УДК 621.86

К. Ф. Боряк¹, д.т.н., О. В. Афтанюк¹, к.т.н., О. М. Лимаренко², к.т.н.

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса ²Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

ПЕРЕВІРКА НА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗНКП-60

Авторами пропонується ввести до повірочних еталонних засобів вимірювання маси новий допоміжний повірочний пристрій – «Зважувальний неавтоматичний калібрувальний пристрій з найбільшою границею зважування 60 т (ЗНКП-60)», який для створення зусиль навантаження на вантажоприймальну платформу використовує гідравлічні домкрати і баластний вантаж. Було розроблено декілька варіантів конструкції ЗНКП-60, кожний із яких має своїпереваги і обмеження щодо застосування на практиці. В статті розглядається результати розрахунку на міцність основних конструктивних елементів першого варіанту конструкції ЗНКП-60, який використовує у якості баластного вантажу вантажний вагон типу «напіввагон», під кузов якого було пристосовано конструкція самого пристрою.

Ключові слова: зважувальний неавтоматичний калібрувальний пристрій, вантажоприймальна платформа, вагопередавальний пристрій, залізничні ваги, безгирна повірка, калібрування великовантажних ваг, еталоні засоби вимірювання маси.

Актуальність досліджень існуючої проблеми. Великовантажні платформні ваги є найбільш поширеним засобом вимірювальної техніки при здійсненні комерційних перевезень по залізниці. Технічні та метрологічні характеристики цих ваг повинні відповідати вимогам [1, 2]. Повірка (калібрування) ваг повинна здійснюватися відповідно до вимог [3]. Відповідно до цих вимогосновним методом повірки великовантажних стаціонарних платформних залізничних ваг є безпосереднє навантаження вагової платформи еталонними гирями класу М₁ масою 2 т [4]. Загальна маса гир, яка потрібна при повірці, повинна бути кратна найбільшій межі зважування (НМЗ). До вагової платформи гирі доставляються вагоповірочним вагоном. У ході повірки необхідно виконати багаторазове навантаження вагової платформи, що вимагає переміщення великих мас гир.

Прикладна проблема, на вирішення якої спрямовані дослідження. Проблемою є дефіцит вагоповірочних вагонів (ВПВ), більшість яких були створені за часів СРСР і є морально застарілими. У зв'язку з цим терміни міжповірочного інтервалу порушуються, що призводить до тимчасової зупинки експлуатації вагового обладнання і виробничим простоям. Це призводить до великих збитків, які несуть промислові підприємства в очікуванні своєї черги.

Таким чином, для значного скорочення експлуатаційних витрат та часу на проведення повірки великовантажних платформних залізничних ваг є актуальним та економічно доцільним розроблення нового методу безгирної повірки та відповідної для цього конструкції допоміжного повірочного пристрою без використання вагоповірочного вагону та без додаткових фінансових витрат на модернізацію самих ваг.

Аналіз останніх досягнень. Відома російська методика безгирної повірки для великовантажних платформних вагонних ваг [5], в якій вагову платформу пропонують навантажувати не гирями або баластними масами, а різними навантажувальними механізмами, виміряючи навантажувальне зусилля еталонними датчиками у пристрою, а результати порівнюють із показами датчиків вантажоприймальної платформи.

Видано багато патентів на різні конструкції навантажувального пристрою. Як один варіантів, пропонується навантажувати вагову платформу гідроциліндрами. У цьому напрямку ряд відомих виробничих фірм виконали модернізацію конструкції платформних ваг, що включає створення спеціальної рамної обв'язки і посилення фундаменту, що дозволяє створити упор для навантажувального пристрою, встановленого на ваговій платформі. У деяких конструкціях в отвір у самій ваговій платформі пропускається трос, який закріплюється за фундамент. Лебідка, що розміщена зверху на ваговій платформі, натягує трос, створюючи навантажувальне зусилля. В інших конструкціях ваг пропонується розміщувати силовимірювальний датчик еталонного пристрою під ваговою платформою, що можливо зробити далеко не завжди.

Таким чином, розглянута вище російська методика безгирної повірки має певні недоліки.

