

УДК 624.07

Х.В. Раковський¹, Н.Х. Раковська²¹Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків²Міжнародний Славянський університет, Харків**АНАЛІЗ СИСТЕМ БАГАТОЯРУСНИХ БАЛАНСИРІВ ВАЖКИХ АГРЕГАТІВ**

У статті показано існування краю кількості ярусів балансирів, вище якого рівномірне навантаження на колеса при русі важких агрегатів по рейкових коліях з локальними нерівностями не забезпечується.

яруси балансирів, важкий агрегат, рейкова колія

Вступ

Для агрегатів, що рухаються по рельсовому шляху, застосування балансирів є невід'ємною частиною їх конструкції. Широке застосування балансирів пояснюється їх простотою, надійністю експлуатації та рівномірністю розподілу навантаження на колеса в статичному стані агрегату. Але багатоярусні балансири мають серйозні недоліки. Збільшення кількості ярусів балансирів приводить до збільшення габаритів, а значить, маси агрегату, в результаті чого зменшується вага вантажу, що перевозиться. У той же час, балансири повинні бути достатньо жорсткими (інакше функція балансира не буде реалізовуватися). Жорсткість балансирів досягається за рахунок зниження в них напруження, що може реалізуватися за рахунок збільшення їх маси.

У роботі обґрунтовується висновок щодо доцільності переходу високонавантажених агрегатів, що рухаються по рейковому шляху, на безбалансирні конструкції, які забезпечують при цьому рівномірне навантаження на колеса.

Проведений аналіз [1, 2] дозволяє встановити залежності геометричних і масових характеристик балансирів від кількості ярусів, факторів, що впливають на рівномірне навантаження коліс, при русі агрегату по рейковому шляху з локальними нерівностями, більш обґрунтовано оцінити перспективи розвитку багатоярусних конструкцій для багатовісних агрегатів.

Мета роботи. Розглянути дві форми балансирів:

- прямокутну, що забезпечує жорсткість, але має високу масу;
- ромбоподібну, що забезпечує більш низьку жорсткість, але має високу масу.

Обидві форми, що аналізуються, розглядаються як граничні значення для реальних багатоярусних конструкцій балансирів.

Основний матеріал

Максимальна висота балансирів i -го ярусу (для двох форм конструкції балансирів) однакова і визначається за формулою

$$H_i^{\max} \cong 4,4 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{P_i L_i}, \quad (1)$$

де P_i – сила, що діє на край балансира i -го ярусу.

Результати розрахунків довжин балансирів L_i , сил P_i , що діють на краї балансирів, максимальний згинаючий момент M_i , максимальна висота балансирів (для i -го ярусу) наводяться в табл. 1.

Таблиця 1

Довжина балансирів, сили, що діє на краї балансирів, максимальний згинаючий момент, максимальна висота балансирів

i	L_i	P_i	M_i^{\max}		H_i
1.	$5 \cdot 10^5$	1,5	M_1	$3,75 \cdot 10^5$	0,315878
2.	$10 \cdot 10^5$	3	$4 M_1$	$15 \cdot 10^5$	0,503674
3.	$20 \cdot 10^5$	6	$16 M_1$	$60 \cdot 10^5$	0,799533
4.	$40 \cdot 10^5$	12	$64 M_1$	$240 \cdot 10^5$	1,269179
5.	$80 \cdot 10^5$	24	$256 M_1$	$960 \cdot 10^5$	2,014697
6.	$160 \cdot 10^5$	48	$1024 M_1$	$3840 \cdot 10^5$	3,198132
7.	$320 \cdot 10^5$	96	$4096 M_1$	$15360 \cdot 10^5$	5,076718

За результатами аналізу даних, що наводяться в табл. 1, виходить:

$$L_i = L_1 \cdot 2^{(i-1)}; \quad P_i = P_1 \cdot 2^{(i-1)}; \quad M_i^{\max} = M_1^{\max} \cdot 2^{2(i-1)}, \quad (2)$$

де L_1 , P_1 , M_1^{\max} – довжина балансира; сила, що діє на край балансира; максимальний згинаючий момент (для одного балансира 1-го ярусу).

Із зростанням кількості балансирів максимальний згинаючий момент зростає (2), і для четвертого ярусу він у 64 рази більше, ніж для першого. Для 5, 6, 7 ярусів – в 256, 1024, 4096 раз вище, ніж у балансири першого ярусу.

За даними, що наведені в 4 стовпчику табл. 1, побудовано графіки відносних максимальних моментів M_i^{\max} / M_1^{\max} для балансірів різних ярусів (рис. 1).

