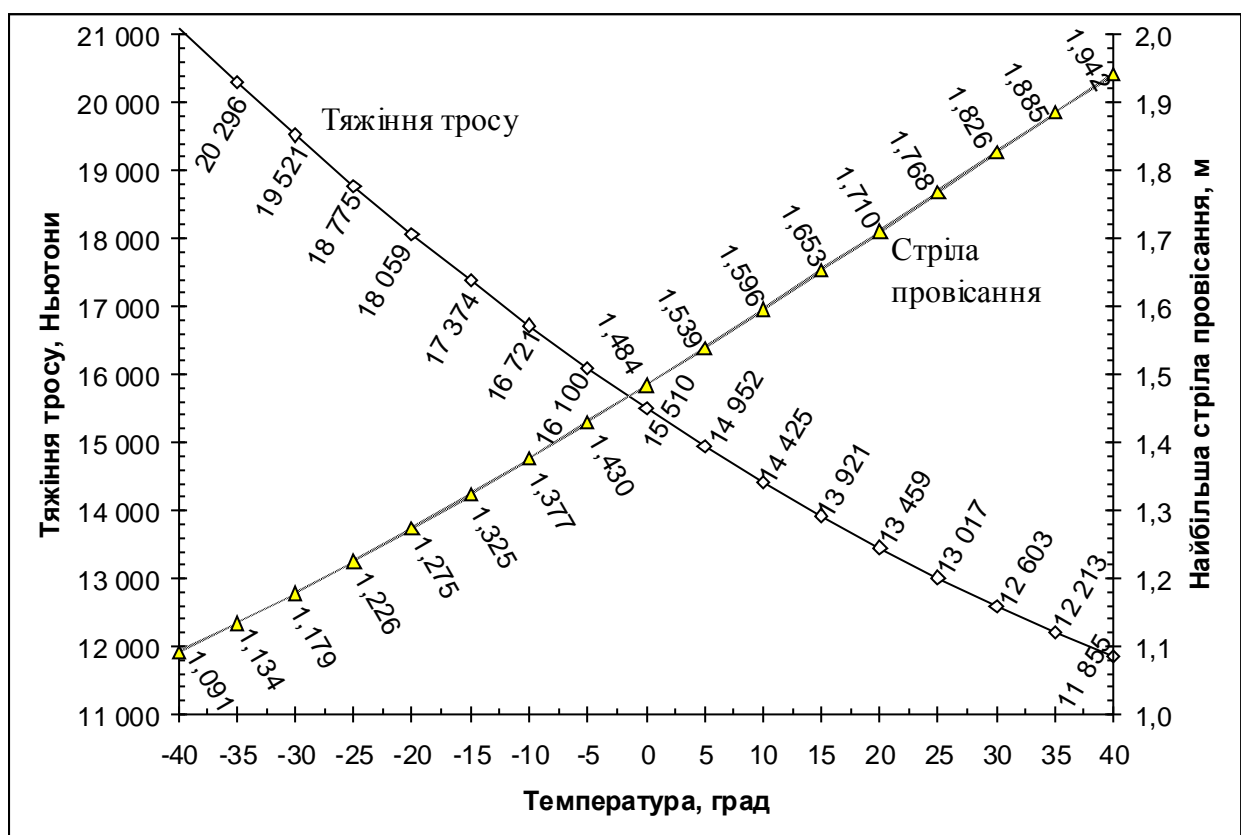


Рис. 4.1

$$(H_{p03} - H_{пр})100/H_{p03} \quad \text{і} \quad (f_{p03} - f_{пр})100/f_{p03} (\%).$$

Примітка. При виконанні проекту студенти використовують результати розрахунків значень H_{p03} й f_{p03} при температурі $-40, 0, +40^\circ\text{C}$. Проміжні значення з кроком 5°C обчислюють за формулами (3.12) – (3.15).

Таблиця 4.4

Температура, град. С	Тяжіння тросу, Н			Стріла провисання, м		
	$H_{роз}$	$H_{пр}$	Похибка, %	$f_{роз}$	$f_{пр}$	Похибка, %
-40	21 101	21 101	0,00	1,091	1,091	0,00
-35	20 296	20 402	-0,52	1,134	1,140	-0,52
-30	19 521	19 703	-0,94	1,179	1,189	-0,85
-25	18 775	19 005	-1,22	1,226	1,238	-1,00
-20	18 059	18 306	-1,37	1,275	1,287	-1,01
-15	17 374	17 607	-1,34	1,325	1,337	-0,89
-10	16 721	16 908	-1,12	1,377	1,386	-0,67
-5	16 100	16 209	-0,68	1,430	1,435	-0,36
0	15 510	15 510	0,00	1,484	1,484	0,00
5	14 952	15 053	-0,68	1,539	1,541	-0,12
10	14 425	14 596	-1,19	1,596	1,598	-0,17
15	13 921	14 139	-1,56	1,653	1,656	-0,14
20	13 459	13 682	-1,66	1,710	1,713	-0,15
25	13 017	13 226	-1,60	1,768	1,770	-0,10
30	12 603	12 769	-1,32	1,826	1,827	-0,05
35	12 213	12 312	-0,81	1,885	1,884	0,02
40	11 855	11 855	0,00	1,942	1,942	0,00

Таблиця 4.5

Темпер. $t_1 / t_2, ^\circ\text{C}$	$H_{роз}(t_1) /$ $H_{роз}(t_2), \text{H}$	$K_n,$ $\text{H} / ^\circ\text{C}$	$B_n,$ H	$f_{роз}(t_1) /$ $f_{роз}(t_2), \text{м}$	$K_f,$ $\text{м} / ^\circ\text{C}$	$B_f,$ м
-40 / 0	21101 / 15510	-139,78	15510	1,091 / 1,484	0,00983	1,484
Рівняння	$H_{пр}(t) = -139,78 t + 15510$			$f_{пр}(t) = 0,00983 t + 1,484$		
0 / +40	15510 / 11855	-91,38	15510	1,484 / 1,942	0,0114	1,484
Рівняння	$H_{пр}(t) = -91,38 t + 15510$			$f_{пр}(t) = 0,0114 t + 1,484$		

Результати розрахунків:

навантаження на трос – табл. 2.8,

натяг троса, напруження й стріли провисання – табл. 4.2,

монтажні дані – табл. 4.4, рис. 4.1.

Креслення підвіски світильників виконати на листу формату А3, на якому вказати розміри троса, розміри світильника, характер місцевості, район кліматичних умов, температуру повітря, висоту точок закріплення троса, найбільшу стрілу прогину троса, ділянку струмопідведення, таблицю монтажних даних (табл. 4.4).

