

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

Кафедра «Тяговий рухомий склад залізниць»

Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Гаюр А.В.,

Ревчук М.О., Каращук С.В.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

та завдання до виконання контрольної роботи

з дисципліни «Конструкція та динаміка ЕРС»

**для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка
освітнього ступеня «Бакалавр» заочної форми навчання**

Київ 2015

УДК 629.4

Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Конструкція та динаміка ЕРС» для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка освітнього ступеню «Бакалавр» заочної форми навчання / **Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Гаюр А.В., Ревчук М.О., Карашук С.В.** – К.: ДЕТУТ, 2015. – 31 с.

Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні кафедри «ТРСЗ» (протокол № 9 від 08.06.2015р.) та на засіданні методичної комісії факультету ІРСЗ (протокол № 1 від 29.09.2015р.).

Призначені для студентів університету заочної форми навчання та відповідають робочій програмі дисципліни: «Конструкція та динаміка ЕРС».

Укладачі:

Ю.В. Черняк, кандидат технічних наук, доцент;

В.О. Гатченко, кандидат технічних наук;

А.В. Гаюр, викладач;

М.О. Ревчук, асистент;

С.В. Карашук, провідний інженер

Рецензенти:

Демченко В.О., к.т.н., доцент кафедри ТРСЗ;

Дробаха В.І. к.т.н., начальник виробничого управління

Департаменту локомотивного господарства Укрзалізниці

Зміст

<i>Вступ</i>	4
1. Завдання дисципліни «Конструкція та динаміка ЕРС»	5
2. Загальні методичні вказівки до виконання контрольної роботи	6
3. Методичні вказівки та завдання на контрольну роботу	7
4. Вихідні дані	8
5. Завдання 1. Розрахункова схема рами візка	9
6. Завдання 2. Характеристики небезпечного перерізу	15
7. Завдання 3. Вагове навантаження на раму візка	23
8. Завдання 4. Напруження в небезпечному перерізі рами візка від вагового навантаження	27
<i>Список рекомендованої літератури</i>	30

ВСТУП

У процесі керування потягом машиніст часто змінює режим роботи локомотива (розгін, гальмування, рух при дії сили тяги з низькими або високими швидкостями). Рух відбувається в різних умовах залежно від наявності кривих різного радіуса, стану шляху, пори року, профілю колії і т. д.

Залежно від режиму й умов руху, міняються по величині напрям і характер сил, що прикладені до рами візка.

Статична міцність визначається максимальним напруженням при найбільш найнесприятливішому сполученні всіх силових факторів, що не повинно перевищувати допустиме напруження.

Опір втомі залежить від постійного і змінного складових циклічного навантаження. Поняття втомної міцності пов'язане з фізичним процесом втоми конструкційних матеріалів. Втомою називають незворотні механічні зміни, що накопичуються в реальних матеріалах під дією змінних навантажень.

За своїм впливом на довговічність силові фактори можна розділити на дві групи. До першої групи входять навантаження вагові і такі, що повільно змінюються в часі, а саме: зусилля, що діють під час руху в кривій, і зусилля, що виникають при роботі тягових двигунів і при гальмуванні. До другої групи належать змінні сили, що супроводжують коливання надресорної будівлі. Ці сили мають випадковий характер як по частоті, так і по амплітуді. Оцінка впливу сукупності сил обох груп на опір втомі рами візка можлива шляхом приведення їх до усереднених значень, тобто до еквівалентного за своїм впливом на втому при асиметричному циклічному навантаженні.

При виконанні студентами контрольної роботи, необхідно накреслити розрахункову схему рами візка, визначити характеристики небезпечного перерізу, вагове навантаження на раму візка та напруження в небезпечному перерізі рами від вагового навантаження.

1. ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «КОНСТРУКЦІЯ ТА ДИНАМІКА ЕРС»

Мета викладання дисципліни – засвоєння студентами знань щодо принципів конструювання основних вузлів механічної частини локомотива, і впливу характеристик вузлів на динамічні показники локомотива, а також засвоєння методів розрахунків основних вузлів механічної частини локомотива в умовах експлуатації.

Завдання викладання дисципліни – навчити майбутніх фахівців використовувати в практичній діяльності знання щодо оцінки впливу різних конструктивних параметрів локомотива, а також параметрів колії та стану поверхонь кочення коліс і рейок на показники міцності та динаміки руху локомотива.

За підсумками вивчення дисципліни студент повинен

Знати:

- види рухомого складу залізниць, переваги та недоліки електровозної тяги перед іншими видами тяги на залізницях;
- методи балансування навантажень окремих коліс у складі візка;
- теоретичні основи основних динамічних процесів, що супроводжують хід локомотива;
- методи розрахунку сил, що діють на візок в експлуатації;
- методи розрахунку напружень в елементах механічної частини локомотива і принципи оцінки придатності конструкції;
- норми та вимоги безпеки руху локомотива і показники якості ходу, а також методи оцінки плавності руху і їздового комфорту.

Вміти:

- виконувати розрахунки параметрів пружин ресорного підвішування локомотива;
- виконувати розрахунки сил, що діють на вузли і деталі при експлуатації;
- виконувати розрахунки характеристик поперечних перерізів балок рами, що працюють на згин.

2. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Контрольна робота складається з текстової частини, в якій студент дає відповідь на шість теоретичних питань. При написанні контрольної роботи потрібно користуватися рекомендованим переліком літератури та використовувати найсучасніші підходи до вирішення окреслених в питаннях завдань.

У разі необхідності за узгодженням з викладачем контрольна робота може містити також графічну частину (ескіз розрахункового перерізу). У такому випадку креслення повинні відповідати вимогам до їх оформлення. Бажане при підготовці креслень використання програм комп'ютерної графіки, таких як КОМПАС, AutoCAD, Corel Draw та ін. Використання листів, надрукованих за допомогою ксерокопіювання не допускається.

Обсяг текстової частини не повинен виходити за межі 10-15 аркушів. Обсяг графічної частини (якщо є) – 1 аркуш формату А4.

Текст викладається на одній сторінці аркуша формату А4 (210x297мм) відповідно до вимог щодо оформлення текстової документації. В кінці контрольної роботи подається список літератури та технічної документації, які використовувались при відповіді на запитання.

Структурне оформлення контрольної роботи виконується у такій послідовності:

1. Титульний лист.
2. Зміст, на аркуші якого повинен бути основний напис згідно з вимогами ЄСКД.
3. Завдання.
4. Список використаних джерел.

