

УДК 629.463.001.63

О.В. Фомін, канд. техн. наук, доц.

Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, м. Донецьк, Україна, e-mail: fomin1985@list.ru

ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ ІДЕАЛЬНОСТІ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАДІЙ ЇХ ЕВОЛЮЦІЇ

O.V. Fomin, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.

Donetsk Institute of Railway Transport of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, Donetsk, Ukraine, e-mail: fomin1985@list.ru

INCREASE OF THE FREIGHT WAGONS IDEALITY DEGREE AND PROGNOSTICATION OF THEIR EVOLUTION STAGES

Мета. Висвітлення результатів робіт з визначення шляхів підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування наступних поколінь еволюції їх несучих систем. Також у статті представлені приклади застосування запропонованої для вантажних вагонів ідеалістично-спрямованої стратегії для вдосконалення несучих систем залізничних універсальних напіввагонів.

Методика. При проведенні дослідження використаний: закон підвищення ступеня ідеальності технічних систем та підходи теорії вирішення винахідницьких задач. При цьому ідеальний вантажний вагон розглядається як ідеальний його конструкт чи ідеальний розумовий/віртуальний об'єкт, що лежить в основі предметного поняття „вантажний вагон“ та визначає його смисл. При цьому він характеризується показниками й параметрами, що забезпечать перевезення максимуму вантажу з мінімальними/нульовими собівартістю виготовлення та експлуатаційними витратами у визначених умовах виробничої бази й територіального курсування. Пропонується технічне оцінювання існуючих і перспективних вантажних вагонів, виявлення їх конструкційних недоліків та можливих шляхів наближення до ідеальних виконань.

Результати. Розроблена загальна формула для оцінювання ступеня ідеальності вантажних вагонів та її конкретизація для модуля кузова. Визначені напрями поліпшення техніко-економічних та експлуатаційних показників несучих систем вантажних вагонів. Запропоновані підходи до проектування вантажних вагонів нового покоління.

Наукова новизна. Уперше запропонований новий аспект проектування вантажних вагонів на основі ідеалістично-спрямованої стратегії розвитку технічних систем. Науково обґрунтована необхідність розроблення вантажних вагонів нового покоління та зроблений прогноз можливості її виконання.

Практична значимість. Прогнозовані етапи еволюціонування несучих систем напіввагонів доцільно використовувати в якості основи для подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на розроблення їх зразків з поліпшеними техніко-економічними та експлуатаційними показниками (моделей нового покоління), при складанні відповідних технічних завдань.

Ключові слова: *вантажний вагон, ступінь ідеальності, прогноз еволюції несучих конструкцій*

Постановка проблеми. Успішне існування залізничного транспорту багато в чому залежить від ефективності конструкцій вантажних вагонів (ВВ), що знаходяться в експлуатації. Ефективність конструкцій ВВ характеризується їх техніко-економічними та експлуатаційними показниками (ТЕЕП), суттєве підвищення рівня яких – створення моделей ВВ нового покоління (НП), є однією з пріоритетних проблем вітчизняної транспортної науки. Сказане підтверджується основними положеннями Транспортної стратегії України на період до 2020 року, де зазначено необхідність розроблення, впровадження у виробництво та експлуатації ВВ НП, що будуть створені силами вітчизняного науково-виробничого потенціалу. Поряд з необхідністю гідного конкурсування на ринку транспортних послуг, перед вітчизняним залізничним комплексом гостро стоїть проблема оновлення вантажного вагонного парку, що пояснюється фізичною та моральною застарілістю більшої половини ВВ [1,2], що знаходяться в експлуатації.

Аналіз результатів останніх досліджень та виділення невирішеної проблеми. Зазначене вище аргументує важливість розроблення та впровадження у виробництво вітчизняних моделей ВВ НП, що, у свою чергу, обумовлює актуальність розгортання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у відповідному напрямі. Проте розгляд існуючого науково-технічного заділу та сучасних тенденцій зі створення нових моделей ВВ вказав на цілеспрямованість нинішніх проектувальних робіт на модернізацію їх базових конструкцій. При цьому у процесі проектування використовуються їх класичні структурні та функціональні схеми, які були розроблені в середині минулого сторіччя, що не дозволяє досягти ТЕЕП характерних для ВВ НП. Для вирішення науково-технічної проблеми зі створення ВВ з високим рівнем ТЕЕП необхідно генерувати їх нові структурні та функціональні схеми, що обґрунтовує необхідність, своєчасність та актуальність розроблення концептуально нової теоретичної основи для їх проектування. Така теорія повинна базуватися на перспективних поглядах ідеології створення технічних засобів, пе-

редових методах та аспектах адаптивного оптимізаційного автоматизованого проектування, сучасних можливостях обчислювальної техніки, накопиченому досвіді виготовлення та експлуатації ВВ. Проте результати аналізу довідкової та спеціальної науково-технічної літератури, пов'язаної з профілем досліджуваного питання, вказали на відсутність висвітлення відповідних змістовних розробок, що стримує еволюціонування вітчизняних конструкцій ВВ.

Мета роботи. Метою роботи є висвітлення результатів робіт з визначення шляхів підвищення ступеня ідеальності ВВ та прогнозування наступних поколінь їх несучих систем (НС). У роботі наведена розроблена формула оцінювання ступеня ідеальності ВВ, та, в якості прикладу, її використання для НС напіввагонів (НВ). Також приведені приклади застосування описаних загальних підходів ідеалізації ВВ для НС НВ.

Викладення основного матеріалу. Світовий досвід створення технічних систем (ТС) вказує на те, що розвиток усіх ТС описується законом збільшення їх ступеня ідеальності (СІ) [3–5] (ТС у своєму розвитку наближується до ідеальності). При цьому були створені відповідні теорії реалізації такого закону (з визначенням ідеальної конструкції досліджуваного об'єкту та поступовим наближенням до нього), практичне впровадження яких засвідчило перспективність цього напрямку та створило позитивний досвід. Однак результати вивчення відповідної науково-технічної та довідкової інформації засвідчили про відсутність робіт, в яких би формувалися методологічні основи ідеалістичного аспекту для створення конструкцій ВВ. Базуючись на тому, що ідеалізаційний підхід дозволить наблизити конструкції ВВ до досконалості (створювати ВВ НП), був запропонований новий напрям проектування ВВ на основі ідеалістично-спрямованої стратегії розвитку ТС. Обраний напрям проектування ВВ НП обґрунтував необхідність розроблення відповідної науково-теоретичної бази. При розробленні відповідної теорії (у відповідності до [3, 4]) за основу були прийняті наступні загальноприйняті твердження: ідеалізація розглядається як процес розумового (*віртуального*) конструювання поняття об'єкту, що не існує в дійсності, але такому, що має образ у реальному світі (відомі приклади: „точка“, „абсолютно тверде тіло“, „ідеальний газ“). Абсолютно ідеальна система – система, якої не існує, а виконуються всі її мислимі функції у необхідний момент часу, у необхідному місці, причому, у цей час система несе 100% розрахункового навантаження, не витрачаючи на це речовину, енергію та фінанси.