РОЗРАХУНОК ОПОРИ ОО-12-РЗ-1 КОНСОЛЬНОГО СВІТИЛЬНИКА

5. Вихідні дані

- 5.1. Світильник верхній (дод.1). Тип 7– ЖКУ15-400-101. Маса 14 кг.
Вага світильника $G_1 = 14 \cdot 9,8 = 137,2 \text{ Н}$.
Розміри світильника:
довжина $\ell_c = 795 \text{ мм}$,
ширина $a_c = 375 \text{ мм}$,
висота $h_c = 355 \text{ мм}$.
- 5.2. Світильник нижній (дод.1) РОТУ06-125-004. Маса 5 кг.
Розміри світильника: діаметр $d_H = 400 \text{ мм}$, висота $h_H = 470 \text{ мм}$.
- 5.3. Опора (додаток 4). Тип 3-ОО-12-РЗ-1 (рис. 6.1). Маса 319 кг.
Розміри:
 $h_1 = 3,5 \text{ м}$;
 $h_2 = 5,5 \text{ м}$;
 $h_3 = 3 \text{ м}$;
 $h_4 = 0,5 \text{ м}$;
 $h_5 = 4,5 \text{ м}$.
- Діаметри труб: (ділянка h_1) 168 мм;
(ділянка h_2) 133 мм;
(ділянка h_3) 76 мм.
- Виліт світильника: $a_1 = 2000 \text{ мм} + 200 \text{ мм} + \ell_c / 2 = 2,6$
м.
- 5.4. Нормативна товщина стінки ожеледі (V район по ожеледі): $b_0 = 20 \text{ мм}$.
- 5.5. Місцевість типу А.
- 5.6. Висота підвіски світильника $h_0 = 12 \text{ м}$.
- 5.7. Тиск вітру нормативний (V вітровий район): $w_0 = 600 \text{ Н/м}^2$.

6. Розрахунок навантажень

Для розрахунку необхідно визначити у відповідних перерізах згинальні моменти, що знаходяться методом перерізів. Схема навантажень й схема для обчислення згинальних моментів дана на рис. 6.1,а,б і на рис. 6.2.

Розглядаємо різні випадки навантаження опори, будуємо епюри і визначаємо для кожної труби максимальні згинальні моменти, що для вертикальної стійки будуть у перерізах стику труб С, В, А. При розрахунках вплив поздовжніх й поперечних сил незначний і вони не враховуються.

6.1. Навантаження від власної ваги

На рис. 6.2 дана схема навантаження для перерізу 1–1. При розрахунку згинальних моментів від власної ваги елементів конструкції (G_1 , q_1) записуємо рівняння рівноваги

$$\sum m_{(1)} = -G_1 a_1 - q_1 (a_1 - \ell_c / 2)^2 / 2 - m_1 = 0,$$

з якого знаходимо згинальний момент m_1 .

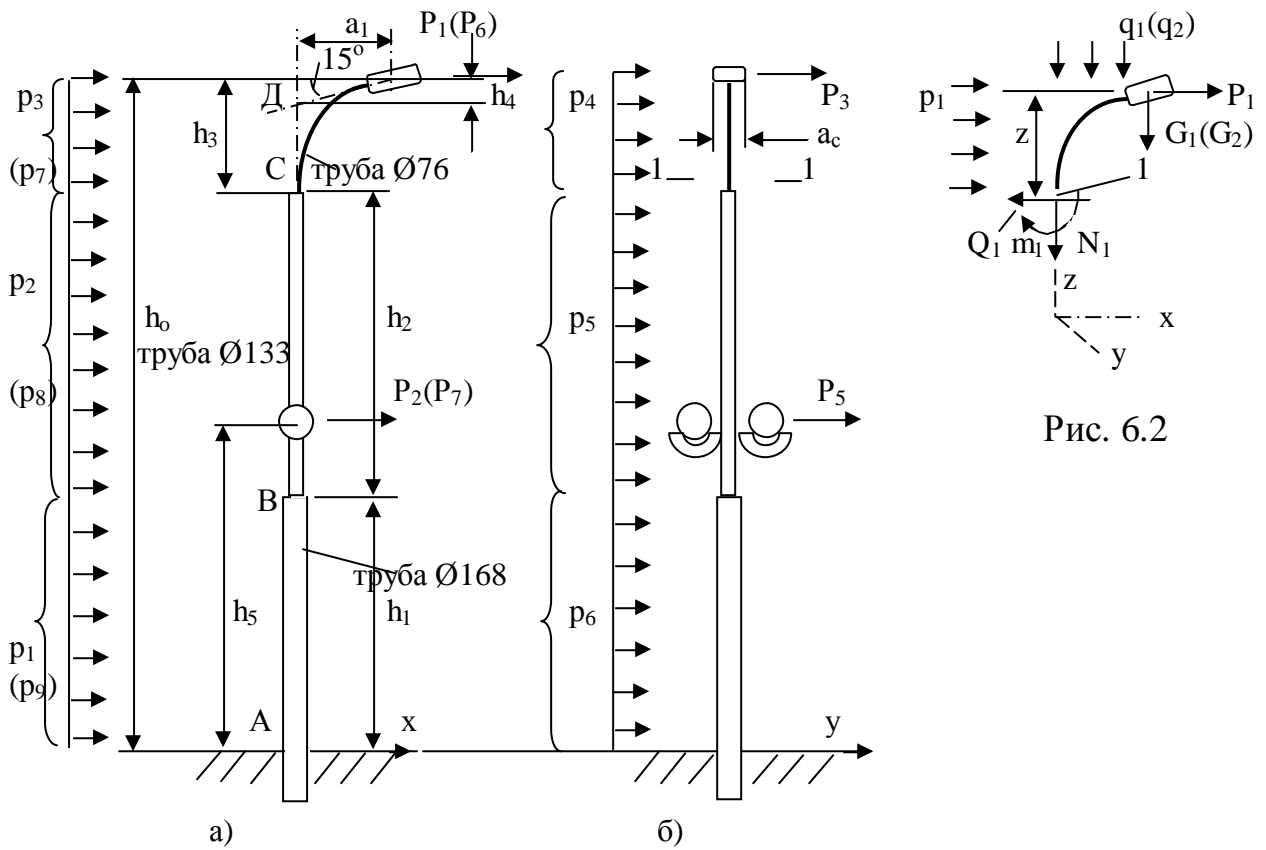
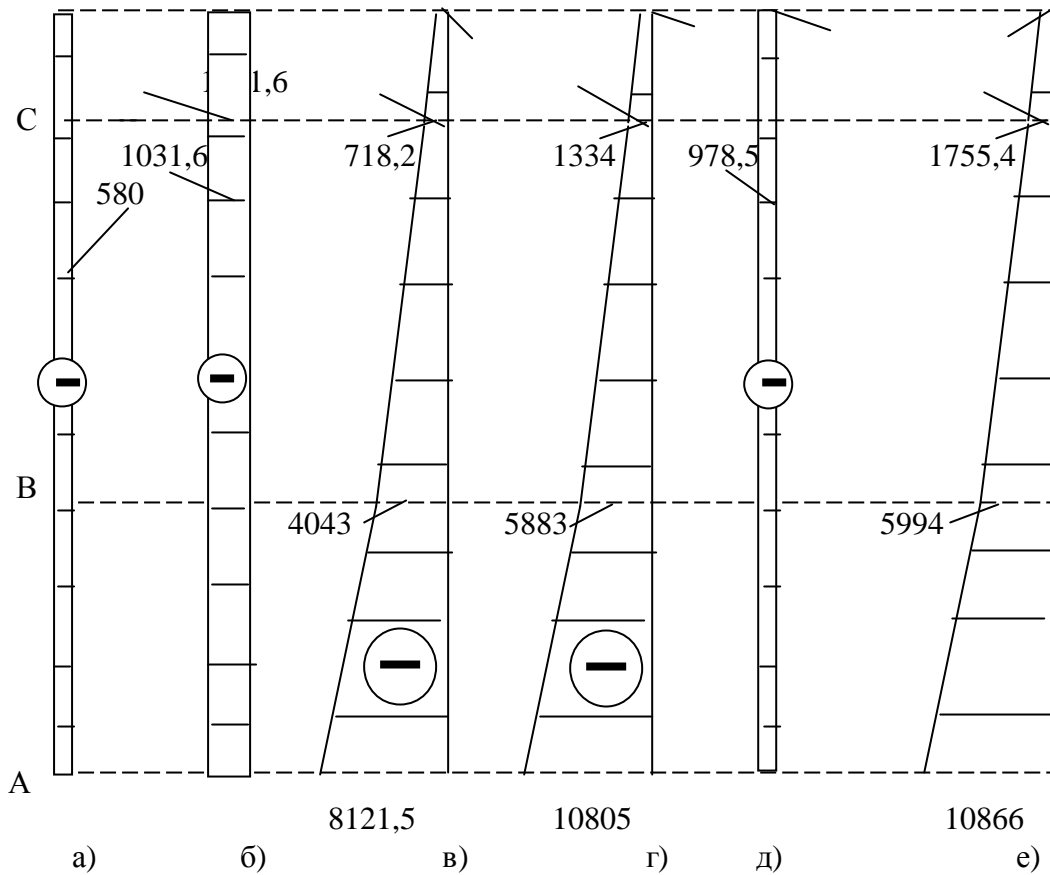