3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

Контрольна робота оформляється відповідно до рекомендованої програми. Усі рисунки та завдання повинні мати наскрізну нумерацію. Усі таблиці та розрахункові операції, обов'язкові при виконанні проекту, повинні мати нумерацію відповідно до завдання. Не слід переписувати текст пояснень з методичних вказівок або з літературних джерел. Якщо виникає потреба зробити пояснення до виконаних розрахунків, таблиць або рисунків, то їх необхідно сформулювати самостійно як найкоротше і ясніше.

Записуються найменування величини, що розраховується, розрахункова формула в загальному вигляді, після чого через знак рівності його числовий вираз і результат. Значення символів і числових коефіцієнтів, що входять у формули, треба розшифрувати. Якщо на підставі розрахункової формули заповнюється таблиця або графа (рядок) таблиці, то записується формула в загальному вигляді і потім один раз приводяться його числовий вираз і результат із зазначенням параметрів, для яких результат отриманий.

Усі графіки і розрахункові схеми слід виконувати на комп'ютері.

Усі розрахунки виконуються з точністю до трьох значущих цифр. При виконанні розрахунків на обчислювальних машинах виконується відповідне округлення.

Розрахунки виконуються в системі одиниць СІ, тобто маса вимірюється в кг (т), сила в кН (Н), напруження в МПа (Па), розміри в м (см, мм), швидкість у м/с (км/год).

Помилки, відзначені рецензентом, повинні бути виправлені охайно. Для виправлень можна використовувати зворотну (чисту) сторону попереднього паперу. При великій кількості виправлень на одній сторінці її потрібно переписати і вклеїти за сторінкою з зауваженнями рецензента. Не можна заклеювати або вивиривати сторінки з зауваженнями рецензента.

ВИХІДНІ ДАНІ

Варіант – указати шифр, дві останні цифри шифру (першого і другого розряду) та їх суму, цифру третього розряду.

База візка $2a$, м (таблиця 1).

Навантаження на вісь колісної пари $2П$, кН (таблиця 2).

Вага тягового двигуна P_d , кН (примітка до таблиці 2).

Товщина листів боковини (бічної балки) рами (таблиця ДД2):

стінки $a_1 = a_2$, мм; полки $b_3 = b_4$, мм; накладки b_5 , мм:

Таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку

Сума двох останніх цифр шифру	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	18	17	16	15	14	13	12	11	10
База візка $2a$, м	3,25	3,20	3,0	2,95	3,10	3,05	3,10	3,25	3,15

Таблиця 2. Параметри екіпажу

Вихідні дані	$b_3 = b_4$, мм	12	10	10	12	12	10	10	12	12
	b_5 , мм	16	18	20	16	18	20	18	16	18
	2П, кН	225	230	235	240	245	250	245	240	230
P_d , кН	$a_1 = a_2$, мм	Останні цифри шифру								
45,0	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09
47,0	14	10	11	12	13	14	15	16	17	18
43,5	16	19	20	21	22	23	24	25	26	27
45,0	14	31	32	33	34	35	36	37	38	39
47,0	16	40	41	42	43	44	45	46	47	48
43,5	12	49	50	51	52	53	54	55	56	57
45,0	16	58	59	60	61	62	63	64	65	66
47,0	12	67	68	69	70	71	72	73	74	75
43,5	14	76	77	78	79	80	81	82	83	84
45,0	12	85	86	87	88	89	90	91	92	93
47,0	14	94	95	96	97	98	99	00	28	29/30

ЗАВДАННЯ 1

РОЗРАХУНКОВА СХЕМА РАМИ ВІЗКА

При розрахунку рама візка (рис. 1) розглядається як просторова стрижнева система.