У рамках створення нових теоретичних основ проектування ВВ НП було запропоновано концепцію їх ідеальних конструкцій. У відповідності до розробленої

концепції, ідеальний кузов НВ розглядається як ідеальний конструкт модуля кузова (несучої системи) чи ідеальний розумовий/віртуальний об'єкт, що лежить в основі предметного поняття модуль кузова НВ та визначає його смисл, при цьому він характеризується показниками та параметрами, що забезпечать перевезення максимуму вантажу з мінімальною/нульовою собівартістю виготовлення та експлуатаційними витратами у визначених умовах виробничої бази та територіального курсування. Межею випадку ідеалізації НС НВ є його зменшення (та в кінцевому випадку – зникнення) при одночасному збільшенні кількості функцій, тобто в ідеалі НС НВ не повинно бути (маса, власні габарити дорівнюють нулю), а його функції (здатність виконувати роботу – розміщення вантажу при зберіганні та транспортуванні) повинні виконуватись. У рамках зазначеної процедури розроблений алгоритм визначення показників та параметрів ідеальної НС НВ. У результаті реалізації дій, зазначених у алгоритмі, визначаються характеристики ідеального кузова НВ. Проте подальший розвиток наукової бази, основаної на ідеалістично-спрямованій стратегії проектування ВВ НП, вимагає розширення відповідної області знань шляхом розв'язання наступних завдань: визначення шляхів наближення ВВ до їх ідеалів, створення процедури визначення ступеня ідеальності існуючих ВВ чи тих, що проектуються, та розроблення наукового прогнозу розвитку конструкцій ВВ.

Для того, щоб визначити сучасну стадію еволюції ВВ та спрогнозувати подальші її етапи розглянуто природу процесів їх зародження та розвитку.

Результати аналізу історії розвитку ТС [3–5] вказують на те, що всі вони (у т.ч. ВВ) розвиваються через ряд послідовних подій, які узагальнено можна представити наступними кроками: 1) виникнення потреби; 2) формулювання головної корисної функції (ГКФ) – соціального заказу на нову ТС; 3) синтез нової ТС, початок її функціонування (мінімальна ГКФ); 4) збільшення ГКФ – спроба „вижати“ із системи більше, ніж вона може дати; 5) при збільшенні ГКФ погіршується якась частина (чи властивість) ТС – виникає технічне протиріччя, тобто з'являється можливість сформулювати науково-винахідницьку задачу (для ВВ таким протиріччям є необхідність постійного зростання маси вантажів, що перевозяться при зниженні вартості їх експлуатації); 6) формулювання необхідних змін ТС (відповідь на питання: що потрібно робити для збільшення ГКФ і що не дозволяє це зробити?), тобто перехід до науково-винахідницької задачі; 7) рішення науково-винахідницької задачі із застосуванням знань з області науки та техніки (і навіть ширше – із культури взагалі); 8) зміни у ТС у відповідності з винаходом; 9) збільшення ГКФ (крок 4).

Розглянемо більш детально наведені кроки. На рис. 1 представлений принцип формування/зародження ТС.

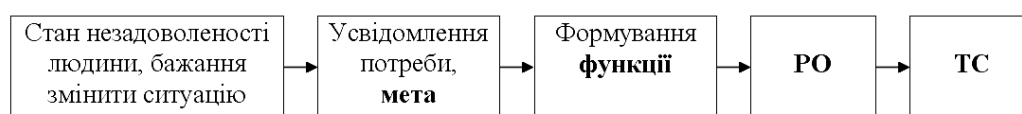


Рис. 1. Принцип формування технічної системи

На рис.1 видно, що початковими стадіями зародження ТС є процеси, що проходять у суспільстві: виникнення потреби, усвідомлення мети та формування функції. Для ВВ – це усвідомлення необхідності перевезення великих об'ємів вантажу (ресурсів, енергоносіїв, будівельної та машинобудівної продукції й т.д.) на значні відстані за обмежених витрат. Проте реально діюча функція – це дія на предмет праці, для ВВ такий предмет – вантаж. Тобто, виникає необхідність створення робочого органу, як проміжної ланки між функцією та предметом, що є носієм ГКФ у чистому вигляді. Для ВВ робочим органом є МК чи НС [1]. Проте спочатку робочий орган самостійно не зможе виконувати ГКФ, тому до нього додають допоміжні складові. У випадку ВВ такими складовими є: модуль ходової частини (МХЧ), що забезпечує процес переміщення вагону/МК; модуль автогальмівного обладнання (МАО), що відповідає за гальмування вагону/МК; та модуль автозчепного пристрою (МАП), що з'єднує вагон/МК із сусідніми вагонами/МК чи локомотивом. Таким чином, додаванням допоміжних модулів (МХЧ, МАО, МАП) до робочого органу (МК) отримано ТС – ВВ

$$ВВ(ТС)=МК+МХЧ+МАО+МАП.$$

У відповідності до загальновідомих закономірностей розвитку ТС, система, з'явившись, починає „завойовувати“ якісний та фізичний простір (збільшуючи свої: масу, габарити та енергоемність, у тому числі ресурсовитрати), а досягнувши визначеної межі – зменшується (згортається). Для нинішніх ВВ ключовими обмежувачами факторами межі розгортання є: габарит рухомого складу, допустиме осьове навантаження на рейки, конструкційна швидкість, фактори старіння сталі, конкурентоспроможна ринкова ціна й т.д. Вважається, що правильне зменшення (згортання) ТС є її вдосконаленням – наближенням до ідеалу. У доповнення до сказаного можна додати, що нині прийнятий перспективним напрям на покращення ТЕЕП ВВ за рахунок збільшення допустимого осьового навантаження на рейки є етапом розгортання ТС – „рухомий склад – залізнична колія“, і є непрямым свідченням розвитку ТС – ВВ.