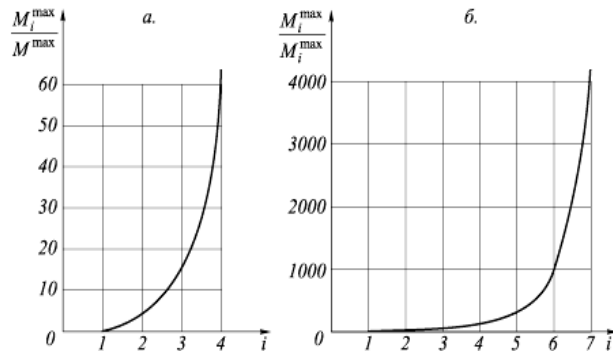


Рис. 1. Відносні максимальні згинаючі моменти для балансірів різних ярусів: а – чотириярусні, б – семиярусні балансири

Спостерігається виключно різке зростання максимальних згинаючих моментів із зростанням кількості ярусів.

З формул (2) на основі даних табл. 1 і щільності матеріалу балансира, отримуємо вираз для маси одного балансира i -го ярусу для двох варіантів форм балансірів

$$M_i^{БП} = 2,156 \cdot 10^3 \cdot N_i \cdot L_i, \quad (3)$$

$$M_i^{БР} = 1,078 \cdot 10^3 \cdot N_i \cdot L_i, \quad (4)$$

У табл. 2 наведені результати мас як для окремих балансірів i -го ярусу, так і сумарні маси балансірів для різних ярусів ($M_i^{БП}$, $M_i^{БР}$ – маси одного балансира i -го ярусу прямокутної чи ромбоподібної форми; $M_{i\Sigma}^{БП}$, $M_{i\Sigma}^{БР}$ – сумарні маси i -го ярусу системи балансірів прямокутної чи ромбоподібної форми).

Таблиця 2

Маси балансірів

i	$M_i^{БП}$	$M_{i\Sigma}^{БП}$	$M_i^{БР}$	$M_{i\Sigma}^{БР}$
1	2	3	4	5
1.	322	322	161	161
2.	1640	2284	820	1142
3.	8269	12837	4134	6418
4.	41675	64349	20837	32174
5.	210029	344727	105014	172363
6.	1058480	1747934	529240	873967
7.	5334406	8830274	2667203	4415137

Відношення сил ваги i -ярусних балансірів до припустимого навантаження на колесо $[P_k]$ наведено в табл. 3 ($g_0 \cdot M_{i\Sigma}^{БП}$, $g_0 \cdot M_{i\Sigma}^{БР}$ – сили ваги для двох форм конструкції балансірів; n – кількість коліс в i -ярусному багатівісному агрегаті). На рис. 2, за даними табл. 3, побудовано графіки зміни сил ваги в залежності від кількості ярусів. Як бачимо, навантаження на колеса різко зростає зі збільшенням кількості ярусів балансірів незалежно від форми балансира.

І подальше збільшення корисної маси навантаження не може забезпечуватися за допомогою багатоярусних балансірів. Це є першим серйознішим недоліком багатоярусних балансірних конструкцій.

Таблиця 3

Відношення сил ваги до припустимого навантаження на колесо

i	$g_0 \cdot M_{i\Sigma}^{БП}$	$g_0 \cdot M_{i\Sigma}^{БР}$	n	$g_0 \cdot M_{i\Sigma}^{БП} / n$	$(g_0 \cdot M_{i\Sigma}^{БП}) / n$
1.	3220	1610	2	1610	805
2.	22840	11420	4	5710	2855
3.	128370	64185	8	16046	8023
4.	673490	336745	16	39843	19921
5.	3447270	1723635	32	107727	53863
6.	17479340	8739670	64	273114	136557
7.	88302740	44151370	128	689865	344493

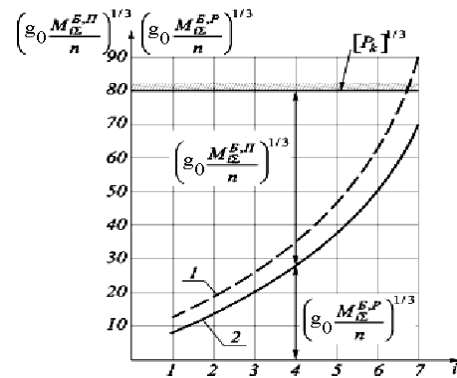


Рис. 2. Графіки вимірювання сил ваги багатоярусних балансірів (що діють на колеса багатівісного агрегату) залежно від кількості ярусів – i :
1 – прямокутна форма балансірів;
2 – ромбоподібна форма балансірів

При русі агрегату з балансірною системою рівномірність навантаження коліс зберігається тільки при ідеально рівному рейковому шляху. Наявність локальних нерівностей або його перенахилу призводить до динамічних переміщень балансірів, і рівномірність навантаження коліс порушується.