При створенні повірочного зусилля на платформу ваг виникає сила протидії, що в застосовуваних час конструкціях призводить до необхідності значного посилення фундаменту ваг або істотного ускладнення самої металевої конструкції. Зазначені конструкційні складності призвели до того, що загальна вартість нових платформних ваг значно зростає, а для вже існуючих ваг зовсім стає неможливим застосувати відомий метод безгирної повірки. Однак, ускладнення конструкції самих ваг, яка повинна витримувати силу протидії навантажувальному пристрою в кілька десятків тонн, що виникають за третім законом Ньютона, призвела до того, що російський метод безгирної повірки не знайшов широкого поширення ні в Росії, ні в Україні. В обґрунтованих випадках його можна використовувати для діагностики технічного стану чи налагоджування окремих складових вагового терміналу. Однак. на сьогодні застосування російської методики при повірці платформних вагонних ваг неприйнятно. Причиною всьому є відсутність в розпорядженні повірника відповідної конструкції навантажувального пристрою, який би створював навантажувальні зусилля на вагову платформу, адекватні реальним умовам експлуатації. Саме ці обставини затримують широке впровадження методики безгирної повірки на практиці.

Мета та основні завдання досліджень. Метою досліджень є зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних із застосуванням еталонних гир IV розряду і вантажопідйомної техніки разом з вагоповірочним вагоном, і скорочення технологічного часу на проведення операцій повірки (калібрування) великовантажних залізничних платформних ваг за рахунок використання мобільного допоміжного повірочного пристрою.

Виклад основного матеріалу. Нами пропонується ввести до повірочних еталонних засобів вимірювання маси новий допоміжний повірочний пристрій під назвою: «Зважувальний неавтоматичний калібрувальний пристрій з найбільшою границею зважування 60 т (ЗНКП-60)», який замінить вагоповірочний вагон, укомплектований гирями під час експлуатації залізничних платформних ваг [6].

Було розроблено декілька варіантів [7, 8] конструкції ЗНКП-60. Перший варіант було розроблено під використання у якості баластного вантажу одного вантажного вагону типу «напіввагон» [7], що являє собою розбірну металеву конструкцію, в яку вмонтовано гідравлічні домкрати та тензометричні датчики, яка монтується між баластовим вантажем і ваговою платформою таким чином, що навантажувальні зусилля від гідравлічних домкратів передаються вертикально на залізничні рейки вагової платформи, далі на саму конструкцію платформи, фундамент і підстильну підставу. Колісні пари вантажного вагону розміщуються за межами вагової платформи на під'їзній і між двома платформами ділянках рейкового полотна таким чином, щоб навантаження від колісних пар візків не передавалось на вагову платформу (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема взаємного розташування складових елементів мобільного пересувного вимірювального еталонного комплексу при виконанні робіт з повірки (калібруванні) платформних ваг

Принципову схему навантаження вагової платформи можна представити так (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема навантаження вагової платформи з використанням гідравлічних домкратів і баластного вантажу: 1 вагова платформа; 2 – вимірювальний прилад; 3 – гідравлічний домкрат; 4 – баластний вантаж

Слід також визнати, що перший варіант конструкції ЗНКП-60 має конструктивні обмеження щодо збільшення максимального зусилля навантаження на вертикальні стійки та хребтову балку кузову напіввагону, який застосовується в якості баластного вантажу. Це трохи обмежує його застосування на практиці,що можна вважати певним його недоліком. Незважаючи на це, він цілком відповідає вимогам технічного регламенту України [9], який розроблений на основі положень Директиви 2009/23/ ЄС, щодо неавтоматичних приладів для зважування і вимогам [1] в частині п. 3.7.2, яка стосується допоміжних повірочних пристроїв. Тому може бути рекомендовано до впровадження.

Перший варіант ЗНКП-60 має такі метрологічні характеристики:

- найбільша границя зважування Мах, кг 60000;

- найменша границя зважування Min, кг 400; - границя похибки вимірювання маси, кг ± 15(25).

Для вимірювання зусиль в режимі розтягнення / стиснення використовується силовий міст з трьох балкових тензометричних датчиків марки ZEMIC H8C класу точності C3, C₄ або A_5M з номінальним навантаженням 2000кг. Точність вимірювання маси зменшується відповідно до застосування датчиків більш високого класу [10, 11].