Вважається, що у загальному вигляді існування (розгортання й згортання) ТС доцільно відображати зміною показника її СІ.

У п'ятдесятих роках, на першому етапі розвитку Теорії рішення винахідницьких задач, Генрих Альтшуллер увів поняття „Ідеальна система“ як системи, якої немає, але її функції виконуються. Це поняття надзвичайно корисне для рішення конкретних винахідницьких задач. Однак у кінці 70-х років стало ясно, що для загального розвитку та поліпшення конкретних систем воно „не працює“. Наприкінці 70-х років Б.Злотін запропонував розуміння ідеальності ТС через поняття СІ, як співвідношення корисності системи до суми факторів розплати за існування системи та виконання її функцій. У цьому випадку закон прагнення ТС до ідеальності можна описати зміною її СІ за наступною формулою

$$I = \frac{F_u}{\sum F_h} \rightarrow \infty,$$

де I – ступінь ідеальності ТС; F_u – корисність ТС (інтегральний показник виконаних системою корисних функцій), тобто деякий комплекс взаємоузгоджених функцій і властивостей, те, для чого ТС існує. Причому мається на увазі користь, яку ТС приносить тим, хто її використовує, створює чи експлуатує. Стосовно ТС залізничного транспорту величину F_u пропонується [5] формувати на базі їх основних якісних характеристик, показників ефективності функціонування в експлуатації, що контролюються. Для ВВ це можуть бути: тара (матеріалоемність), вантажопідйомність, повний (навантажувальний) об'єм кузова, гарантійний час роботи, конструкційна швидкість, міжремонтний термін роботи, показники міцності та експлуатаційної надійності та ін.; $\sum F_h$ – комплекс факторів розплати за отримання корисних функцій, що включає все, чим суспільство розплачується за отримання даної функції, у тому числі: 1) витрачені корисні ресурси; 2) витрати на створення – народження, винахід, проектування, виготовлення й т.д. даної ТС, її функціонування, маркетинг, транспортування, експлуатацію, утилізацію та т.п.; 3) пов'язані з системою шкідливі та небажані ефекти (забруднення навколишнього середовища, шкода від можливих аварій, вичерпування дефіцитних ресурсів та ін.); 4) пов'язані з системою шкідливі ресурси, що не породжують у даний момент шкідливих ефектів, але можуть породити в майбутньому. В якості комплексу факторів розплати за отримання корисних функцій для ВВ пропонується використати значення сумарної вартості життєвого циклу (ЖЦ) досліджуваної моделі ВВ, що відображає всі можливі витрати учасників їх зародження та існування. Додамо, що в якості системи шкідливих та небажаних ефектів від виготовлення та ремонтів ВВ можна враховувати забруднення навколишнього середовища та негативний вплив на відповідний персонал побічних небажаних продуктів (наприклад, важкі метали та гази) процесів виробництва металоконструкцій (вагонне лиття, зварювальні конструкції). Такий вплив можливо врахувати грошовим еквівалентом вартості відповідних фільтруючих пристроїв та компенсацій.

В Українській державній академії залізничного транспорту під керівництвом д.т.н., проф. Мороза В.І. був запропонований генетичний аспект [5] створення ТС НП, що охоплює й питання заміни існуючих ТС новими. За такого підходу доцільність подальшого розвитку ТС, що знаходиться в експлуатації, обґрунтовується очікуваним збільшенням (або збереженням на досягнутому рівні) її СІ. Виділена умова визначає верхню межу доцільності подальшого розвитку ТС, по закінченні якого виникають обґрунтовані передумови для заміни існуючої ТС на ТС НП.

Розглянемо застосування запропонованого аспекту для ВВ на прикладі чотиривісних НВ, як найбільш масового та затребуваного типу вагонів вантажного парку. На рис.2 представлено узагальнену характеристику якісного розвитку чотиривісних НВ, що відбиває змінення показників: F_u , $\sum F_h$, I залежно від часу їх застосування на залізницях країн СНД.

Із графіка видно, що змінення F_u для НВ описується S-подібною кривою, яка поділена на три періоди розвитку.

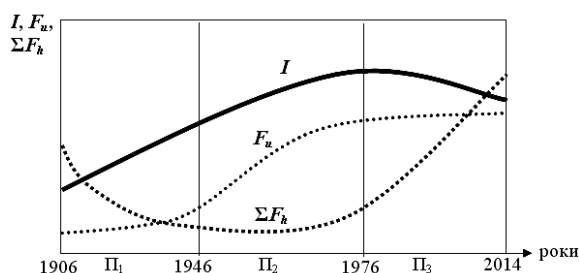


Рис. 2. Графік якісного розвитку чотиривісних НВ

Перший (П₁) – початковий період (1906–1946 рр.), це умовно постановка на виробництво чотиривісних НВ, перші зразки яких були випущені у 1906 р., та ускладнений ВВ. Характеризується незначним збільшенням показника F_u за необхідності обмеження ΣF_h (за рахунок забезпечення працездатності, надійності, безаварійності).

Другий (П₂) – період інтенсивного розвитку чотиривісних НВ (1946–1976 рр.). Характеризується стійким зростанням показника F_u унаслідок багатопланових робіт з удосконалення їх конструкцій, при обмеженні зростання ΣF_h . Саме в другому періоді нова система (НВ із гофрованою сталеву обшивкою, зварювальними з'єднаннями, глухими стінами, буксовими вузлами з роликовими підшипниками й т.д.) витісняє (замінює) стару (НВ з дерев'яною обшивкою, заклепковими з'єднаннями, буксовими вузлами ковзання, торцевими дверима й т.д.), стає економічно вигідною. При цьому забезпечується зростання її економічної ефективності.