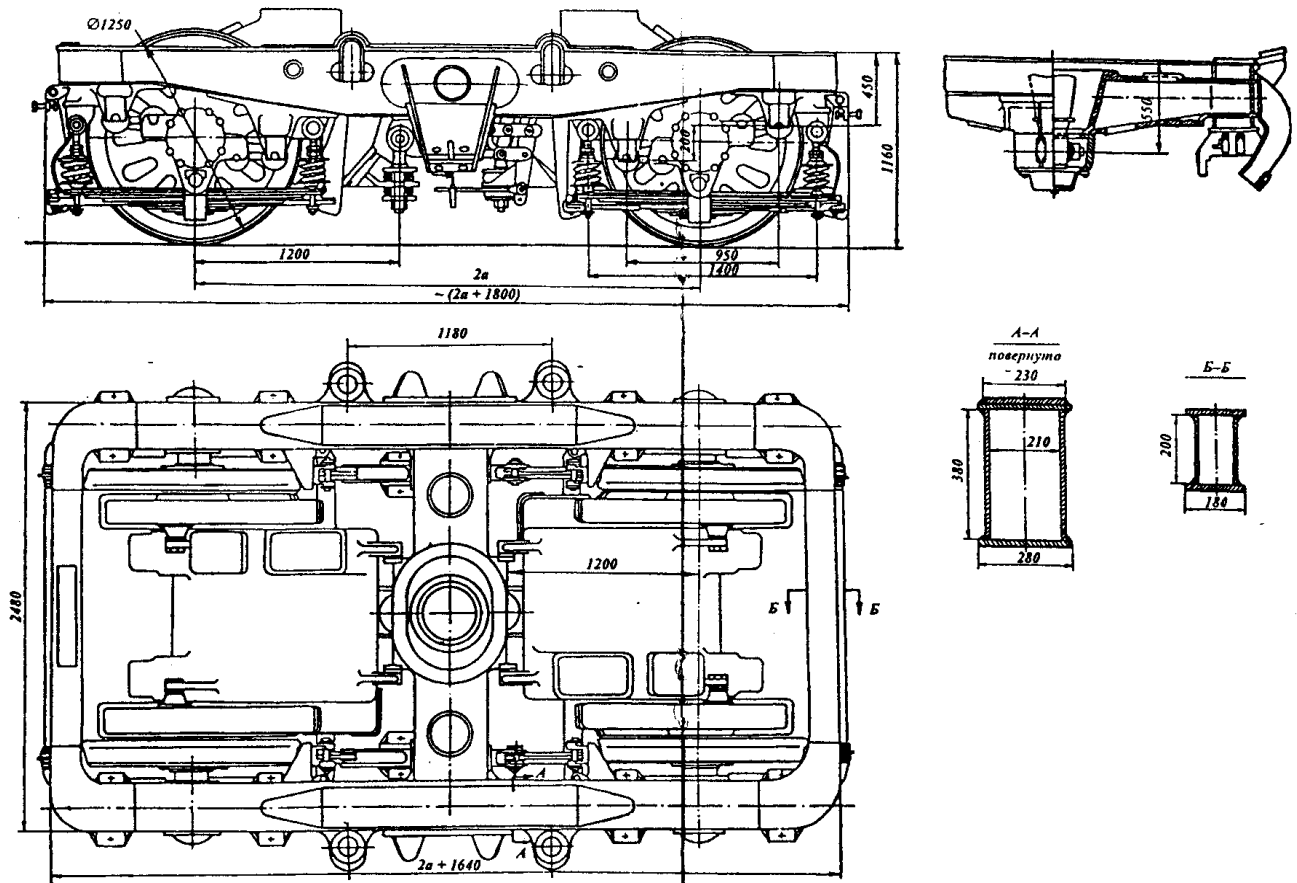


Рис. 1. Рама візка

Зразковий вид стрижневої системи показаний на рис. 2. За початок координат прийнятий центр симетрії рами. Стрижні 1 , що позначають боковини (бічні балки) рами, збігаються з геометричними осями боковин, що проходять через центри ваги площ їх поперечних перерізів, проведених у площині YZ .

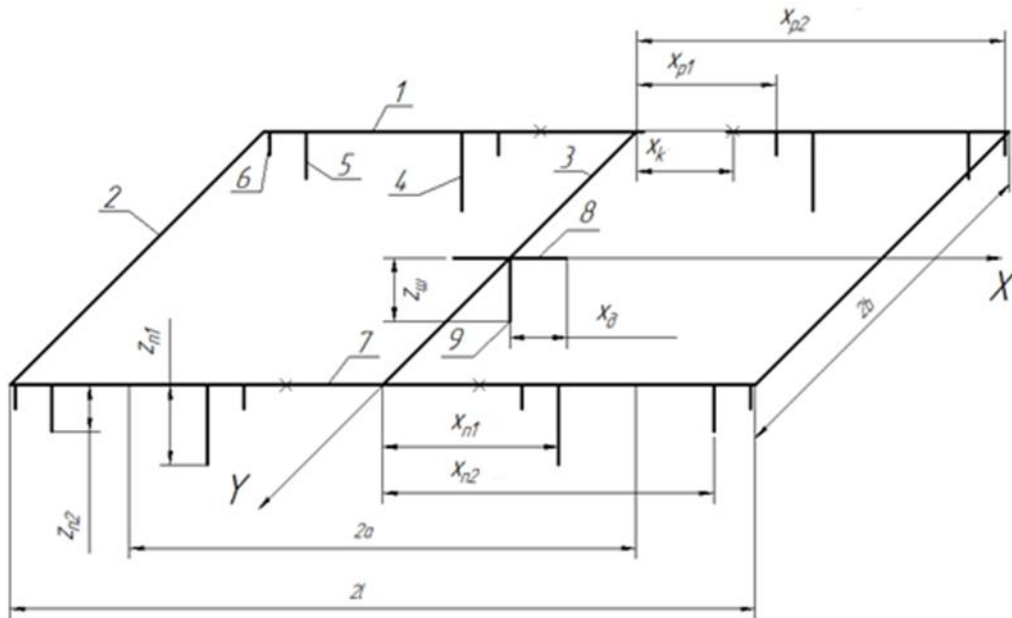


Рис. 2. Розрахункова стрижнева система рами візка

Стрижні 2, що позначають кінцеві балки, збігаються з геометричними осями кінцевих балок, що проходять через центри ваги площ їх поперечних перерізів, проведених у площині. Стрижень 3, що позначає шкворневий брус, збігається з геометричною віссю шкворневого бруса, що проходить через центр ваги площі його поперечного перерізу, проведеного в площині XZ . Для спрощення системи всі горизонтальні стрижні зведені в одну розрахункову площину, осі елементів прийняті прямолінійними без врахування зміни форми поперечних перерізів на окремих ділянках балок. Положення розрахункової площини приймається на висоті $h_p = 1000$ мм над рівнем голівок рейок. Стрижні 4 відповідають великим, а стрижні 5 – малим буксовим кронштейнам. Вони збігаються з вертикальними осями, що проходять через центри з'єднання кронштейнів з відповідними повідками букс.

Найменування елементів рами, їх номери на рисунку 2 і кількість на одній рамі; приведені в таб. 1.1.

Таблиця 1.1. Елементи рами візка

№ елемента	Найменування елемента	Кількість елементів
1	Боковина	2
2	Кінцева балка	2
3	Шкворневий брус	1
4	Кронштейн буксовий великий	4
5	Кронштейн буксовий малий	4

№ елемента	Найменування елемента	Кількість елементів
6	Кронштейн ресорного підвішування	8
7	Кронштейн люличного підвішування	4
8	Кронштейн для підвішування тягового двигуна	4
9	Шкворневий вузол	1

Розрахункові розміри елементів визначають по таких залежностях і записують у таблицю, подібну до табл. 1.2:

$2l$ – розрахункова довжина боковини в метрах (далі всі лінійні розміри приведені в метрах) дорівнює відстані між центрами ваги поперечних перерізів кінцевих балок (рис. 1),

$$2l = 2a + 1,64 - 0,18 = 2a + 1,46, \quad (1.1)$$

де $2a + 1,64$ – повна довжина рами візка (рис. 1),

$0,18$ – ширина нижнього листа кінцевої балки (рис. 1, переріз Б-Б);

$2b$ – розрахункова довжина кінцевої і шкворневої балок дорівнює відстані між центрами ваги поперечних перерізів бічних балок (рис. 1),

$$2b = 2,48 - 0,28 = 2,2, \quad (1.2)$$

де 2,48 – ширина рами візка (рис. 1),

0,28 – ширина нижнього листа боковини (рис. 1, переріз А-А);

x_{p1}, x_{p2} – відстані від осі Y до вертикальних осей, що проходять через центри кріплення ресорного підвішування до кронштейнів 6 (рис. 2);

$$x_{p1} = a - 0,7; x_{p2} = a + 0,7, \quad (1.3)$$

де 0,7 – половина відстані між осями ресорного підвішування, рівного 1,4 м (рис. 1),

a – половина бази візка $2a$ (рис. 1 і 2, табл. 1);