Рис. 6.2

Рис. 6.1



Епюри згинальних (а,б,в,г), крутних (д) і приведених (е) моментів (Нм).

Рис. 6.3

Обчислюємо розрахунковий згинальний момент у перерізах С, В, А:

$$m_1 = m_c = m_b = m_a = \gamma_f [-G_1 a_1 - q_1 (a_1 - \ell_c/2)^2/2] = -580 \text{ Нм.}$$

Тут $G_1 = 137,2 \text{ Н}$ (п. 5.1), $a_1 = 2,6 \text{ м}$ (п. 5.3), $q_1 = \pi (d_o^2 - d_1^2) \gamma_{ст} \cdot 10^3/4 = 70,6 \text{ Н/м}$ – вага 1 м сталюї труби діаметром $d_o = 76 \text{ мм}$ при товщині стінки 4 мм ($d_1 = 68 \text{ мм}$), якщо питома вага сталі $\gamma_{ст} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ Н/мм}^3$, $\ell_c = 795 \text{ мм} = 0,795 \text{ м}$ (п. 5.1), $\gamma_f = 1,1$ – коефіцієнт надійності для вагового навантаження.

Епюра згинального моменту для цього навантаження опори дана на рис. 6.3,а.

6.2. Навантаження від ожеледі

Схема навантаження дана на рис. 6.2.

Розрахункові навантаження від ожеледі (G_2 , q_2) дорівнюють добутку нормативних навантажень на коефіцієнт надійності по навантаженню, що для навантаження від ожеледі дорівнює 1,3 (СНиП). При розрахунках враховується вага ожеледі на верхньому світильнику і на похилій частині труби діаметром 76 мм, тому що вплив інших ожеледних утворень незначний.

6.2.1. Стінка ожеледі розрахункова $b_p = 1,3 \cdot b_o = 1,3 \cdot 20 = 26 \text{ мм}$.

6.2.2. Вага ожеледі на верхньому світильнику:

$$G_2 = 17,64 \cdot b_p \cdot (\ell_c \cdot a_c + \ell_c \cdot h_c + a_c \cdot h_c) \cdot 10^{-6} = 327,2 \text{ Н.}$$

Тут $b_o = 20 \text{ мм}$ (п. 5.4), $\ell_c = 795 \text{ мм}$, $a_c = 375 \text{ мм}$, $h_c = 355 \text{ мм}$ (п. 5.1).

6.2.3. Вага ожеледі на трубі $d_t = 76 \text{ мм}$:

$$q_2 = 2,83 \cdot b_p \cdot (d_t + b_p) 10^{-2} = 75,05 \text{ Н/м.}$$

6.2.4. Знаходимо згинальний момент у перерізах С, В, А (рис. 6.3,б):

$$m_c = m_b = m_a = -G_2 a_1 - q_2 (a_1 - \ell_c/2)^2/2 = -1031,6 \text{ Нм.}$$

Тут $G_2 = 327,23 \text{ Н}$ (п. 6.2.2), $a_1 = 2,6 \text{ м}$ (п. 5.3), q_2 (п.6.2.3), $\ell_c = 795 \text{ мм} = 0,795 \text{ м}$ (п. 5.1).

Епюра згинального моменту для цього навантаження дана на рис. 6.3,б.

6.3. Вітрові навантаження без ожеледі в площині опори

При обчисленні статичного вітрового навантаження приймаємо:

нормативний тиск вітру для V району – $w_o = 600 \text{ Н/м}^2$ (п. 5.7);

коефіцієнт надійності для вітрового навантаження – $\gamma_f = 1,2$ (СНиП);

коефіцієнт аеродинамічного опору:

для світильників $c = 1,4$;

для труб $c = 1,2$;

коефіцієнт «к», що враховує зміну вітрового тиску по висоті, приймається відповідно до дод.3.

Знаходимо рівнодіючу сил тиску вітру на світильники (P_1 , P_2) і розподілені сили тиску вітру (p_1 , p_2 , p_3) на елементи конструкції (п. 6.3.1-6.3.5).

Схема навантаження опори дана на рис. 6.1,а, а схема перерізу 1-1 на рис. 6.2.

6.3.1. Тиск вітру на світильник верхній (обчислюємо $k = 1,05$ – дод.3)

$$P_1 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot a_c \cdot h_c 10^{-6} = 140,9 \text{ Н.}$$

6.3.2. Тиск вітру на трубу \varnothing 76 мм ($k = 1,0$):

$$p_3 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot d_T 10^{-3} = 65,7 \text{ Н/м.}$$

6.3.3. Тиск вітру на трубу \varnothing 133 мм ($k = 0,75$):

$$p_2 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot d_T 10^{-3} = 86,2 \text{ Н/м.}$$

6.3.4. Тиск вітру на трубу \varnothing 168 мм ($k = 0,75$):

$$p_1 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot d_T 10^{-3} = 108,9 \text{ Н/м.}$$

6.3.5. Тиск вітру на світильник нижній ($k = 0,75$):

$$P_2 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (\pi d_n^2 / 4) 10^{-6} = 81,4 \text{ Н.}$$

Знаходимо згинальні моменти.

6.3.6. Згинальний момент у перерізі С:

$$m_c = -P_1 h_3 - p_3 h_3^2 / 2 = -718 \text{ Нм.}$$

6.3.7. Згинальний момент у перерізі В:

$$m_b = -P_1 (h_3 + h_2) - p_3 h_3 (h_2 + h_3 / 2) - \\ - p_2 h_2^2 / 2 - 2P_2 (h_5 - h_1) = -4043 \text{ Нм.}$$

6.3.8. Згинальний момент у перерізі А:

$$m_a = -P_1 (h_3 + h_2 + h_1) - p_3 h_3 (h_2 + h_1 + \\ + h_3 / 2) - p_2 h_2 (h_1 + h_2 / 2) - p_1 h_1^2 / 2 - 2P_2 h_5 = -8122 \text{ Нм.}$$

Тут $a_c = 375$ мм, $h_c = 355$ мм – розміри верхнього світильника (п.5.1);
 d_T – діаметр труб (мм); $d_n = 400$ мм – діаметр нижнього світильника (п.5.2);
 $h_4 = 0,5$ м, $h_3 = 3$ м и т.і. – розміри опори.