Третій (П₃) – сучасний період (1976–2014 рр.) – характеризується стійкою стабілізацією показника F_u на близькому до досягнутого в кінці другого періоду рівні та незмінному зростанні ΣF_h . Із графіку видно, що за останні майже 40 років суттєвого поліпшення F_u конструкцій НВ не відбулося. Про сказане яскраво свідчить той факт, що на теперішній час основні показники ефективності роботи НВ (тара (m , т), вантажопідйомність (P , т), корисний навантажувальний об'єм кузова (V , м³)) умовно залишаються на рівні показників ($m=22-24,5$ т.; $P<71$ т.; $V<90$ м³) вагонів-аналогів виробництва 80-х років минулого століття (наприклад моделі: 12-119 ТУ 3-198-83; 12-532 ТУ 3-945-76; 12-753 ТУ 24.05. 812-83; 12-1505 ТУ 24.00.806-82). Тобто, не дивлячись на зусилля конструкторів, розвиток НВ не поспіває за все зростаючими потребами учасників їх життєвого циклу. ТС – НВ пробуксовує, топчеться на місці, змінює зовнішні обличчя, але залишається зі своїми недоліками. Сказане говорить про те, що на сьогодні існуючі схеми та виконання конструкцій НВ майже вичерпали свій функціональний ресурс. Запропоновані вдосконалення НВ є малими, тобто не забезпечують істотного підвищення показника F_u , а витрати на модернізацію та інші складові показника ΣF_h (наприклад, напруженість елементів конструкцій, надійність, вартість матеріалів) незмінно зростають, що обумовлює зниження рівня їх економічної ефективності. Така ситуація аргументує необхідність розроблення та впровадження у виробництво НВ НП. Проте бажаного можливо досягти лише

шляхом зміни основної конструкційної концепції їх створення, що використовується при проектуванні та модернізації НВ. Реалізована в сучасних структурно-функціональних моделях базових конструкцій ВВ проєктувальна концепція ґрунтується на використанні наближених розрахунків, запозиченому інженерному досвіді (наприклад, візкова конструкція закордонного виробництва), матеріалах та металопрофілях минулого століття, що було ефективним раніше та задовільняло потреби того часу, проте на сьогодні є неприйнятним.

На рис. 2 наведена також характеристика зміння СІ (I) НВ, підтверджуюча його критеріальну роль стосовно оцінки доцільності подальшого розвитку або заміни розглянутої ТС. Видно, що розвиток НВ у першому та другому періодах супроводжується зростанням величини I (на першому – у більшості, за рахунок зменшення ΣF_h ; на другому – за рахунок випередження росту F_u), а подальший розвиток у третьому періоді характеризується зменшенням I (унаслідок зростання ΣF_h при практично незмінному рівні F_u). Відмічене свідчить про те, що подальший розвиток НВ уже за межами другого періоду був не доцільним та потрібен перехід до НВ НП, що забезпечить досягнення більш високих показників їх економічної ефективності.

При загальному розгляді розвитку інших основних типів ВВ видно, що вищеописані етапи розвитку НВ є характерними й для них, тому зроблені висновки також можна віднести й для інших основних типів сучасних ВВ, тобто на сьогодні є актуальною проблема підвищення СІ ВВ.

Для визначення можливих напрямів підвищення СІ ВВ розглянемо можливі шляхи їх ідеалізації. Відомо, що основними шляхами наближення ТС до ідеалу є: підвищення кількості виконуваних нею функцій; „згортання“ в робочий орган; перехід у надсистему. Також визначено, що, при наближенні до ідеалу, ТС спочатку бореться з силами природи, потім пристосовується до них, і на кінець – використовує їх у своїх цілях. Нижче більш детально розглянуто загальні шляхи підвищення СІ ВВ до яких віднесено:

1) скорочення окремих частин ВВ. Зазначене доцільно виконувати за рахунок об'єднання функцій декількох елементів в одному або раціональному їх перерозподілі. Одним з перспективних методів реалізації зазначеного напрямку є метод функціонально-ідеального моделювання. Суть методу полягає в тому, що система декомпонується на елементи, визначаються функції цих елементів. Виділяються основні функції та функції, що містять небажані ефекти. За визначеними правилами видаляються елементи, що містять функції, виконання яких призводить до появи небажаних ефектів, за виключенням елементів, що містять основні функції. З'ясовується які функції залишилися після видалення нерозподіленими між залишившимися елементами, у результаті чого виходить функціонально-ідеальна модель. До цієї моделі формуються вимоги, проводиться їх аналіз, формуються задачі, будуються попередні пропозиції;

2) ліквідація окремих процедур, операцій чи процесів. В якості прикладу можна розглянути процедуру

змашування буксових вузлів ВВ, що спочатку характеризувалася необхідністю сезонної заміни мастила, у подальшому необхідністю заміни мастила на проміжних ремонтах, а на сьогодні розроблені рішення, що дозволяють експлуатацію букс без заміни мастила до 1000000 км;

3) збільшення кількості функцій, що виконуються. Також такий напрям передбачає міжрівневі (між модулями або між вузлами, між базовими елементами) перенесення корисних функцій;

4) збільшення відносних показників. У ВВ ця тенденція проявляється, зокрема, постійним пошуком шляхів зменшення коефіцієнту тари (співвідношення тари до вантажопідйомності) та збільшення корисного використання габаритного простору;

5) застосування більш прогресивного обладнання, матеріалів, процесів і т.п., що відповідають сучасному рівню розвитку науки та техніки;

6) ліквідація небажаних ефектів. Наприклад, застосування в технологічному обладнанні пристроїв, що попереджуватимуть небажані ефекти виконання технологічних операцій (наприклад, вигин конструкції від теплового впливу при зварюванні, більш прогресивні аераційні пристрої й т.д.);

7) використання одноразових об'єктів. Можливо прикладом такого напрямку є введення до конструкцій ВВ „жертвоних“ елементів, які будуть за рахунок власних пошкоджень гасити енергії (наприклад, ударів), що виникають в екстремальних ситуаціях, тим замим запобігаючи пошкодженням основних складових конструкцій;

8) блочні конструкції, що дозволить спростити та прискорити процеси збирання та ремонтів ВВ;

9) застосування дорогих матеріалів тільки в необхідних (робочих) місцях;

10) використання передових ресурсів.