$x_{п1}, x_{п2}$ – відстані від осі Y до вертикальних осей, що проходять через центри кріплення буксових повідків до великих і малих буксових кронштейнів відповідно (рис. 2),

$$\begin{aligned} x_{п1} &= a - \frac{0,95}{2} = a - 0,475 \text{ м}, \\ x_{п2} &= a + \frac{0,95}{2} = a + 0,475 \text{ м} \end{aligned} \quad (1.4)$$

де 0,95 – відстань у метрах між крайніми осями ресорного підвішування (рис. 1);

a – половина бази візка (табл. 1)

$x_{к}$ – відстань від осі Y до вертикальної осі, що проходить через центр кронштейна люлечного підвішування (рис. 2),

$$x_{к} = \frac{1,18}{2} = 0,59 \text{ м}, \quad (1.5)$$

де 1,18 м – відстань між осями люлечного підвішування (рис. 1);

$Z_{п1}, Z_{п2}$ – відстані від розрахункової площини рами до осей вузлів з'єднання повідців букси з буксовими кронштейнами (рис. 2):

$$\begin{aligned} z_{п1} &= 0,45 - 0,16 + 0,2 = 0,49 \text{ м}, \\ z_{п2} &= 0,45 - 0,16 = 0,29 \text{ м}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

де 0,45 м – відстань від верхньої площини рами до осі з'єднання повідка букси з малим буксовим кронштейном;

0,16 м – відстань від верхньої площини рами до її розрахункової площини, що визначається як різниця між відстанню верхньої площини рами від рівня голівок рейок, рівною 1,16 м (рис. 1), і відстанню між розрахунковою площиною від рівня голівок рейок, рівною 1,0 м;

0,2 м – відстань між осями з'єднань повідків букси з малим і великим буксовими кронштейнами (рис. 1);

$z_{ш}$ – відстань від розрахункової площини рами до центра шкворневого вузла (рис. 2),

$$z_{ш} = 0,55 - 0,16 = 0,39 \text{ м}, \quad (1.7)$$

де 0,55 м – відстань від верхньої площини рами до центра шкворневого вузла (рис. 1),

0,16 м – відстань від верхньої площини рами до її розрахункової площини (вираз (1.6));

x_d – відстань від осі z до осі кронштейна підвіски тягового двигуна (рис. 2),

$$x_d = a - L_d = a - 1,2 \text{ м}, \quad (1.8)$$

де $L_d = 1,2$ м – база тягового двигуна (відстань від осі колісної пари до осі кронштейна підвіски двигуна) (рис. 1).

Отримані значення вищевказаних розмірів рами візка слід записати в таблицю типу табл. 1.2.

Таблиця 1.2 Розміри рами візка та її елементів

№ з/п	Позначення розміру	№ залежності	Розрахунковий розмір в метрах
1	$2l$	1.1	
2	$2b$	1.2	
3	x_{p1}	1.3	
4	x_{p2}	1.3	
5	$x_{п1}$	1.4	
6	$x_{п2}$	1.4	

№ з/п	Позначення розміру	№ залежності	Розрахунковий розмір в метрах
7	x_k	1.5	
8	$z_{п1}$	1.6	
9	$z_{п2}$	1.6	
10	$z_{ш}$	1.7	
11	x_d	1.8	

Необхідно виконати :

1.1. Використовуючи розміри рами візка, що приведені на рисунку 1, обчислити вищевказані розміри стрижневої системи рами і записати їх у таблицю типу таблиці 1.2.

1.2. Накреслити розрахункову стрижневу систему рами візка за прикладом рис. 2 і позначити її розміри, приведені в табл. 1.2.

ЗАВДАННЯ 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБЕЗПЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

Як видно з креслення візка (рис. 1), у розрахунковому перерізу боковини її вертикальні листи з'єднані зварюванням з циліндричним кінцем шкворневого бруса. Спрощений розрахунок міцності можна виконувати для перерізу, що складається тільки з основних елементів, а саме вертикальних і горизонтальних листів (рис. 3).

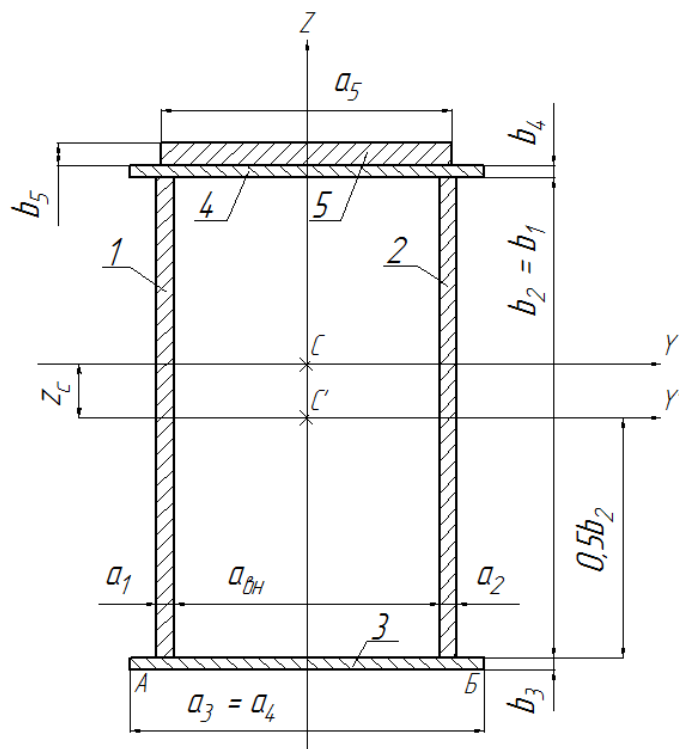


Рис. 3. Поперечний переріз боковини рами візка

Розрахункові напруження при такому наближенні можуть виявитися завищеними, що враховується при остаточній оцінці міцності рами. Просторова система сил, що діють на раму візка при деяких режимах руху зумовлює згин боковини в двох площинах, тому для розрахункового, перерізу боковини необхідно визначити його геометричні характеристики щодо центральних горизонтальної і вертикальної осей. До геометричних характеристик перерізу належать статичний

момент площі перерізу, координати центра ваги площі, момент інерції і момент опору перерізу при згинанні [5, розділ 2].