Епюра згинальних моментів при вітрі без ожеледі в площині опори дана на рис. 6.3,в.

6.4. Вітрові навантаження без ожеледі перпендикулярно площини опори (рис. 6.1,б)

При обчисленні статичного вітрового навантаження приймаємо:

нормативний тиск вітру для V району – $w_0 = 600 \text{ Н/м}^2$ (п.5.7);

коефіцієнт надійності для вітрового навантаження – $\gamma_f = 1,2$ (СНиП);

коефіцієнт аеродинамічного опору:

$$\text{для світильників} \quad c = 1,4;$$

$$\text{для труб} \quad c = 1,2;$$

коефіцієнт «к», що враховує зміну вітрового тиску по висоті, приймається відповідно до дод.3;

коефіцієнт $\eta = 0,95$ приймається відповідно до дод.3 для конструкцій, котрі розташовані одна за однією.

Знаходимо рівнодіючу сил тиску вітру на світильники (P_3, P_5) і розподілені сили тиску вітру (p_4, p_5, p_6) на елементи конструкції (п.6.4.1–6.4.5). Схема навантаження дана на рис. 6.1,б.

6.4.1. Тиск вітру на світильник верхній ($k = 1,05$)

$$P_3 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot \ell_c \cdot h_c 10^{-6} = 298,7 \text{ Н.}$$

6.4.2. Тиск вітру на трубу \varnothing 76 мм ($k = 1,0$):

$$p_4 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot d_T 10^{-3} = 65,7 \text{ Н/м.}$$

Знаходимо рівнодіючу P_4 сил тиску вітру на трубу $\varnothing 76$ мм й точку С її прикладення (рис. 6.4). Довжина труби: $L = 2\pi R\alpha / 180 = 3,93$ м.

Рівнодіюча P_4 сил тиску вітру p_4 : $P_4 = p_4 L = 258,2$ Н;

Положення центра ваги С

навантаження p_4 :

$$OC = R \sin \alpha / \alpha_{\text{рад}} = 3 \sin 37,5^\circ / 0,654 = 2,79 \text{ м}; \ell_{\text{тр}} = R - OC \cos \alpha = 0,79 \text{ м};$$

$$h_{\text{тр}} = OC \sin \alpha = 1,7 \text{ м}.$$

Тут $R = 3$ м, $2\alpha = 75^\circ$ (радіус і кут згину труби) ($\alpha = 37,5^\circ$);

$$\alpha_{\text{рад}} = \alpha \cdot \pi / 180 = 0,654 \text{ рад}.$$

6.4.3. Тиск вітру на трубу $\varnothing 133$ мм ($\kappa = 0,75$):

$$p_5 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot \kappa \cdot c \cdot d_{\text{т}} \cdot 10^{-3} = 86,2 \text{ Н/м}.$$

6.4.4. Тиск вітру на трубу $\varnothing 168$ мм ($\kappa = 0,75$):

$$p_6 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot \kappa \cdot c \cdot d_{\text{т}} \cdot 10^{-3} = 108,9 \text{ Н/м}.$$

6.4.5. Тиск вітру на два світильники нижні ($\kappa = 0,75$, $\eta = 0,95$ – дод. 3):

$$P_5 = w_0 \cdot \gamma_f \cdot \kappa \cdot c \cdot (\pi d_{\text{н}}^2 / 4) \cdot (1 + \eta) \cdot 10^{-6} = 185,3 \text{ Н}.$$

Тут $\ell_c = 795$ мм, $a_c = 375$ мм, $h_c = 355$ мм – розміри верхнього світильника (п. 5.1); $d_{\text{т}}$ – діаметр труб(мм); $d_{\text{н}} = 400$ мм – діаметр нижнього світильника (п. 5.2).

Знаходимо згинальні моменти.

6.4.6. Крутний момент у перерізах С, В, А:

$$m_{\text{кр}} = P_3 a_1 + P_4 \ell_{\text{тр}} = 980,5 \text{ Нм}.$$

6.4.7. Згинальний момент у перерізі С:

$$m_c = -P_3 h_3 - P_4 h_{\text{тр}} = -1335,5 \text{ Нм}.$$

6.4.8. Згинальний момент у перерізі В:

$$m_b = -5884,7 \text{ Нм}.$$

6.4.9. Згинальний момент у перерізі А:

$$m_a = -10806,5 \text{ Нм}.$$

Тут $a_c = 0,375$ м – розмір верхнього світильника (п. 5.1);

$a_1 = 2,6$ м, $h_4 = 0,5$ м, $h_3 = 3$ м – розміри опори (п. 5.3).

Епюра згинальних моментів при вітрі без ожеледі перпендикулярно площини опори дана на рис. 6.3,г, а епюра крутних моментів на рис. 6.3,д.

6.5. Вітрові навантаження з ожеледдю в площині опори

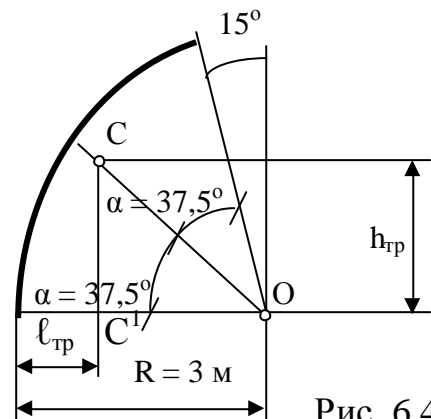
Тиск вітру на покритті ожеледдю елементи приймається рівним 25% (СНиП) нормативного значення вітрового тиску w_0 (п. 5.7)

$$w_{\text{т}} = 0,25 w_0 = 0,25 \cdot 600 = 150 \text{ Н/м}^2;$$

коефіцієнт надійності для вітрового навантаження $\gamma_f = 1,2$ (СНиП);

коефіцієнт аеродинамічного опору:

для світильників	$c = 1,4;$
для труб	$c = 1,2;$



коефіцієнт «к», що враховує зміну вітрового тиску по висоті, приймається відповідно до дод.3.

6.5.1. Вітер на світильник верхній (к = 1,05)

$$P_6 = w_r \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (a_c + 2b_p) \cdot (h_c + 2b_p) 10^{-6} = 46,0 \text{ Н.}$$

6.5.2. Вітер на трубу \varnothing 76 мм (к = 1,0)

$$p_7 = w_r \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (d_T + 2b_p) 10^{-3} = 27,7 \text{ Н/м.}$$

6.5.3. Вітер на трубу \varnothing 133 мм (к = 0,75)

$$p_8 = w_r \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (d_T + 2b_p) 10^{-3} = 30,0 \text{ Н/м.}$$

6.5.4. Вітер на трубу \varnothing 168 мм (к = 0,75)

$$p_9 = w_r \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (d_T + 2b_p) 10^{-3} = 35,6 \text{ Н/м.}$$

6.5.5. Вітер на два світильники нижні (к = 0,75)

$$P_7 = 2 \cdot w_r \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c \cdot (d_n + 2b_p) \cdot (h_n + 2b_p) 10^{-6} = 89,2 \text{ Н.}$$

Тут $a_c = 375$ мм, $h_c = 355$ мм – розміри верхнього світильника (п. 5.1); d_T – діаметр труб(мм); $d_n = 400$ мм, $h_n = 470$ мм – розміри нижнього світильника (п. 5.2).