Підвищення СІ ВВ обґрунтовує необхідність адаптації цього поняття та його визначення саме для ВВ з урахуванням специфіки їх існування. Пропонується СІ ВВ представляти як інтегральний показник ефективності ВВ, що показує ступень наближення об'єкту (ВВ) до його ідеального виконання, параметри якого вже визначені, тобто СІ оцінює досконалість конкретних зразків окремого сімейства ВВ чи їх складових. Це дозволить оцінювати наближеність досліджуваної конструкції ВВ до ідеалу та порівнювати їх окремі зразки в межах одного сімейства (для ВВ це може бути їх тип по коду за довідником особливостей моделей, наприклад для НВ код 606 – НВ з розвантажувальним люками та торцевими стінами). При цьому порівняння ВВ у межах одного сімейства надає можливість порівнювати вагони саме за основними показниками виконаних системою корисних функцій (F_{ii}) та (умовного) неврахування більшої частини факторів розплати (ΣF_{ii}), що пояснюється їх знаходженням на одному рівні в рамках одного сімейства.

Знаючи характеристики ідеального ВВ, можна оцінити СІ досліджуваного ВВ як величину його наближення до ідеального. Пропонується зазначене виконувати за допомогою розрахунку відстані між двома точками простору, що відповідають ідеальному ВВ та по-

рівнюваному ВВ. У такому випадку доцільно скористатися формулою з визначення Евклідової дистанції між точками, наприклад, p та q , що відповідатиме довжині відрізка \overline{pq}

$$I(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2},$$

де $I(p, q)$ – СІ – відстань між досліджуваними точками; p_k – координати (характеристики) ідеального ВВ; q_k – координати (характеристики) досліджуваного ВВ.

При цьому скорочення відстані між ідеалом та досліджуваною моделлю ВВ свідчатиме про покращення її економічної ефективності.

У зв'язку з тим, що показники та параметри, що характеризують ВВ, вимірюються в різних одиницях вимірювання (т, мм, м³, год) або взагалі не мають одиниць вимірювання, для приведення їх усіх до однієї величини, пропонується їх представлення у відсоткових значеннях, де показники ідеального ВВ характеризуються як 100%, а показники досліджуваного ВВ як відсоток від ідеального. Наприклад: якщо ідеальний ВВ характеризуватиметься значенням вантажопідйомності $p_k = P_i = 94\text{т.} = 100\%$, то значення вантажопідйомності досліджуваного ВВ $q_k = P_o = 70\text{ т.} = 74,5\%$. При цьому у випадку, якщо значення характеристики ідеального ВВ буде меншим за значення досліджуваного, то розрахунок буде проводитися за наступною формулою

$$p_k = P_o^{\max} - P_i = 100\%,$$

де P_o^{\max} – максимальне серед досліджуваних моделей ВВ значення відповідної характеристики.

А відповідне значення для досліджуваного ВВ

$$q_k = 100 - \frac{100 \cdot P_o}{P_o^{\max} - P_i} (\%).$$

Розглянемо приклад використання запропонованого підходу з визначення СІ ВВ для оцінювання НС ВВ. За результатами проведених досліджень з визначення ідеальних значень показників та параметрів НС ВВ було з'ясовано, що до основних (значення яких є ключовими при технічному оцінюванні конструкцій) показників НС ВВ можна віднести: матеріалоемність (m), вантажопідйомність (P) та корисний навантажувальний об'єм кузова (V). Такі висновки пояснюються тим, що інші показники та параметри ВВ, які відображуються у вимогах до НС (розрахункове осьове навантаження, база вагону, довжина по вісям зчеплення, конструкційна швидкість, габарит, 85%-вий строк служби до списання, 90%-вий строк служби до капітального ремонту, 95%-вий строк служби до першого деповського ремонту, періодичність інших планових ремонтів, вимоги до комплектуючих (МХЧ, МАП, МАО)) визначені в нормативній документації та, відповідно, усі ВВ, що випускаються їм відповідають. Тому в якості показників, що характеризують СІ (ефективність) окремої конструкції НС ВВ, можна віднести саме: m, P, V . При цьому, знаючи характеристики ідеальної НС ВВ (m_i, P_i, V_i), можна визначити СІ НС ВВ ($I_{НС}$) досліджуваної НС ВВ (m_o, P_o, V_o) як відс-

тань між відповідними точками у прямокутній системі координат у просторі (наприклад, рис.3) за наступною формулою

$$I_{НС} = \sqrt{(m_i - m_0)^2 + (P_i - P_0)^2 + (V_i - V_0)^2}$$

При цьому чим менше $I_{НС}$, тим ближче досліджувана конструкція до ідеального варіанту.

Для прикладу застосування запропонованого підходу розглянемо його використання при порівнянні базових конструкцій НС НВ, сімейства 606 за довідником у габариті 1-ВМ, характеристики яких наведено у таблиці 1.

Для візуалізації отриманих значень $I_{НС}$ досліджуваних НС НВ на рис.3 представлено графік розкиду точок, що відповідають координатам досліджуваних НВ та ідеалу ($m_i = 0т. = 100\%$; $P_i = 82,52т. = 100\%$; $V_i = 97,08м^3 = 100\%$), із зазначенням напрямку ідеалізації, де в якості осей координат обрані значення матеріалоемності (m , %), вантажопідйомності (P , %) та корисного навантажувально об'єму кузова (V , %).

Аналізуючи представлені в таблиці та на рис.3 результати порівняння СІ НС НВ, можна сказати, що найбільш наближеною до ідеалу є конструкція НС моделі НВ 12-9046 виробництва ВАТ „Стаханівський ВБЗ“, а

найбільш віддаленою від ідеалу є конструкція НС НВ моделі 132-02 виробництва ВАТ „НВК„УВЗ“. При цьому для кількісного співставлення відсоткової різниці в ефективності експлуатації між досліджуваними НС НВ можна виконати наступні приблизні розрахунки. У попередніх роботах була визначена вартість життєвого циклу сучасного НВ на основі усереднених статистичних даних 2012–2013 років. При цьому було з'ясовано, що така мінімально допустима вартість дорівнює майже 3млн грн. Відповідно, для перекриття витрат на існування НВ доходи від його експлуатації повинні бути не менше ніж зазначена сума. Тому можна сказати, що ефективною сучасною конструкцією НВ буде їх конструкція, що принесе доходів за час ЖЦ не менше 3млн гривень. У зв'язку із зазначеним та врахуванням масовості у експлуатації досліджуваних НВ, можна сказати, що всі вони є ефективними й тоді конструкцію з найбільшим значенням СІ можна взяти як ту, що знаходиться на грані задоволення вимог ефективності, а, відповідно, доходи від її експлуатації становлять щонайменше 3000000 грн за ЖЦ. Тоді 1% СІ НС НВ можна представити як $I_{НС} = 3млн\ грн / 103,5\% = 29000(грн/\%)$. Звідси не важко визначити кількісну перевагу в ефективності порівнюваних конструкцій.