З рис. 3 видно, що поперечний переріз несиметричний щодо якої-небудь горизонтальної осі і симетричний щодо вертикальної осі Z , тому остання називається центральною. Звідси випливає, що центр ваги перерізу лежить на осі Z , а його положення на цій осі треба знайти. Для визначення положення центра ваги слід провести допоміжну горизонтальну вісь Y' через центри ваги елементів 1 і 2 і визначити статичний момент $S_{y'}$ перерізу щодо цієї осі. Точка перетинання допоміжної осі Y' з віссю Z на рис. 3 позначена буквою C' . Розміри поперечного перерізу і результати розрахунків слід записувати в таблицю 2.1 у такій послідовності:

1 – номер кожного елемента перерізу боковини (графа 1);

2 – горизонтальні a_i (графа 2) і вертикальні b_i (графа 3) розміри елементів перерізу (постійні для всіх завдань розміри $a_3, a_4, a_5, a_{BH}, b_1$ і b_2 слід брати з рис.1 (переріз А-А), а залежні від номера завдання розміри a_1, a_2, b_3, b_4, b_5 - з табл.1.2);

3 – площі елементів перерізу F_i , що визначаються по залежності $F_i = a_i \cdot b_i$, і площа всього перерізу F , яка дорівнює сумі $\sum F_i$ (графа 4);

4 – ординати z'_i центрів ваги елементів перерізу щодо допоміжної осі Y' (графа 5). З рис. 3 випливає, що для елементів 1 і 2 $z'_1 = z'_2 = 0$, тому що вісь Y' проведена через центри ваги цих елементів. Для елемента 3 ордината дорівнює.

$$z'_3 = -0,5 \cdot (b_1 + b_3) \quad (2.1)$$

для елемента 4 ордината z'_4 дорівнює

$$z'_4 = 0,5b_2 + 0,5b_4 ; \quad (2.2)$$

для елемента 5 ордината z'_5 дорівнює

$$z'_5 = 0,5b_2 + b_4 + 0,5b_5 ; \quad (2.3)$$

5 – статичні моменти площ елементів перерізу $S_{Y',i}$ (графа 6) щодо допоміжної осі Y' , котрі визначаються за залежністю

$$S_{Y',i} = F_i \cdot z'_i , \quad (2.4)$$

і статичний момент площі всього перерізу $S_{Y'}$, який дорівнює сумі $\sum S_{Y',i}$.

Ордината центра ваги площі всього перерізу боковини визначається за залежністю

$$z_c = \frac{S_{Y'}}{F} = \frac{\sum S_{Y',i}}{\sum F_i} \quad (2.5)$$

Значення z_c слід відкласти по осі Z нагору від точки C' і через отриману точку C провести горизонтальну центральну вісь Y .

Далі слід визначити геометричні характеристики перерізу щодо центральної осі Y у такій послідовності:

6 – ординати z_i центрів ваги елементів перерізу боковини (графа 7), що визначаються за залежністю

$$z_i = \pm z'_i - z_c ; \quad (2.6)$$

7 – добуток $z_i^2 \cdot F_i$ (графа 8) для кожного елемента перерізу і їхню суму $\sum z_i^2 \cdot F_i$

8 – моменти інерції $J_{y_{0,i}}$ елементів перерізу щодо власних центральних осей $y_{0,i}$ їхню суму $\sum J_{y_{0,i}}$ (графа 9). Момент інерції $J_{y_{0,i}}$ визначається за залежністю

$$J_{y_{0,i}} = \frac{a_i \cdot b_i^3}{12} ; \quad (2.7)$$

де a_i і b_i – горизонтальні і вертикальні розміри елементів перерізу (рис. 3 і 4).

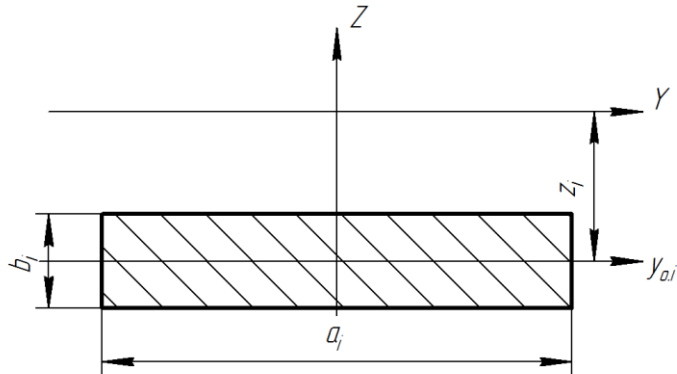


Рис. 4. Схема розташування і-го елемента перерізу, його власної центральної осі $y_{o,i}$ і її ординати z_i відносно центральної осі Y перерізу боковини

9 – моменти інерції $J_{Y,i}$ елементів перерізу щодо центральної осі Y перерізу, боковини і їхню суму $\sum J_{Y,i}$ (графіа 10). Момент інерції $J_{Y,i}$ елемента перерізу (рис. 4) визначається за залежністю

$$J_{Y,i} = J_{y_{o,i}} + z_i^2 \cdot F_i ; \quad (2.8)$$

10 – момент інерції J_Y усього перерізу щодо горизонтальної центральної осі Y визначається за залежністю

$$J_Y = \sum J_{Y,i} = \sum J_{y_{o,i}} + \sum z_i^2 \cdot F_i \quad (2.9)$$

або за залежністю

$$J_Y = \sum J_{Y,i} \quad (2.10)$$

Таблиця 2.1. Розрахунок моменту інерції перерізу відносно центральної горизонтальної осі Y

№ елемента	a_i	b_i	F_i	z'_i	S_{y_i}	z_i	$z_i^2 \cdot F_i$	$I_{y_{0,i}}$	$I_{y,i}$
	см	см	см ²	см	см ³	см	см ⁴	см ⁴	см ⁴
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
4									
5									
Σ									

Однакові значення моментів інерції перерізу боковини, які виконані по залежностях (2.9) і (2.10), свідчать про правильність проведених обчислень.

Далі визначаються геометричні характеристики перерізу щодо центральної осі Z. Оскільки центр ваги перерізу лежить на осі Z, абсциса центра ваги всього перерізу $y_c = 0$. Вихідні дані елементів поперечного перерізу і результати розрахунків слід записувати в табл. 2.2 у такій послідовності:

У графах 2 - 4 табл. 2.2 записують те ж саме, що й у табл. 2.1.