При порівнянні вітрових навантажень на елементи конструкції без ожеледі (п. 6.3 і п. 6.4) і вітрових навантажень з ожеледдю (п. 6.5) видно, що в останньому випадку навантаження значно менше – тобто, будуть менше згинальні і крутний моменти в перерізах. Тому далі навантаження з ожеледдю і вітром у площині опори й перпендикулярно площини опори не розглядаються.

7. Найбільші розрахункові приведені моменти в перерізах

Розглядаємо найбільш важкий режим навантаження – вітер без ожеледі перпендикулярно площини опори, для якого згинальні моменти в перерізах максимальні. При цьому в перерізах одночасно діють згинальні моменти у двох площинах m_x , m_y і крутний момент $m_{кр}$ (рис. 7.1). У цьому випадку для круглого перерізу при використанні третьої теорії міцності (теорія міцності найбільших дотичних напружень) умова міцності має вигляд [4, 5]

$$\sigma_e = m_{пр} / W_x \leq R_y \gamma_c / \gamma_n \gamma_m. \quad (7.1)$$

Тут σ_e – еквівалентні напруження при згині із крутінням круглого стержня; $m_{пр}$ – приведений момент у перерізі, що у цьому випадку визначається так

$$m_{пр} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_{кр}^2}; \quad (7.2)$$

W_x – осьовий момент опору перерізу;

для кільцевого перерізу

$$W_x = 0,1(d^3 - d_o^4/d);$$

d , d_o – зовнішній і внутрішній діаметри труби;

R_y – границя текучості матеріалу; для матеріалу труби (сталь Ст. 3) – $R_y = 215$ МПа (дод. 5);

γ_c – коефіцієнт умови роботи конструкції, який приймаємо $\gamma_c = 0,95$ (СНиП);

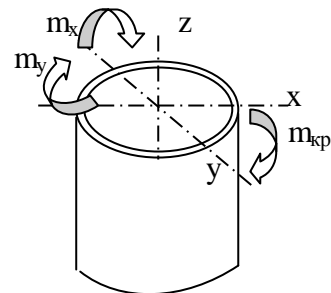


Рис. 6.5

γ_m – коефіцієнт надійності матеріалу, що приймаємо $\gamma_m = 1,05$ (СНиП);
 γ_n – коефіцієнт надійності, що при розрахунках з використанням
 границі текучості дорівнює $\gamma_n = 1,0$ (СНиП).

Обчислюємо приведені моменти (табл. 7.1) у перерізах за формулою (7.2).

Таблиця 7.1

Переріз	Зовнішній діаметр труби, мм	m_x , Нм (п.6.4.8-п.6.4.10)	m_y , Нм (п. 6.1)	$m_{кр}$, Нм (п.6.4.7)	$m_{пр}$, Нм
С	76	-1334	-580	978,5	1755,4
В	133	-5883			5994
А	168	-10805			10866

Епюра приведених моментів при вітрі без ожеледі перпендикулярно площини опори дана на рис. 6.3,е.

8. Визначення розмірів стінки труб опори

З умови міцності (7.1) знаходимо необхідну товщину стінки труб опори

$$h = (d-d_0)/2 \geq (1 - \sqrt{[1 - m_{пр} \gamma_n \gamma_m 10^3 / (0,1 R_y \gamma_c d^3)]}) d/2, \text{ (мм)} \quad (8.1)$$

За даними пункту 7 відповідно до формули (8.1) обчислюємо розрахункову товщину стінки труб (табл. 8.1), що округляємо убік збільшення до значень стінки труб відповідно дод.5. Значення коефіцієнтів $\gamma_n = 1,0$, $\gamma_m = 1,05$, $\gamma_c = 0,95$ й $R_y = 215$ МПа (п. 7); величина моменту $m_{пр}$ (Нм) – табл. 7.1.

Таблиця 8.1

Переріз	Труба d, мм	$m_{пр}$, Нм	Товщина стінки труби h, мм	
			Розрахункова	Прийнято (дод. 5)
С	76	1755,4	2,1	2,5
В	133	5994	2,3	2,5
А	168	10866	2,6	3

Креслення опори консольного світильника виконати на листу формату А3, на якому вказати розміри опори, світильника, характер місцевості, район кліматичних умов, температуру повітря.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов / Ю.Б. Айзенберг. – М., 1996.
2. Справочная книга по светотехнике / под редакцией Ю.Б. Айзенберга. – М., 1992.
3. Качурин В.К. Статический расчет вантовых систем / В.К. Качурин. – Лен-д., 1969.
4. Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85. – М., 1988.
5. Стальные конструкции. СНиП II-23-81. – М., 1990.
6. Светотехника. Каталог. 2003-2004. 3-д светотехнических изделий.
7. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под редакцией Г.М. Кнорринга. – Л., 1976.
8. Волоцкий Н.В. Освещение открытых пространств / Н.В. Волоцкий и др. – Л., 1981.
9. Клименко Ф.Є. Металеві конструкції / Ф.Є. Клименко та ін. – Львів, 2002.

СВІТИЛЬНИКИ

Підвісні світильники ЖСУ 08, РСУ 08

Призначені для освітлення вулиць, шляхів і майданів.

Рекомендується установлювати на несучий трос діаметром 6-12,5мм.

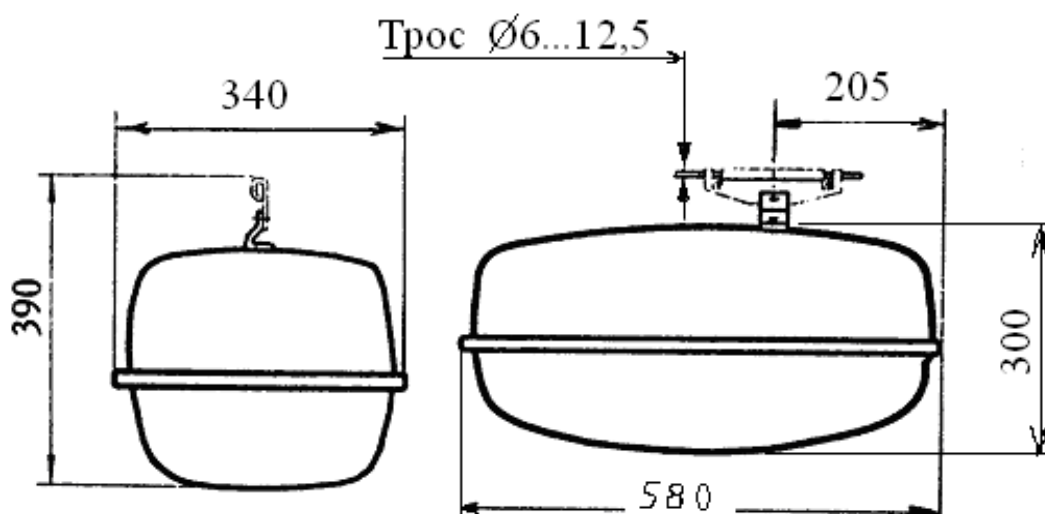
Джерела світла: натрієві лампи високого тиску потужністю 150, 250 Вт,
ртутні лампи високого тиску потужністю 125, 250 Вт.