Таблиця

Результати порівняння ступеня ідеальності несучих систем напіввагонів

№з	Виробник	Модель	Тара, т.	Вантажопідйомність, т.	Навантажувальний об'єм кузова, м ³	СІ, %
1	ВАТ „КВБЗ“ (Україна)	12-783	24,0	70,0	78	102,1
2		12-7023	23,7	70,3	90	98,7
3	ВАТ „Азовмаш“ (Україна)	12-1704-04	24,0	70,0	88	99,5
4	ВАТ „Стаханівський ВБЗ“ (Україна)	12-9046	23,0	71,0	85	95,5
5	ВАТ „Днепрвагонмаш“ (Україна)	12-4102	23,0	71,0	82	97,1
6	ВАТ „НВК„УВЗ“ (Росія)	12-132	24,5	69,5	88	102,3
7		12-132-02	24,3	69,7	77	103,5

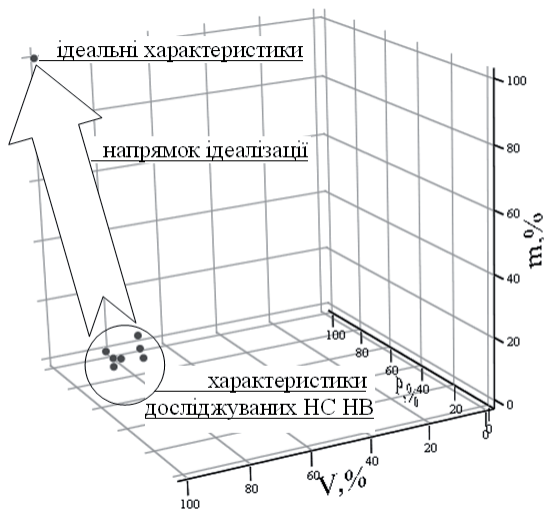


Рис. 3. Графічне розташування точок, що характеризують основні показники досліджуваних НВ та ідеального варіанту

Далі розглянемо найбільш перспективні шляхи ідеалізації сучасних НВ та розроблений прогноз їх НП.

У відповідності до вищепереліченого, шляхами ідеалізації НВ у якості найбільш ефективних напрямів для НВ на сьогодні можна розглянути наступні:

1) об'єднання функцій декількох елементів в одному або раціональному їх перерозподілі. Наприклад, перспективність та працездатність такого напрямку було підтверджено при перенесенні функцій (з подальшим виключенням його з конструкції) обв'язування нижньої стіни торцевої НВ на балку кінцеву рами, що дозволило зменшити матеріалоемність та знизити витрати на виготовлення таких моделей НВ. Також позитивним прикладом застосування цього напрямку є виключення з конструкції напіввагонів-хоперів для гарячих окатишів та агломерату системи змащення підшипникових вузлів валу розвантажувального модуля (що включала декілька металоємних і складних в обслуговуванні та ремонті елементів, а також характеризувалася необхідністю додаткових витрат, наприклад, пов'язаних із заміною мастила) і перенесенням її функцій на конструктивно нові зносостійкі вставки;

2) ліквідація окремих процедур, операцій чи процесів. Позитивним рішенням є заміна заклепкових з'єднань на зварювальні, що здійснено у 80% конструкційних вузлів, проте на сьогодні є ще конструкції НС НВ, в яких широко застосовані заклепки, та вузли, де й досі переважна більшість вагобудівників їх використовуює (з'єднання передніх та задніх упорів з балкою хребтовою);

3) прикладом збільшення кількості виконуваних функцій може слугувати доукомплектування НВ знімним дахом, тобто додавання до його функцій можливості перевезення вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів або доукомплектування НС НВ додатковою системою гашення експлуатаційних навантажень;

4) окремо треба приділити увагу збільшенню відносних показників НС НВ, тому що це безпосередньо впливає на їх ГКФ і фактори розплати, та, відповідно, на їх подальше еволюціонування. Як уже відмічалось, основними показниками НС є: власна маса, вантажопідйомність та навантажувальний об'єм кузова. При цьому підвищення маси/об'ємі вантажу, що перевозиться, можливе при кращому використанні габариту рухомого складу, збільшенні габаритного простору НВ чи зменшенні власної ваги та габаритів МК. В умовах обмеження габариту напрям збільшення маси/об'ємі вантажу, що перевозиться, можливо представити як цілеспрямування на корисне використання вантажного простору в обмеженому габаритом рухомого складу об'ємі, що проілюстровано на рис. 3. У зв'язку із зазначеним можна зробити висновок, що розробники НП НВ будуть покращувати їх ТЕЕП за рахунок усе більшого корисного використання габаритного простору.

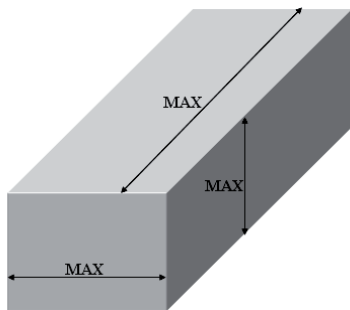


Рис.4. Візуалізація принципу ідеалізації ВВ

На рис.5 представлені сьогоднішня та передбачувана (НП) конструкційні схеми НС НВ. На рис.5 видно, що на сьогодні (рис.5, а) МК розташовується над МХЧ, і тим самим не використовується міжвізковий простір. У подальшому (рис.5, б) прогнозується використання міжвізкового простору, що дозволить збільшити корисний навантажувальний об'єм кузова до 13% та суттєво понизити центр ваги з відповідним покращенням динамічних властивостей МК. Відповідні рішення вже були запропоновані та запатентовані. Кінцевою метою ідеалізації НС НВ (рис.5, в) буде поєднання у МК ГКФ та допоміжних функцій інших модулів при одночасній мінімізації його маси, габаритів та об'єму. При цьому основним показником досконалості НС НВ при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності можна вважати коефіцієнт використання матеріалу, що