Металева конструкція зважувального неавтоматичного калібрувального приладу складається з шести модулів, згрупованих попарно у три окремі секції, які розташовуються на рейках вагової платформи на міжцентрової відстані 1700 мм одна від одної, що дорівнює відстані між бічними стійками кузову вантажного вагону відкритого типу. До складу однієї секції ЗНКП-60 входить (рис. 3):

навантажувальний пристрій, що складається із трьох гідравлічних домкратів, які встановлені на перемичках 5 і 6, причому на бічних перемичках 5 встановлені два домкрата з максимальним зусиллям в 5,0 тс (49 кН), а на центральній перемичці 6 встановлено третій домкрат з максимальним зусиллям в 15,0 тс (147 кН);

вагопередавальний пристрій 4 – 6 являє собою складові зварні металоконструкції (перемички 5 і 6 та дві балки 4), які розташовані поперек рейкового полотна, мають довжину 3120 мм, відповідно габаритній ширині напіввагону по бічних стійках і які своїми опорами центруються і спираються на диски ваговимірювальних пристроїв 2;

ваговимірювальний пристрій 2 (чотири одиниці) являє собою комплект з трьох еталонних балкових датчиків, закріплених на приймальному диску під кутом 120 градусів один до одного, які розташовані попарно з двох сторін по центру головки рейки зверху на плитах вантажоприймального пристрою 1;

вантажоприймальний пристрій 1 (дві балки 1), що представляє собою дві рамні зварні металоконструкції, які закріплені поперек рейкового полотна (для запобігання відриву металоконструкції пристрою від головок рейок під час навантаження в нижній частині рами в обмежуючих куточках передбачена установка двох притискних упорів, взаємодіючих з нижньою частиною головки рейки).



Рисунок 3 – ЗНКП-60 зі схемою відтворення зусиль навантаження на одну із секцій вагової платформи: 1 – вантажоприймальний пристрій (всього 6 од.); 2 – ваговимірювальний пристрій ВП-5 (всього 12 од.); 3 – тензометричний датчик (всього 36 од.); елементи вагопередавального пристрою; 4 – складна балка (всього 6 од.); 5 – бічна перемичка (всього 6 од.); 6 – центральна перемичка (всього 3 од.)

Гідравлічне обладнання ЗНКП-60 складається з двох комплектів: ручних насосів, домкратів, з'єднувальних шлангів і швидко роз'ємних з'єднувальних елементів (муфт з наконечниками). Один комплект для бічних домкратів з насосом № 1 об'єднує шість домкратів, під'єднаних до насоса паралельно. Другий комплект для центральних домкратів з насосом № 2 об'єднує три домкрати, також під'єднаних паралельно. Три секції ЗНКП-60 одночасно можуть відтворювати максимальне навантажувальне зусилля в 60 тс (589 кН). Кожна секція може відтворювати максимальне зусилля в 20 тс (196 кН). А кожен модуль по окремо може відтворювати максимальне зусилля в 10 тс (98 кН), причому на центральну частину доводиться 73,5 кН,а на бічні частини по 12,25 кН (рис. 4).

Серед конструктивних елементів ЗНКП-60 самим відповідальним є вантажоприймальний пристрій 1. Для розрахунків на міцність спочатку

потрібно обрати зручний метод, заснований на ряді спрощуваних передумов і способах штучного полегшення розрахункового процесу.



Рисунок 4 – Схема розподілу сумарного максимального навантажувального зусилля 98 кН гідравлічними домкратами на дві бічні стійки по 12,25 кН і на хребтову балку 73,5 кН в межах одного вантажоприймального пристрою 1

Найбільш зручними для вирішення завдань механіки як в метрологічних дослідженнях так і в інших галузях науки і техніки виявилися методи дискретної теорії лінійних просторів: матричне числення, метод потенціалу, метод граничних елементів і безумовно метод скінченних елементів (МСЕ). Скінченно - елементний аналіз дозволяє в рамках єдиного підходу вирішувати не тільки завдання статики, динаміки, а ще оптимізації і контактної взаємодії конструкцій.