Будова. Корпус і панель – сталевий прокат. Відбивач – електрохімічно-полірований й анодирований алюміній (у світильнику РСУ 08 відбивач алюмінірований). Захисне скло – поліметилметакрилат.

Технічні параметри підвісних світильників ЖСУ 08, РСУ 08

Тип світильника	4	1	2	3
Марка	ЖСУ 08-150-001	ЖСУ 08-250-001	РСУ 08-125-001	РСУ 08-250-001
Номінальна частота, Гц	50			
Напруга, В	220 ± 10%			
Тип лампи	ДНаТ		ДРЛ	
Номінальна потужність, Вт	150	250	125	250
ККД, %, не менш	65			
Тип кривої сили світла	Широка осьова			
Ступінь захисту	IP53			
Кліматичне виконання	В1, ХЛ1			
Габаритні розміри, мм	580x340x390			
Маса, кг, не більше	10,0	10,3	6,7	9,5

Підвісні світильники ЖСУ 08, РСУ 08.



Світильник консольний ЖКУ 24, РКУ 24

Призначений для освітлення вулиць, доріг, майданів і пішохідних зон.
Джерела світла: натрієві лампи високого тиску потужністю 250, 400 Вт,
ртутні лампи високого тиску потужністю 250, 400 Вт.

Будова. Корпус – удароміцна пластмаса.

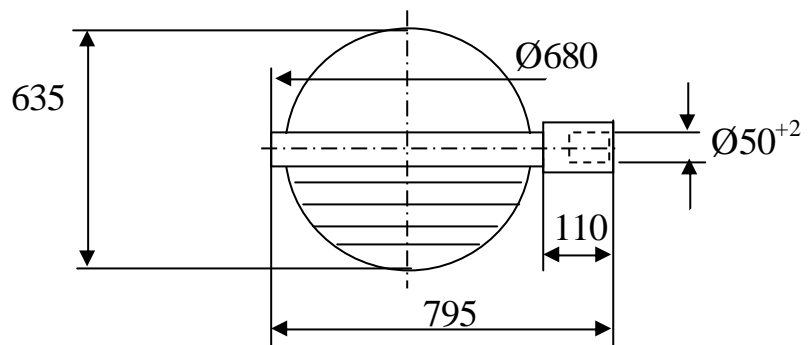
Відбивач – електрохімічно-полірований й анодирований алюміній.

Захисне скло – поліметилметакрилат.

Технічні параметри консольних світильників ЖКУ 24, РКУ 24

Тип світильника	1	2	3	4
Марка	ЖКУ 24-250-001	ЖКУ 24-400-001	РКУ 24-250-001	РКУ 24-400-001
Номинальна частота, Гц	50			
Напруга, В	220 ± 10%			
Тип лампи	ДНаТ		ДРЛ	
Номинальна потужність, Вт	250	400	250	400
ККД, %, не менш	75	75	67	65
Тип кривої сили світла	Широка бічна			
Ступінь захисту	IP54			
Кліматичне виконання	У1, ХЛ1			
Габаритні розміри, мм	795x Ø 680x635			
Маса, кг, не більше	17,0	19,0	16,5	17,5

Консольні світильники ЖКУ 24, РКУ 24



Світильник консольний ЖКУ 15, РКУ 15

Призначений для освітлення вулиць, доріг, майданів і пішохідних зон.
Джерела світла: натрієві лампи високого тиску потужністю 150- 400 Вт,
ртутні лампи високого тиску потужністю 250, 400 Вт.

Будова. Корпус – алюмінієвий прокат.

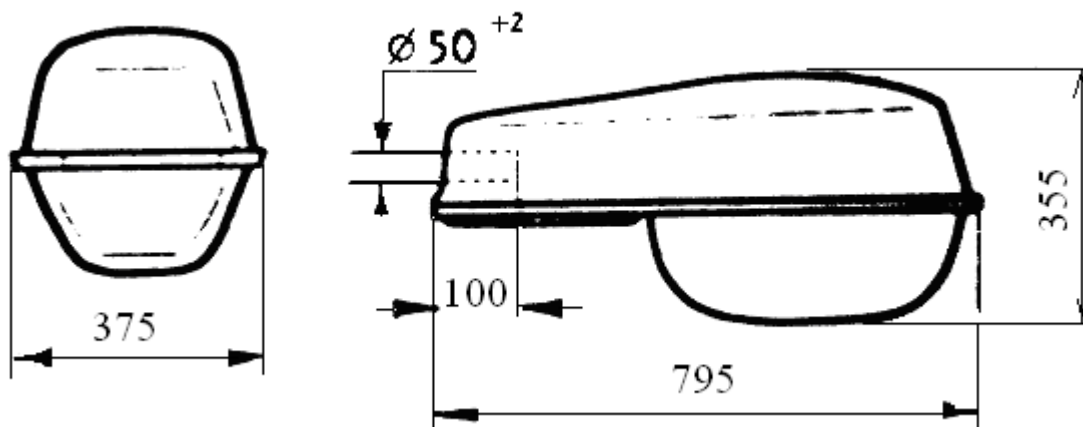
Відбивач – електрохімічно-полірований й анодирований алюміній.

Захисне скло – полікарбонат.

Технічні параметри консольних світильників ЖКУ 15, РКУ 15

Тип світильника	5	6	7	8
Марка	ЖКУ 15-400-101	ЖКУ 15-250-101 «Б»	ЖКУ 15-400-101 «Б»	РКУ 15-400-101
Номінальна частота, Гц	50			
Напруга, В	220 ± 10%			
Тип лампи	ДНаТ			ДРЛ
Номінальна потужність, Вт	400	250	400	400
ККД, %, не менш	76	76	75	70
Тип кривої сили світла	Широка осьова	Широка бічна	Широка бічна	Напівширока осьова
Ступінь захисту	IP54/ IP23			
Кліматичне виконання	У1, ХЛ1			
Габаритні розміри, мм	795x 375x355			
Маса, кг, не більше	14,0	11,2	14,0	13,7

Консольні світильники ЖКУ 15, РКУ 15



Світильник торшерний РТУ06

Призначений для функціонально-декоративного освітлення скверів, парків.

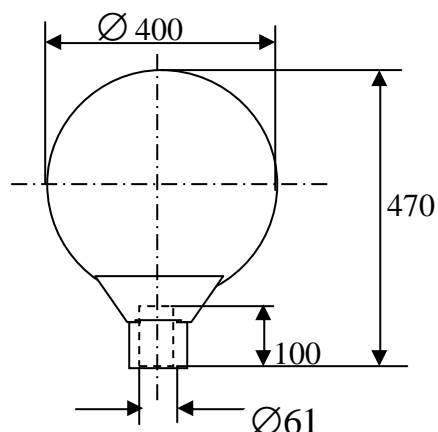
Джерело світла: натрієві лампи високого тиску потужністю 100- 150 Вт,

Будова. Корпус-підстава – удароміцна пластмаса.

Захисне скло – полікарбонат.

Технічні параметри світильника РТУ06

Марка	ЖТУ06-100-004 ЖТУ06-150-004
Номинальна частота, Гц	50
Напруга, В	220 ± 10%
Тип лампи	ДНаТ
Номинальна потужність, Вт	100-150
ККД, %, не менш	68
Тип кривої сили світла	Круглосіметрична, рівномірна
Ступінь захисту	IP33
Кліматичне виконання	У1, ХЛ1
Габаритні розміри, мм	Ø 400x470
Маса, кг, не більше	5,5



Додаток 2

ТРОСИ

Як несучий трос для підвісних вуличних світильників застосовуються канати за ГОСТ 3063-80. Позначення: Канат 6,1-Г-1-С-Н-1470 ГОСТ 3063-80.