показує ефективність/можливості конструкції у сприйнятті навантажень (поглинанні енергії), які виникають в експлуатації, та визначається як співвідношення максимальних сприйманих навантажень в експлуатації до маси відповідної конструкції. Прогнозується, що наступні покоління НВ будуть спроектовані на основі перспективних методів сприйняття навантажень НС, так наступні покоління будуть послідовно використовувати різні фізичні смисли сприйняття навантажень:

- рівномірність, де коефіцієнт використання матеріалу ($K_{\text{вм}}^{\text{рівн}}$) приблизно буде складати 0,9 від існуючого значення ($K_{\text{вм}}^{\text{існ}}$): $K_{\text{вм}}^{\text{рівн}} \approx 0,9 K_{\text{вм}}^{\text{існ}}$;

- принципи попереднього корисного навантаження конструкції, де $K_{\text{вм}}^{\text{попер.кор.навант.}} \approx 0,8 K_{\text{вм}}^{\text{існ}}$;

- впровадження в несучі елементи НВ складових з розсіювання/поглинання енергії експлуатаційних навантажень (наприклад, ударів), де прогнозується $K_{\text{вм}}^{\text{полст.ен.}} \approx 0,7 K_{\text{вм}}^{\text{існ}}$;

- застосування сил електромагнітного випромінювання $K_{\text{вм}}^{\text{електромагн.}} \approx 0,3 K_{\text{вм}}^{\text{існ}}$ і т.д.

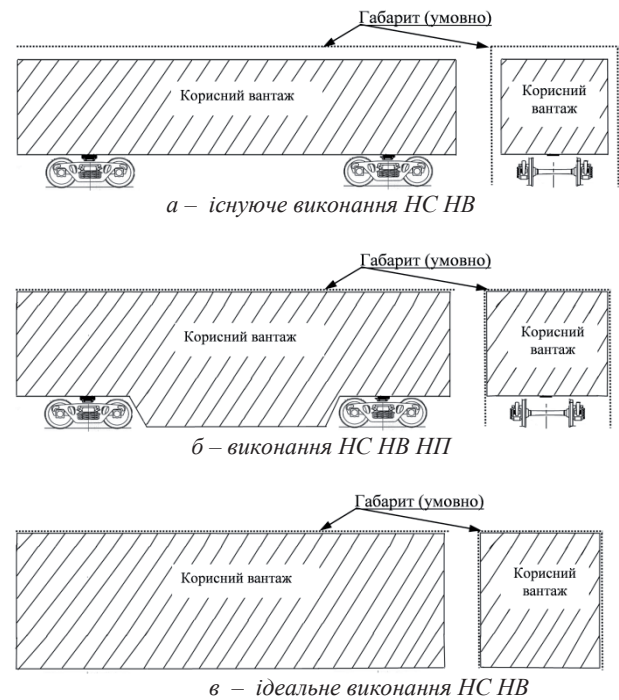


Рис. 5. Схеми стадій ідеалізації НС НВ

Слід зазначити, що впровадження на кожній з вищезазначених стадій нових композитних матеріалів (що будуть задовольняти вимогам міцності при меншій ніж сталь матеріалоемності) дозволить додатково знизити $K_{\text{вм}}$. Зазначені етапи еволюції НС НВ відповідають закону ідеальності ТС, та їх досягнення буде наближувати НВ до ідеальних показників, де $K_{\text{вм}} \rightarrow 0$. У зв'язку з тим, що МК є основним модулем НВ (рівно як і для інших ВВ), можна сказати, що запропонований прогноз наступних поколінь НС є також прогнозом розвитку загальних конструкцій ВВ;

5) ліквідація небажаних ефектів. Цікавим сьогоднішнім механізмом мінімізації/ліквідування фінансових

витрат на розробку/виробництво/купівлю НВ є впровадження лізингових та кредитних схем;

6) загальні підходи зазначені у пункті 8 для ВВ відзеркалюються і у НС НВ;

7) на думку автора, вже сьогодні можливо знижувати собівартість виготовлення ВВ за рахунок визначення та виконання елементів існуючих моделей із менш вартісних сталей.

Висновки й рекомендації щодо подальшого використання. Представлені у статті матеріали є базовими при створенні ВВ НП чи глибокій модернізації їх існуючих моделей, а також підвищенні ефективності їх експлуатації. Розроблені формули визначення СІ ВВ та їх НС доцільно використовувати при оцінюванні наближеності досліджуваних відповідних конструкцій до ідеалу та порівнянні їх окремих зразків у межах одного сімейства.

Результати проведеного розгляду сучасного стану еволюціонування НВ обґрунтували необхідність розроблення їх зразків нового покоління, що безпосередньо пов'язано із застосуванням нових фізичних смислів при проектуванні їх конструкцій. Прогнозовані наступні етапи еволюціонування НС ВВ можуть стати основою подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на розроблення їх зразків з поліпшеними ТЕЕП (зокрема ВВ НП), наприклад, при складанні відповідних технічних завдань.

Висвітлені елементи нової методології проектування ВВ можливо застосовувати при вирішенні подібних задач для інших засобів залізничного транспорту, а також транспортного та промислового машинобудування.

Список літератури / References

1. Фомін О.В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія / Фомін О.В. – К.: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.

Fomin, O.V. (2014), *Doslidzhennia defektiv ta poskodzhen nesuchykh system zaliznychnykh napivvagoniv* [Research of Defects and Damages of the Supporting Systems of Railway Freight Gondolas], monograph, DETUT, Kyiv, Ukraine, ISBN 978-966-2197-76-1.

2. Бараш Ю.С. Концептуальний підхід к реформуванню ремонтної бази для грузових вагонів в сучасних ринкових умовах / Ю.С. Бараш, Ю.В. Булгакова // Науковий вісник НГУ. – 2013. – №3. – С.125–133.

Barash, Yu.S. and Bulgakova, Yu.V. (2013), “Conceptual approach to freight car repair base reforming under current market conditions”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no.3, pp. 125–133.

3. Salamatov, Yuri (1999), *TRIZ: The Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving*, Insys, The Netherlands.

4. Vladimir Petrov and Avraam Seredinski. “Progress and Ideality”, *TRIZ Futures 2005, the 5th ETRIA Conference*, November 16–18, 2005, Graz, Austria, pp. 195–204, *The TRIZ Journal*, Available at: <http://www.triz-journal.com/archives/2006/02/01.pdf>

5. Мороз В.І. Генетичний та методологічний аспект створення технічних засобів нового покоління для заліз-

ничного транспорту / В.І. Мороз // Залізничний транспорт. – 2000. – № 5–6. – С.61–62.