Цей метод дозволяє оцінювати як напружено-деформований стан всієї конструкції, так і окремих її елементів. Тому нами були виконані розрахунки досліджуваної конструкції методом скінченних елементів, що реалізується в багатоцільовому пакеті Ansys. Програмний комплекс Ansys математичною основою якого є МСЕ, дозволяє вирішувати крайові задачі практично у всіх інженерних додатках.

В розрахунках вантажоприймального пристрою 1 з сумарним максимальним навантаженням 98 кН (рис. 5) були прийняті такі вихідні данні:





На підставі прийнятого поперечного перетину (рис. 6)



Рисунок 6 – Розрахунковий поперечний переріз вантажоприймального пристрою (*розміри* для зручності розрахунків вказані в сантиметрах): 1 – швелер; 2 – листовий метал

маємо наступні розрахункові значення нашого конструктивного елементу:

$$\begin{split} I_{x1} &= 48,6\,cm^4,\ F_1 = 7,51\,cm^2,\ n = 2\\ y_1 &= 3,25\,cm,\ a_1 = 2,21\,cm,\\ I_{x2} &= 1,24\,cm^4,\ F_2 = 23,2\,cm^2,\\ y_2 &= 6,90\,cm,\ a_{21} = 1,44\,cm. \end{split}$$

Нейтральна вісь перерізу

$$y_c = \frac{2 \cdot 7,51 \cdot 3,25 + 23 \cdot 6,9}{2 \cdot 7,51 + 23} = \frac{207,515}{38,02} = 5,46 \, cm.$$

Момент інерції перерізу

$$I_{x} = 2(48, 6+2, 21^{2} \cdot 7, 51) + (1, 24+1, 44^{2} \cdot 23) = 219, 5 \, cm^{4}.$$

Момент опору перерізу

$$W_x = \frac{219,5}{5,46} = 40,2 \, c M^3.$$

На підставі цих вхідних даних поля дотичних напружень в досліджуваній конструкції виглядають так (рис. 7).



Рисунок 7 – Розподіл дотичних напружень в конструкції

У подальших розрахунках на ПК нашого елементу приймаємо:

маса 1 м. п. = 29,85 кг; момент інерції, $I = 219,50 \text{ см}^4$; момент опору, $Wx = 40,20 \text{ см}^3$; марка сталі – C235.

На підставі отриманих результатів можна зробити такий висновок, що умови міцності і жорсткості нашої металевої конструкції (вантажоприймальний пристрій) виконується. Розрахункові значення значно менші нормативних згідно з (п.п. 5.15 СНиП ІІ-23-81) та ДБН В.2.6-198:2014. Порівняння результатів наведені в талиці 1.

Висновки

Перший варіант конструкції допоміжного повірочного пристрою ЗНКП-60 відповідає ви-

могам технічного регламенту України [9], який розроблений на основі положень Директиви 2009/23/ ЄС, щодо неавтоматичних приладів зважування, а також вимогам п. 3.7 повірочних еталонних засобів [1], в частині п. 3.7.2 яка стосується допоміжних повірочних пристроїв. Наявність декількох різних варіантів конструкції нового допоміжного повірочного пристрою ЗНКП-60 збільшує вірогідність їх широкого впровадження в практику по Україні безгирної повірки чи калібрування великовантажних платформних залізничних ваг. А відсутність додаткових витрат на модернізацію вагових комплексів робить його дуже привабливим для застосування у безгирній повірці замість вагоповірочних вагонів.

Параметри НДС	Розрахункові значення	Місце концентра- ції	Допустиме значення	Порівняння і вис- новок
Еквівалентні пе- реміщення USUM (см)	0,011772	Кінцеві перерізи балочної кон- струкції	0,69	0,011772 < 0,69 Експлуатація можлива
Вертикальне пе- реміщення <i>UY</i> (см)	0,011342	Кінцеві перерізи балочної кон- струкції	0,69	0,011342 < 0,69 Експлуатація можлива
Інтенсивність напру- жень	70,62	Область розташу- вання опор	230	70,62 < 230 Експлуатація можлива
Осьові нормальні напруження о _х (МПа)	42,03	Область розташу- вання опор	230	42,03 < 230 Експлуатація можлива
Еквівалентні напружен- ня $\sigma_{_{e \kappa B}}$ (МПа)	61,17	Область розташу- вання опор	230	61,17 < 230 Експлуатація можлива
Дотичні напруження в горизонтальній площині $ au_{xz}$ (МПа)	35,11	Область розташу- вання опор	140	35,11 < 140 Експлуатація можлива
Дотичні напруження у вертикальній площині т _{ху} (МПа)	18,87	Область розташу- вання опор	140	18,87 < 140 Експлуатація можлива