Таблиця 2.2. Розрахунок моменту інерції перерізу відносно центральної вертикальної осі Z

№ елемента	a_i	b_i	F_i	y_i	$y_i^2 \cdot F_i$	$I_{z_{0,i}}$	$I_{z,i}$
	см	см	см ²	см	см ⁴	см ⁴	см ⁴
1	2	3	4	5	6	7	8
1							
2							
3							
4							
5							
Σ							

Далі в табл. 2.2 слід записати:

1 – абсциси y_i центрів ваги елементів перерізу; щодо осі Z (графа 5). Абсциси y_i центрів ваги елементів 1 і 2 (рис. 3) визначаються по залежностях

$$y_1 = -0,5a_{\text{BH}} - 0,5a_1 = -0,5 \cdot 21 - 0,5a_1 \quad (2.11)$$

$$y_2 = 0,5a_{\text{BH}} + 0,5a_2 = 0,5 \cdot 21 + 0,5a_2 \quad (2.12)$$

Для інших елементів $y_3 = y_4 = y_5 = 0$;

2 – добуток $y_i^2 \cdot F_i$ для кожного елемента і їх суму $\sum y_i^2 \cdot F_i$, (графа 6);

3 – моменти інерції $J_{z_{0,i}}$ кожного елемента щодо власної центральної осі $z_{0,i}$ і їх суму $\sum J_{z_{0,i}}$ (графа 7). Момент інерції $J_{z_{0,i}}$ визначається за залежністю

$$J_{z_{0,i}} = \frac{b_i \cdot a_i^3}{12} ; \quad (2.13)$$

де a_i і b_i – горизонтальний та вертикальний розміри елемента відповідно.

4 – момент інерції J_z усього перерізу щодо вертикальної центральної осі Z (графа 8) визначається за залежностями

$$J_z = \sum J_{z_{0,i}} + \sum y_i^2 \cdot F_i \quad (2.14)$$

$$\text{або } J_z = \sum J_{z,i} \quad (2.15)$$

Однакові значення моменту інерції перерізу боковини, які визначені за залежностями (2.14) і (2.15), свідчать про правильність проведених обчислень.

При перевірці міцності рами нас цікавлять максимальні напруження від вертикальних і горизонтальних згинальних моментів у волокнах, найбільш віддалених від центральних осей перерізу, а саме в нижніх кутах елемента 3 у точках А і Б (рис. 3). Осьовий момент опору у вертикальній площині (навколо горизонтальної осі Y) для волокон, що проходять через зазначені точки, визначають за залежністю

$$W_{Y,A} = W_{Y,B} = \frac{J_Y}{z_{max}}, \quad (2.16)$$

де z_{max} – відстань від точки А до горизонтальної центральної осі Y визначають за залежністю

$$z_{max} = z_c + 0,5b_2 + b_3. \quad (2.17)$$

Осьовий момент опору в горизонтальній площині (відносно вертикальної центральної осі Z) для волокон, що проходять через ті самі точки, визначають за залежністю

$$W_{Z,A} = W_{Z,B} = \frac{J_Z}{y_{max}}, \quad (2.18)$$

де y_{max} – відстань від точки А (або В) до вертикальної осі Z визначають за залежністю

$$y_{max} = 0,5 \cdot a_3. \quad (2.19)$$

В інших кутових точках моменти опору згинання мають більші значення, отже, напруження в них будуть менше.

Потрібно виконати :

2.1. Накреслити ескіз розрахункового перерізу з зазначенням розмірів за зразком рис. 3 (формат паперу А4).

2.2. Провести центральну вісь 2 і допоміжну вісь Y'.

2.3. Заповнити графи з 1 по 6 табл. 2.1 і розрахувати z_c . Показати на ескізі центр ваги С перерізу, його ординату і центральну вісь Y.

2.4. Заповнити інші графи таблиці 2.1 і усі графи таблиці 2.2.

2.5. Визначити значення осьових моментів опору перерізу щодо центральних осей Y і Z для точок A і B .

ЗАВДАННЯ 3

ВАГОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РАМУ ВІЗКА

Вагове (вертикальна) навантаження на раму візка [1, § 3, § 7] складається з ваги кузова P_k , що приходить на один візок, і ваги рами візка P_p . Схема прикладання вагових навантажень до рами візка і викликані ними реакції опор R показано на рис. 5.