Тут 6,1 – діаметр каната (d), Г – канат вантажний, 1 – першої марки, С – дрiт оцинкована для середніх агресивних умов роботи, Н – канат що не розкручується, 1470 – межу міцності матеріалу каната (сталь).

Діаметр каната d, мм	Площа перерізу F, мм ²	Вага, Н/м	Межа міцності матеріалу R _u , МПа					
			1176	1274	1372	1470	1568	1666
			Розривне зусилля каната(Н), не менш					
6,1	21,68	1,82	–	–	26650	28650	30500	32450
6,6	25,43	2,14	–	–	31350	33550	35800	38050
7,1	29,48	2,48	–	–	36350	38950	41550	44100
7,6	33,82	2,85	–	–	41650	44650	47650	50500
8,1	38,46	3,23	–	–	44400	50800	54200	57600
8,6	43,4	3,65	–	–	53550	57350	61200	65000
9,1	48,64	4,09	–	–	59950	64300	68600	72850
10,0	60,35	5,09	–	69200	74450	79800	–	–
11,0	72,95	6,15	77150	83550	89950	91100	–	–
12,0	86,74	7,3	91700	98950	106000	114500	–	–
12,5	94,44	7,9			109500			

НАВАНТАЖЕННЯ

Вітрові навантаження

Розрахункове значення вітрового навантаження визначається по формулі

$$w_p = w_0 \cdot \gamma_f \cdot k \cdot c,$$

де γ_f – коефіцієнт надійності для вітрового навантаження, рівний 1,2 – для житлових, суспільних будинків і споруджень; 1,3 – для високих споруджень (веж, щогл й ін.).

k – коефіцієнт, що враховує зміна вітрового тиску по висоті z , визначається по таблиці залежно від типу місцевості:

A – відкритий простір морів, озер, степів й ін.;

B – міські території, лісові масиви й ін., рівномірно покриті перешкодами висотою більше 10 м;

C – міські території з будинками висотою більше 25 м.

Таблиця для визначення коефіцієнта «к»

Висота z , м	Коефіцієнт «к» для типів місцевості		
	A	B	C
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15

Примітка. Проміжні значення коефіцієнта «к» визначаються лінійною інтерполяцією по формулі:

$$k_i = k_m + (k_b - k_m) \cdot (z_i - z_m) / (z_b - z_m),$$

де k_m , k_i , k_b – відповідно менше, шукане й більше значення «к» для відповідних висот z_m , z_i , z_b .

Наприклад: для місцевості типу A знайти значення k_i для висоти $z_i = 7$ м.

У цьому випадку в таблиці знаходимо: $k_m = 0,75$, $k_b = 1,0$,

$z_m = 5$ м, $z_b = 10$ м.

Обчислюємо $k_i = 0,75 + (1 - 0,75)(7 - 5) / (10 - 5) = 0,8$.

c – аеродинамічний коефіцієнт, рівний 1,2 – для проводів і тросів (у тому числі й покритих ожеледдю); 1,4 – для плоских суцільних конструкцій.

w_0 – нормативне значення вітрового тиску, що приймається по таблиці залежно від вітрового району.

Вітровий район	II	III	IV	V
w_0 , Н/м ²	300	380	480	600

Для ряду конструкцій, розташованих одна за іншою в напрямку вітру, для другої й наступної конструкцій вітрове навантаження дорівнює добутку навантаження для першої конструкції на коефіцієнт η , що для даного розрахунку $\eta = 0,95$.

Навантаження від ожеледі

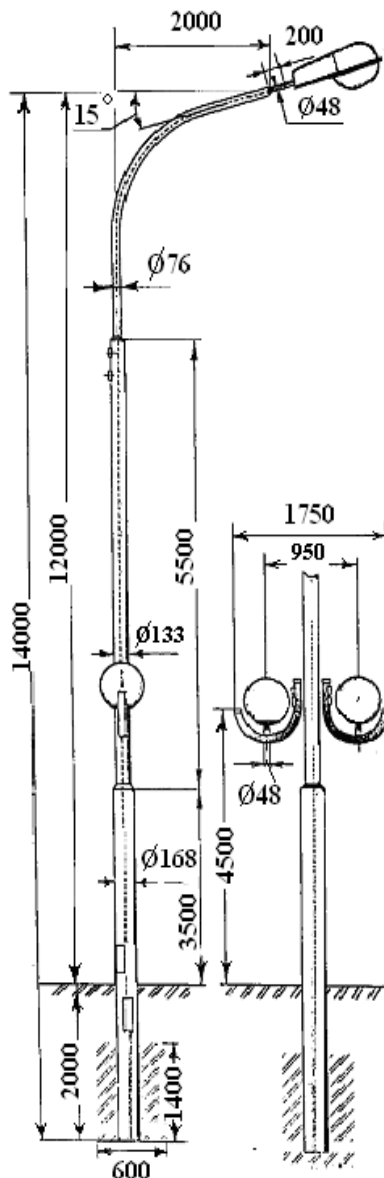
Нормативне значення товщини стінки ожеледі b_r приймається з таблиці залежно від району ожеледі.