T 🐔 1				•	•	
		noonovuuronuv	DITOTIOUU	Πορογιμομι	1 HOTINVALAIII	D HODMOTHDHHMH
гаолинят	— полвняння	познахункових	значень	псосмисть	т напоужень	з ноомативними
		peoplary meeting				5 110 p
	-			-		-

Весь комплекс може бути змонтований на вантажопасажирському автомобілі. На сьогодні загальна вартість пристрою ЗНКП-60 разом з ав томобілем може скласти до 1млн. грн. При цьому, з урахуванням зниження річних експлуатаційних витрат у порівнянні з використанням ВПВ у 12 разів (до 290 тис. грн.), термін окупності витрат на проектування, виготовлення та випробування дослідного зразка мобільної лабораторії для повірки вагонних ваг складає не більше одного року.

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN45501 Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.

2. ГОСТ 29329 Весы для статического взвешивания. Общие технические требования.

3. ГОСТ 8.453 ГСИ. Весы для статического взвешивания. Методы и средства поверки.

4. ДСТУ 111-1 (OIML R 111-1, IDT) Гирі класів точності $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_2, M_{2-3}, IM_3$. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробування.

5. МИ 2520-99 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Весы электромеханические большегрузные. Методика поверки Госстандарта России».

6. К. Ф. Боряк, О. І. Ваганов, Л. В. Коломієць, О. О. Лопатін, А. Г. Цимбалюк Спосіб безгирної повірки платформних ваг // Заява на корисну модель u2015 070071 від 15.07.2015.

7. К. Ф. Боряк, Л. В. Коломієць, О. О. Лопатін, А. Г. Цимбалюк Пристрій для безгирної повірки платформних ваг // Заява на корисну модель u2015 07465 від 24.07.2015.

8. К. Ф. Боряк, Л. В. Коломієць, О. О. Лопатін, А. Г. Цимбалюк. Пристрій для безгирної повірки платформних ваг // Заява на корисну модель u2015 070071 від 25.08.2015.

9. Технічний регламент неавтоматичних зважувальних приладів. Постанова КМУ від 11.03.2009 № 190.

10. Erratumto OIML R 60(E) (Edition 2000) International recommendation. Metrological regulation forloadcells.

11.ДСТУ OIML R 60:2010 Датчики навантаження (ваговимірювальні). Метрологічні норми та методи випробування (OIML R 60:2000, IDT).

12. Калініченко П. М. Напружений стан товстостінного циліндра з концентраторами / П. М. Калініченко, О. М. Лимаренко, Ю. В. Зяблов // Труды ОНПУ. – 2006. – вып 2 (26). – С. 20 – 23.

13. Дащенко О. Ф. Розрахунок напруженодеформованного стану станини гідропресу / О. Ф. Дащенко, В. Д. Ковальов, О. М. Лимаренко // Труды ОНПУ. – 2012. – вип. 2 (39) – С. 35 – 43.

Надійшла до редакції 21.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф., Ваганов О. І., головний метролог ДП «Одеська залізниця».

К. Ф. Боряк, д.т.н., О. В. Афтанюк, к.т.н., А. М. Лимаренко, к.т.н.

ПРОВЕРКА НА ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНКУ-60

Авторами предлагается ввести к поверочным эталонным средствам измерения массы новое вспомогательное поверочное устройство – «весовое неавтоматическое калибровочное устройство с наибольшим пределом взвешивания 60 т (ВНКУ-60)», которое для воспроизведения нагрузочных усилий на грузоприемную платформу использует гидравлические домкраты и балластный груз. Было разработано несколько вариантов конструкции ВНКУ-60, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения по применению на практике. В статье рассматриваются результаты расчета на прочность основных конструктивных элементов первого варианта конструкции ВНКУ-60, который использует в качестве балластного груза грузовой вагон типа «полувагон», под кузов которого приспособлена конструкция самого устройства.