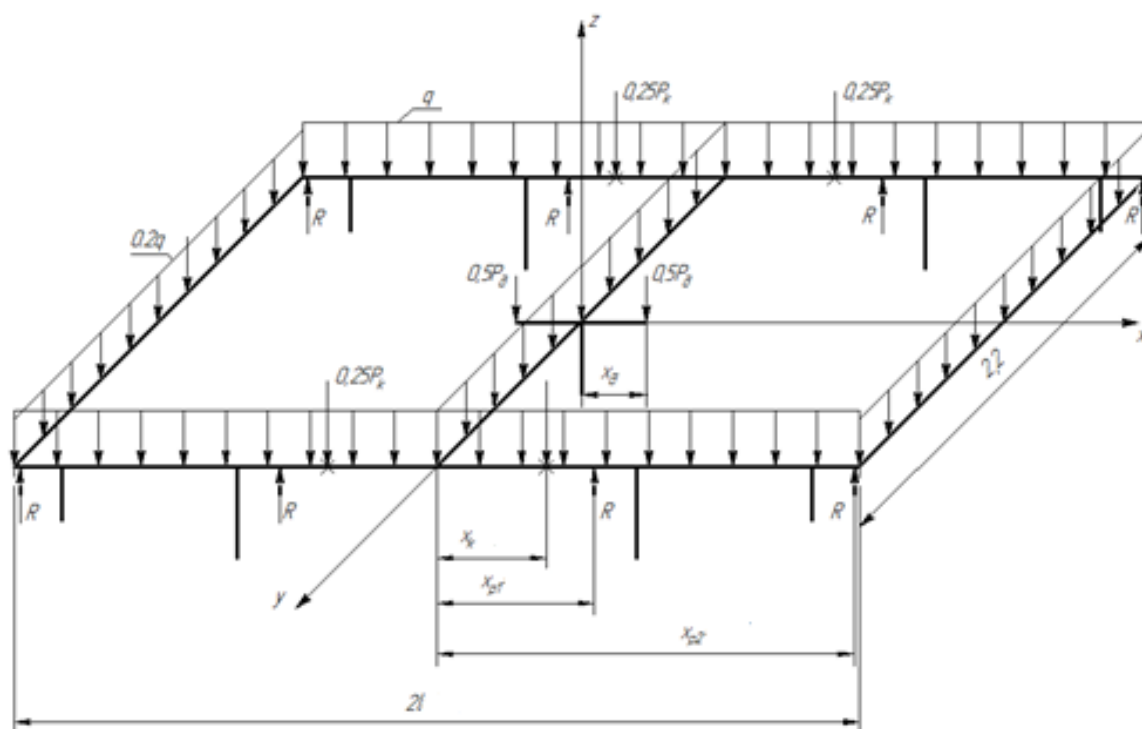


Рис. 5. Схема вагового навантаження на раму візка

Вага кузова, що припадає на один візок, визначається за формулою

$$P_k = n \cdot 2\Pi - P_B \quad (3.1)$$

де n – число осей одного візка (для даного завдання $n = 2$), 2Π – номінальне навантаження на вісь колісної пари (таблиця 2), P_B – вага візка. 2Π визначають шляхом ділення зчіпної ваги локомотива на число осей усіх візків. У даній робо-

ті 2П вибирається з табл. 2 залежно від номера завдання. Добуток $n \cdot 2П$ чисельно дорівнює вазі електровоза, що припадає на один візок.

Вага двовісного візка з опорно-осьовим підвішуванням електродвигунів визначається за формулою

$$P_{\text{в}} = P_{\text{р}} + 2P_{\text{нп}} , \quad (3.2)$$

де $P_{\text{р}}$ – вага рами візка, що складається з власної ваги рами, а також ваги закріплених на ній частин систем і половини ваги двигунів; $P_{\text{нп}}$ – вага невідвіснених частин візка, яка віднесена до однієї колісної осі.

Вага рами візка

$$P_{\text{р}} = 2P_{\text{б}} + P_{\text{ш}} + 2P_{\text{кб}} + P_{\text{д}} , \quad (3.3)$$

де $P_{\text{б}}$ – вага однієї боковини, $P_{\text{ш}}$ – вага шкворневої балки, $P_{\text{кб}}$ – вага кінцевої балки.

Вага однієї боковини

$$P_{\text{б}} = q \cdot 2l , \quad (3.4)$$

де q – інтенсивність рівномірно розподіленого підвісеного навантаження, $2l$ – розрахункова довжина боковини в метрах (1.1). Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження q у кН/м визначається за умовною формулою

$$q = 2,2 + 0,012 \cdot F , \quad (3.5)$$

де F – площа розрахункового поперечного перерізу боковини рами в см^2 , яка визначена на попередньому кроці.

Вага шкворневої балки визначається за формулою

$$P_{ш} = q \cdot 2b, \quad (3.6)$$

де $2b$ – розрахункова довжина шкворневої балки в метрах (1.2).

Вага кінцевої балки визначається за формулою

$$P_{кб} = 0,2 \cdot q \cdot 2b \quad (3.7)$$

де $2b$ – розрахункова довжина кінцевої балки в метрах (розрахункова довжина кінцевої балки дорівнює розрахунковій довжині шкворневої балки).

Значення $P_{б}$ (3.4), $P_{ш}$ (3.6) і (3.7) підставляють у рівняння (3.3) і визначають вагу рами візка P_p .

Вага невіднесених частин візка $P_{нп}$, яка віднесена до однієї осі, визначається за умовною формулою

$$P_{нп} = P_{кп} + 2P_{б} + 2 \cdot \frac{P_{рес}}{3} + \frac{2P_{кож}}{3} + \frac{P_d}{2} = 38 + \frac{P_d}{2}, \quad (3.8)$$

де $P_{кп}$ – вага колісної пари, $P_{б}$ – вага однієї букси, $P_{рес}$ і $P_{кож}$ – ваги системи ресорного підвішування і кожухів зубчастої передачі відповідно, які віднесені до однієї осі, P_d – вага одного тягового двигуна (таблиця 2).

Отримані значення P_p (3.3) і $P_{нп}$ (3.8) підставляють у рівняння (3.2) і визначають вагу візка P_v . Значення P_v (3.2) і $2П$ (табл. 2) підставляють у рівняння (3.1) і визначають вагу кузова P_k .

Загальна вага підресореної частини електровоза $P_{п}$, яка віднесена до одного візка, складається з ваги рами P_p і ваги кузова P_k

$$P_{п} = P_p + P_k \quad (3.9)$$

Це вагове навантаження передається на чотири ресорних підвіски, кожна з яких має по дві опори (рис. 5). Таким чином, вагове навантаження на раму візка від підресореної частини електровоза $P_{\text{п}}$ врівноважуються восьма реакціями опор $R_{\text{в}}$ (рис. 4). Величина реакцій ресорних підвісок від вагового навантаження визначається в кН по залежності

$$R_{\text{в}} = \frac{P_{\text{п}}}{8} \quad (3.10)$$

або з умови

$$R_{\text{в}} = \frac{2\Pi - P_{\text{нп}}}{4} \quad (3.11)$$

Одержання однакових значень $R_{\text{в}}$ по залежностях (3.10) і (3.11) буде свідчити про правильність проведених розрахунків. Результати обчислень по вищенаведених формулах треба записати в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Вагові навантаження на раму візка

№ п.п	Вид навантаження	Розрахункове значення
1	q , кН/м	
2	$P_{\text{б}}$, кН	
3	$P_{\text{ш}}$, кН	
4	$P_{\text{кб}}$, кН	
5	$P_{\text{р}}$, кН	

№ п.п	Вид навантаження	Розрахункове значення
6	$P_{\text{нп}}$, кН	
7	$P_{\text{в}}$, кН	
8	$P_{\text{к}}$, кН	
9	$P_{\text{п}}$, кН	
10	$R_{\text{в}}$, кН	

Потрібно виконати

3.1. Накреслити схему вагового навантаження на раму візка за зразком рис. 3.

3.2. Розрахувати інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження q , величини вагових навантажень, реакцію опор $R_{\text{в}}$ й отримані значення записати в табл. 3.1.