Район ожеледі	II	III	IV	V
Товщина стінки ожеледі b_r , мм	5	10	15	20

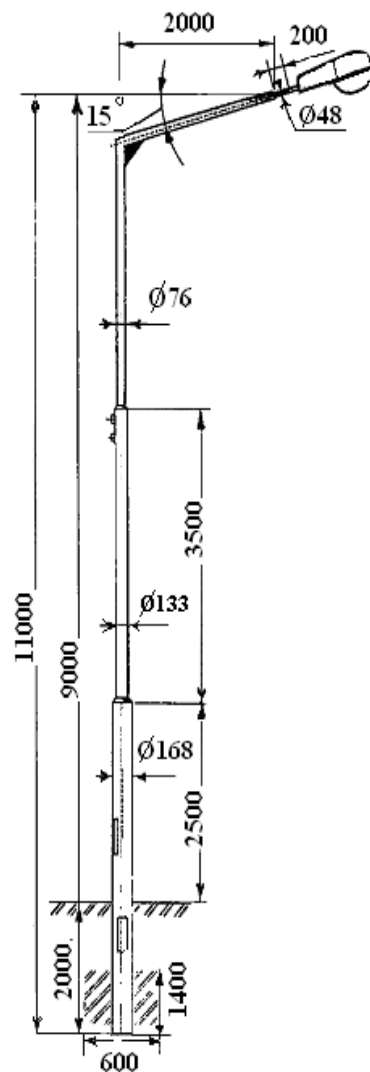
Додаток 4

ОПОРИ

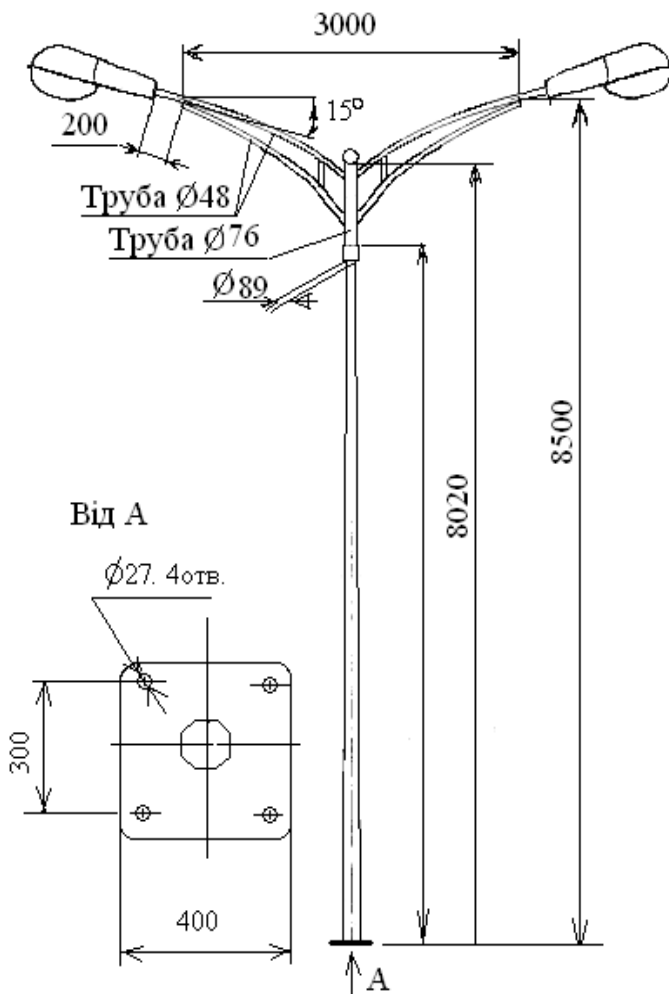
Призначені для установлення функціонально-декоративних консольних і підвісних світильників. Виготовляються з сталевих труб, мають цинкове покриття. У нижній частині опори є відсік, закритий кришкою, з убудованим запобіжником і контактними затискачами.



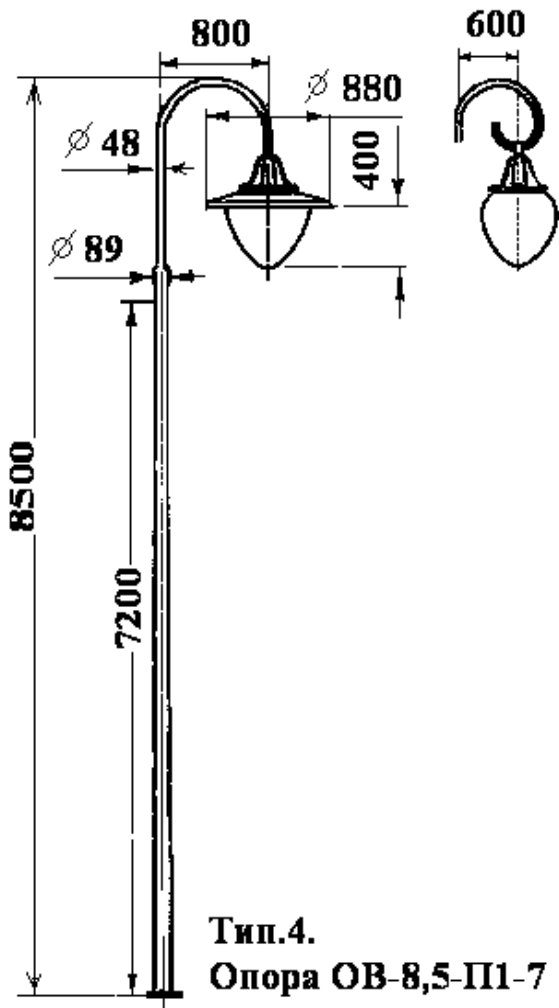
Тип 1. Опора 00-12-Р3-1



Тип 2. Опора 00-9-У1-2



Тип. 3. Опора ОВ-8,5-К2-4



Тип. 4.
Опора ОВ-8,5-П1-7

Додаток 5

ТРУБИ СТАЛЄВІ

Діаметр труби зовнішній d , внутрішній d_0 .

Площа перерізу $A = 0,785 (d^2 - d_0^2)$.

Момент інерції перерізу $I_x = 0,05(d^4 - d_0^4)$.

Момент опору перерізу $W_x = 0,1(d^3 - d_0^3 / d)$.

Радіус інерції перерізу $i = 0,25\sqrt{(d^2 + d_0^2)}$.

Товщина стінки $h = (d - d_0)/2$.

Вага (погонна) одного метра труби $q = 100A\gamma = 7,8A(\text{Н/м})$,

де A – площа перерізу (см^2), $\gamma = 78 \cdot 10^{-3} (\text{Н/см}^3)$ – питома вага сталі.

Так, для труби $d = 76 \text{ мм}$, $h = 4 \text{ мм}$, $q = 7,8 \cdot 0,785 \cdot (7,6^2 - 6,82) = 70,6 \text{ Н/м}$.

Зовнішній діаметр d, мм	Товщина стінки h, мм
Труби сталеві безшовні гарячекатані за ГОСТ 8732–78.	
48	3,5; 4; 4,5
50	3,5; 4; 4,5; 5; 5,5
54; 57; 60; 63,5; 68; 70; 73; 76; 83; 89; 95; 102	3,5–6 через 0,5мм, 6–11 через 1 мм
108; 114; 121; 127; 133	4 – 6 через 0,5 мм; 6 – 18 через 1 мм
168	5 – 5,5; 6 – 18 через 1 мм
Труби сталеві електрозварні за ГОСТ 10704 –76.	
76	1,4 – 2,2 через 0,2 мм; 2,5; 2,8; 3; 3,2; 3,5; 3,8; 4 – 5,5 через 0,5мм
133	2,5; 2,8; 3; 3,2; 3,5; 3,8; 4; 4,5; 5; 5,5
168	3; 3,2; 3,5; 3,8; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8

Матеріал труб – сталь Ст.3, межа текучості матеріалу $R_y = 215$ МПа.

ЗМІСТ

Вступ	3
Варіанти завдань	3
Приклад розрахунку	4
Розрахунок троса підвіски вуличного світильника	5
1. Вихідні дані	5
2. Розрахунок навантажень на трос	5
3. Визначення тяжіння троса H , напружень σ і стріл провисання f	6
4. Висновки	18
Розрахунок опори ОО-12-РЗ-1 консольного світильника	30
5. Вихідні дані	30
6. Розрахунок навантажень	30
7. Найбільші розрахункові приведені моменти в перерізах	35
8. Визначення розмірів стінки труб опори	36
Список літератури	37
Додатки 1. Світильники	38
Додатки 2. Троси	41
Додатки 3. Навантаження	42
Додатки 4. Опори	43
Додатки 5. Труби сталеві	44

Навчальне видання

ШПАЧУК Володимир Петрович,
ПУШНЯ Валентин Олександрович

Методичні вказівки і завдання до курсового проекту з дисципліни «Технічна механіка» «МЕХАНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВУЛИЧНИХ СВІТИЛЬНИКІВ» (для студентів 2 курсу денної і заочної форм навчання бакалаврів напряму підготовки 6.050701– «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)

Відповідальний за випуск *А. О. Гарбуз*
Редактор *М. З. Аляб'єв*
Комп'ютерне верстання *О. В. Мамаєва*

План 2010, поз. 531М

Підп. до друку 01.07.2010
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60x80 1/16
Ум. друк. арк. 2,76
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001