Ключевые слова: весовое неавтоматическое калибровочное устройство, грузоприемная платформа, весопередающее устройство, железнодорожные весы, безгирная поверка, калибровка большегрузных весов, эталонное средство измерения массы.

K. Boryak, DSc, O. Aftanyuk, PhD, A. Limarenko, PhD

TESTING THE STRENGTH OF STRUCTURAL ELEMENTS VNKU-60

The authors propose to supplement the verification standard weight measuring instruments with a new auxiliary verifier – «Non-automatic Weighing Calibration Device with maximum weighing range of 60 tons (VNKU-60)» in which hydraulic jacks and ballast weight for applying the load forces on the load carrier are used. Several design options of VNKU-60 have been worked out each of which has its own advantages and limitations for using in practice. In the article the results of strength calculation of the main structural elements of the first design option of VNKU-60 are considered in which as a ballast weight a 'gandola car' type

rail car is used into the body of which the construction of the device is arranged.

Keywords: non-automatic weighing calibration device, load carrier, weight-transmitting device, weighting bridges, weightless verification, calibration of large-load scales, standard weight measuring instrument.

УДК 519.878.5

Tomislav Koprek, Božo Soldo, PhD, Aleksej Aniskin

Sveučičište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Odjel za graditeljstvo

CONTACT PROBLEM OF COMBINED FOOTING RESTING ON ELASTIC BASE

The contact problem of combined footing resting on elastic half space, or stratified elastic base has been analyzed. Unlike simplified common assumptions and design methods of such foundation, here the analysis was carried over a two rigid footings connected by elastic flexible foundation beam, taking into account different characteristics of individual footing parts (rigid vs. flexible) and continuity conditions at their joints, with emphasis on their mutual interaction related to underlying soil load transfer. The numerical analysis has been performed by combined finite difference and boundary element method on the identical quadrilateral mesh.

Keywords: combined footing, interaction, elastic half space, layered elastic medium, FEM, BEM, settlemet.

Introduction.

Combined footings are common form of shallow foundations. A system of two rigid footings connected by a foundation beam are often referred as strap footing, but this term implies a special case of combined footing loading, which is exclusively used for compensation of highly eccentric concentrated loads [1], [2]. However, there are many other situations where the combined footings consisting of foundation beams and rigid footings are applicable, and actually used, and they are subject of this analysis in some broader sense.

Traditionally the use of the of shallow foundations is principally restricted to the relatively light structures due to limitations that are mainly related to two main reasons: the first being restrictions related to the shallow soil properties, their intrinsic

non - homogenous nature and complex stress - strain behavior, and the second lack of correct assessment of foundation structure alone and soil - structure interaction effects, which makes predictions of real structure behavior unreliable and consequently can result in their inadequate design [3].

There are many publications considering various analytical and numerical methods and solutions for contact problems of simple-shaped foundations like flexible foundation beams, rigid or flexible plates of basic shapes. Some of them are reviewed and discussed in [4], [7] monographs [8], [9] and more related to the presented problem [10], [12] as well as their experimental verification [13]. But there is a lack of those deliberated to the more specific ones such as combined foundations, due to inherent complexity of any thorough analysis of such problems due to lack of accurate, i. e. closed-form analytical solutions for any but the simplest foundation shapes.

Consequently, in standard geotechnical engineering literature and engineering practice combined footings are treated on simplified way and designed almost solely on the basis of bearing capacity analysis, rather than considering influence of settlements and soil structure interaction effects.

As an example, in case of strap footings, in current design and construction practice the influence of beam-soil interaction is disregarded, and such possibility purposely prevented for compliance with design assumptions, and such approach is embedded in current design codes [14].

In common engineering practice this approach is not limited to the mentioned case, but it is widely used in most cases of combined beams with rigid footings on deformable bases.

Flexural rigidity of the structure can have significant influence on distribution of load and moments transmitted to the foundation of the structure, and the load redistribution may modify the pattern of or mitigate settlement [15].

So for safe and rational application of combined footing systems, better understanding their behavior, it is necessary to provide estimation of it's load distribution and resulting contact stresses and settlements [16].

In this paper to a numerical analysis procedure of combined footing resting on elastic base has been presented, taking into account different characteris-