ЗАВДАННЯ 4

НАПРУЖЕННЯ В НЕБЕЗПЕЧНОМУ ПЕРЕРІЗІ РАМИ ВІЗКА ВІД ВАГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Рама візка –це просторова статично невизначена система з двома замкнутими контурами, кожний з яких утворений шкворневим брусом, половинами бокових і кінцевою балкою. Розрахунок статично невизначеної системи звичайно виробляється методом сил, що полягає в перетворенні системи в статично визначну за допомогою розрізування «зайвих» стрижнів. При цьому в місцях розрізів повинні бути прикладені невідомі зусилля і моменти. Оскільки ступінь статичної невизначеності дорівнює в даному випадку 12, у місцях розрізів з'являється дванадцять невідомих силових факторів. Умовою рішення такої системи є рівність нулю взаємних переміщень кінців розрізаних стрижнів під дією невідомих силових факторів. Після цього складається система канонічних рівнянь відповідно числу невідомих. Рішення системи дає значення силових факторів у розрізах. Подальший розрахунок такої стрижневої системи складається у визначенні згинальних моментів і крутних моментів та перерізувальних сил у розрізах стрижнів при окремих видах навантажування, після чого розраховуються напруження в небезпечних перерізах [3], [5, розділ 14]].

У курсовому проектуванні можна розглядати раму як статично визначену систему, якщо зневажити впливом жорсткості кінцевих балок. У цьому разі замкнуті контури відсутні і розрахунок на міцність після визначення системи зовнішніх сил виробляється окремо для чверті рами, тому що розрахункова схема симетрична, і відкинуту частину рами можна замінити защемленням. При такій розрахунковій схемі максимальний згинальний момент буде діяти в защемленні боковини. Саме цей переріз у середній частині боковини по осі шкворневого бруса є небезпечним і підлягає перевірці на міцність. Повна симетрія рами і її навантаження щодо подовжньої x і поперечної y осей дозволяє, як було вище зазначено, розраховувати 1/4 частина рами. При цьому розрахункова схема приво-

диться до плоского згинання консольної балки, яка жорстко затиснута з одного кінця (рис. 6).

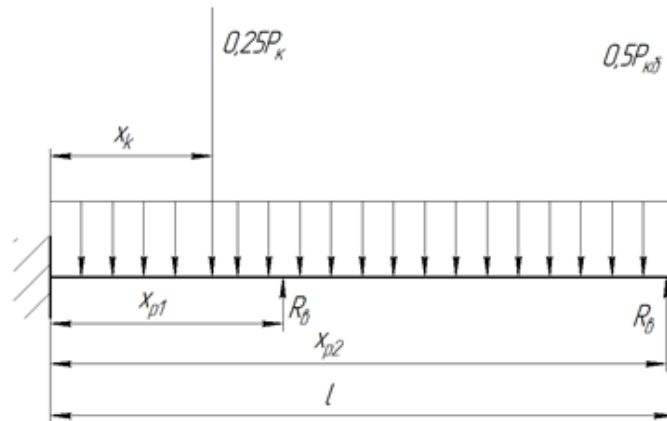


Рис. 6. Схема вагового навантаження боковини рами візка

На консоль діють такі навантаження: рівномірно розподілене навантаження $q \cdot l$, чверть ваги кузова $0,25P_k$, половина ваги кінцевої балки $0,5P_{кб.}$, дві реакції опор R_b .

Розрахунковий згинальний момент у затисненні кінця балки в $\text{кН} \cdot \text{м}$ визначається по залежності

$$M_{yB} = R_b(x_{p1} + x_{p2}) - 0,5 q \cdot l^2 - 0,2 q \cdot b \cdot l - 0,25 P_k \cdot x_k \quad (4.1)$$

Максимальні напруження в точках А і Б (рисунок 3) у МПа розраховуються за формулою

$$\sigma_{y1} = \frac{M_{yB} [\text{кН} \cdot \text{м}]}{W_{y1} [\text{см}^3]} = 10^3 \cdot \frac{M_{yB}}{W_{y1}} [\text{МПа}]. \quad (4.2)$$

Тут M_{yB} у $\text{кН} \cdot \text{м}$, W_{y1} у см^3 , σ_{y1} у МПа.

Перехід від $\frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{см}^3}$ на МПа здійснюється таким чином:

$$\frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{см}^3} = \frac{\text{кН} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = 10^6 \cdot \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 10^6 \cdot \frac{10^3 \text{Н}}{\text{м}^2} = 10^9 \text{Па} = 10^3 \text{МПа} \quad (4.3)$$

Нагадуємо, що $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

Потрібно виконати

4.1. Зобразити розрахункову схему вагового навантаження боковини.

4.2. Розрахувати згинальний момент у затисненні кінця балки від дії усіх вагових сил за залежністю (4.1).

4.3. Визначити в МПа напруження σ_y для точки А поперечного перерізу боковин за формулою (4.2).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Нормы* для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм.– М.: Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 1998. – 145 с.
2. *Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.-д. трансп.* / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак и др.; Под ред. И. В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
3. *Медель В. Д.* Подвижной состав электрических железных дорог.–М.: Транспорт, 1974. –232 с.
4. *ДСТУ 2444-94.* Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення. – Чинний від 01.07.95.
5. *Писаренко Г С., Квітка О. Л., Уманський Є. С.* Опір матеріалів / За ред. акад. НАН України Писаренка Г. С. – 2-ге видання, доповнене і перероблене. – К.: Вища Школа, 2004. – 655 с.

Навчально-методичне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
та завдання до виконання контрольної роботи
з дисципліни «Конструкція та динаміка ЕРС»
для студентів напряму підготовки 6.050702 Електромеханіка
освітнього ступеню «Бакалавр» заочної форми навчання

Укладачі: **Черняк Ю.В.,**
Гатченко В.О.,
Гаюр А.В.,
Ревчук М.О.,
Карашук С.В.

Відповідальний за випуск – Карашук С.В.

Редактор – Щербак Н.В.

Макет і верстка В.О.Андрієнка

Підписано до друку 06.10.2015. Формат 60x84/16. Папір – офсетний. Друк – на ризографі. Зам. № 112/15. Тираж 50 прим.

Надруковано у Редакційно-видавничому центрі
Державного економіко-технологічного університету транспорту.
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 3079 від 27.12.07 р.
03049, м. Київ-49, вул. М.Лукашевича, 19