Нерівномірність навантаження коліс при русі багатоярусних важких агрегатів пояснюється тим, що при наїзді колеса (або ряду коліс) агрегату на локальну нерівність залізничної колії (рис. 3) відбуваються розгорнення всіх ярусів балансірів.

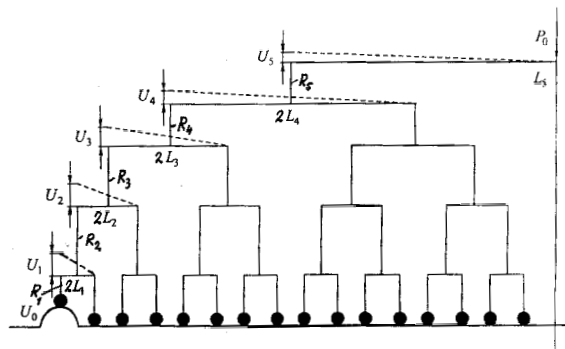


Рис. 3. Схема пересувань 5-ярусного балансира при наїзді вантажного візка на локальне викривлення шляху

Але завдяки високим значенням їх масових моментів інерції, ці пересування здійснюються з деяким "запізнюванням". У результаті чого і виникає нерівномірність навантаження коліс. І чим вище швидкість пересування агрегату, тим значніше відбувається "запізнювання" розгортань балансирів, і тим значніше виявляється нерівномірність навантаження коліс.

Ця обставина є другим серйозним недоліком багатоярусних балансирів.

Наявність локальних нерівностей шляху призводить до появи з боку рейки на колеса сили $R_i(t)$, що визначається виразом:

$$R_i(t) \cong -\frac{P_0}{32} \left[5L_i \frac{(1+\alpha)}{\alpha[\sigma]} \cdot V_0^2 U_0 \left(\frac{\pi}{L_0} \right) \sin \frac{\pi V_0 t}{L_0} + 1 \right], \quad (5)$$

де $[\sigma]$ – припустимі нормальні напруження в балансирах; V_0 – швидкість руху агрегату; U_0, L_0 – висота й довжина локальної нерівності рейки; L_1 – довжина балансира 1-го ярусу; a – відношення кінцевого перетину балансира до центрального перетину.

З (5) випливає, що навантаження на колеса: пропорційно квадрату швидкості руху V_0 агрегата; обернено пропорційне довжині локальної нерівності L_0 у квадраті; обернено пропорційне припустимим нормальним напругам $[\sigma]$ для матеріалу балансирів.

Висновки

Аналіз роботи механічних багатоярусних балансирних систем показав, що конструкції балансиричного типу не можуть забезпечити транспортування надважких вантажів, тому що після 5 ярусів

балансирів відбувається зменшення корисної маси вантажу [1].

Балансири не можуть забезпечити рівномірне навантаження на колеса при незначній нерівності шляху й швидкості руху. При цьому навантаження на окремі колеса можуть досягати понадкрайові значення, а значить, призводять до розладу ходової частини [2]. Багатоярусні балансири системи, обмежуючи збільшення вантажів, що перевозяться, є гальмом у розвитку високонавантажених агрегатів наземного обладнання ракетно-космічних комплексів.

Подальший розвиток спеціальних багатоколісних агрегатів, що рухаються по рельсовому шляху, повинен бути безбалансирним [3].

Проведені дослідження показали, що альтернативні безбалансирні багатівісні залізничні конструкції достатньо забезпечують рівномірність навантаження коліс [3].

Список літератури

1. Костецкий К.П. Развитие транспорта в металлургии. – М.: Металлургиздат, 1963. – 332 с.
2. Раковский Х.В., Раковская-Башмакова Н.Х. Ходовая часть сверхтяжелых специальных агрегатов – рельсы – основания путей. – Х.: МСУ, 1998. – 84 с.
3. Раковская Н.Х. Математические модели безбалансирных сверхтяжелых специальных агрегатов (сопряженные задачи в расчетах и проектировании). – Х.: Министерство обороны Украины. – 2003. – 96 с..

Надійшла до редколегії 11.10.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.