Moroz, V.I. (2000), “Genetic and methodologic aspect of creation of new-generation technical facilities for railway transport”, *Zaliznychnyi Transport*, Kyiv, no. 5–6, pp. 61–62.

Цель. Освещение результатов работ по определению путей повышения степени идеальности грузовых вагонов и прогнозированию следующих поколений эволюции их несущих систем. Также в статье представлены примеры применения предложенной для грузовых вагонов идеалистически направленной стратегии для усовершенствования несущих систем железнодорожных универсальных полувагонов.

Методика. При проведении исследования использован закон повышения степени идеальности технических систем и подходы теории решения изобретательских задач. При этом идеальный грузовой вагон рассматривается как идеальный его конструкт или идеальный умственный / виртуальный объект, который находится в основании предметного понятия „грузовой вагон“ и определяет его смысл. При этом он характеризуется показателями и параметрами, которые обеспечат перевозку максимума груза с минимальными/нулевыми себестоимостью изготовления и эксплуатационными расходами в определенных условиях производственной базы и территориального курсирования. Предлагается техническое оценивание существующих и перспективных грузовых вагонов, выявление их конструктивных недостатков и возможные пути приближения к идеальным выполнениям.

Результаты. Разработана общая формула для оценивания степени идеальности грузовых вагонов и ее конкретизация для модуля кузова. Определены направления улучшения технико-экономических и эксплуатационных показателей несущих систем грузовых вагонов. Предложены подходы к проектированию грузовых вагонов нового поколения.

Научная новизна. Впервые предложен новый аспект проектирования грузовых вагонов на основании идеалистически направленной стратегии развития технических систем. Научно обоснована необходимость разработки грузовых вагонов нового поколения и выполнен прогноз возможности их выполнения.

Практическая значимость. Прогнозируемые этапы эволюционирования несущих систем полувагонов целесообразно использовать в качестве основания для последующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на разработку их образцов с улучшенными технико-экономическими и эксплуатационными показателями (моделей нового поколения), например, при составлении соответствующих технических заданий.

Ключевые слова: *грузовой вагон, степень идеальности, прогноз эволюции несущих конструкций*

Purpose. Coverage of the results of works on determination of ways of increase of freight carriages ideality de-

gree and prognostication of next-generation wagon undercarriage evolution. Review of the examples of application of the idealistic strategy of improvement of the undercarriage of railway universal freight gondolas.

Methodology. The research employed the law of technical systems ideality degree increase and approaches of theory of inventive problem solving. Thus, the ideal freight carriage was considered an ideal construction or ideal mental/virtual object, which serves a base for the concept of freight carriage and determines its essence. It is characterized by the indices and parameters that may provide transportation of maximum load with minimum/zero conversion cost and running expenses with certain production base and plying itinerary. We carried out the technical evaluation of the existent and promising freight carriages, construction troubleshooting, and suggested possible approaches to ideal implementations.

Findings. A general formula for the evaluation of freight carriages ideality degree was formulated and worked out in detail for the module of basket. Ways of improvement of techno-economic and operating indices of the freight

wagon undercarriage were determined. The approaches to design of freight carriages of new generation have been suggested.

Originality. We offered the new aspect of freight carriages design based on the idealistic strategy of development of technical systems. We gave a scientific rationale for the necessity of the development of new-generation freight carriages and made the prognosis of possibility of its implementation.

Practical value. The forecast of stages of evolution of the freight gondolas undercarriage may serve a basis for subsequent research and experimental works directed on the development of designs with improved techno-economic and operating indices (models of new generation), for example drafting of the proper technical design specifications.

Keywords: *freight wagon, degree of ideality, undercarriage evolution prognosis*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.С. Крашенініним. Дата надходження рукопису
10.05.14.*

УДК 539.3

T.S. Kagadiy, Dr. Sci. (Phys.–Math.), Assoc. Prof.,
A.H. Shporta

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: kagadiy@i.ua;
shportaanna@ukr.net

THE ASYMPTOTIC METHOD IN PROBLEMS OF THE LINEAR AND NONLINEAR ELASTICITY THEORY

Т.С. Кагадій, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
А.Г. Шпорта

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail:
kagadiy@i.ua; shportaanna@ukr.net

АСИМПТОТИЧНИЙ МЕТОД У ЗАДАЧАХ ЛІНІЙНОЇ ТА НЕЛІНІЙНОЇ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ

Purpose. To develop analytical method for complex properties constructions calculations. To study viscoelasticity influence on construction stress-strain state and the possibility of considering final deformations.

Methodology. The mathematical model of three-dimensional problem on load transfer from supporting element to the viscoelastic massif was constructed.

Findings. The circle of analytical solutions for nonlinear elasticity and linear viscoelasticity theory problems was extended by means of elaborating perturbation method.

Originality. The asymptotic method for three-dimensional linear viscoelasticity of orthotropic bodies problems solutions or for nonlinear problems was elaborated. Analytical solutions of new problems on load transfer through supporting element to the viscoelastic material massif in spatial statement were received.

Practical value. The method suggested allows passing from the solution of the complex mixed tasks of mechanics to the consecutive solution of potential theory problems, which is the most developed section of mathematical physics. The solutions of a range of new complex challenges received due to the offered approach provide an opportunity to analyse stress-strain state of bodies with supporting elements. These results can be used in engineering calculations of piles foundations and substructures.

Keywords: *loading transfer, perturbation method, elasticity theory, viscoelasticity, nonlinearity, spatial and flat problems*

Problem statement. Modern constructions and mechanisms, which are used in mining, have a complex of properties. The aggressive environment and use of new technologies require previous estimates of the construction stress-strain state. Analytical solutions of the corresponding prob-

lems can be used to do this. Models to find such solutions have important positive qualities (simplicity and clarity), but may lack quite clear range of applications.

Recent research analysis. The methods of small parameter (geometric or physical) are widely used in the elasticity theory. The effective approaches have been suggested by V.M. Alexandrov, I.I. Vorovych, A.L. Goldenveiser,