

РУХОМИЙ СКЛАД

УДК 629.4.02:629.463.65

*Мороз В.І., д.т.н., професор (УкрДАЗТ)  
Фомін О.В., аспірант (УкрДАЗТ)*

**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛОЄМНОСТІ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПІВВАГОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ БЛОЧНО-  
ІЄРАРХІЧНОГО ОПИСАННЯ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ**

*Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень.*

Відповідно до Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року № 1555-р однією з пріоритетних задач розвитку залізничниць є підвищення рентабельності їх роботи за рахунок створення та експлуатації конкурентоспроможного вітчизняного рухомого складу. Важливим напрямком вирішення цієї задачі є формування вантажного парку Укрзалізниці на основі моделей вагонів вітчизняного виробництва, які мають сучасний рівень техніко-економічних показників. При цьому серед вантажного парку вагонів найбільш чисельна частка належить напіввагонам, на долю яких приходить понад 50% загального вантажообігу залізниць України. Наприклад за даними Державного комітету статистики України [[www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)] за січень-грудень 2009-го року залізничним транспортом було відправлено 322,2 млн. т вантажів, з яких найбільшу частину було перевезено напіввагонами (кам'яного вугілля 90,9 млн.т, руди залізної і марганцевої 61,8 млн.т, чорних металів 26,8 млн.т та інш.).

Поряд із зазначеним на теперішній час за оцінками фахівців [1,2, [www.pg-online.ru](http://www.pg-online.ru)] на залізницях країн СНД та Балтії біля 50% парку напіввагонів експлуатується більше 20 років (при нормативному строку служби 22 роки). Це визначає необхідність оперативного їх поповнення. В останній час поповнення парку напіввагонів відбувається за рахунок їх виготовлення на вагонобудівних підприємствах України та країн СНД, а також перепрофільованих вагоноремонтних заводах Укрзалізниці.

З урахуванням того, що найбільшим попитом користуються моделі напіввагонів з високими техніко-економічними показниками, авторами у роботі [3] було проведено порівняльний аналіз базових моделей напіввагонів вітчизняних та закордонних вагонобудівників. Його результати підтвердили наявність резервів подальшого удосконалення конструкції напіввагонів вітчизняного виробництва.

Зазначене обґрунтовує актуальність розгортання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з метою створення моделей вітчизняних напіввагонів з поліпшеними техніко-економічними показниками, напіввагонів нового покоління. Одним з перспективних напрямків вирішення цієї задачі є розробка та впровадження технічних рішень, які спрямовані на зниження матеріалоемності (маси тари) напіввагонів.

Вирішення вищенаведеної задачі на сучасному рівні може здійснюватись з використанням підходів та методів теорії оптимізації [4,5] – оптимізаційного проектування напіввагону за критерієм мінімальної матеріалоемності [6]. При цьому вузловим питанням є визначення структури матеріалоемності конструкції напіввагонів. Разом з тим у відповідній науковій та спеціально-технічній літературі ці питання не знайшли достатнього висвітлення.

**Мета статті та викладення основного матеріалу.** В статті авторами запропоновано підхід до визначення і аналізу структури матеріалоемності конструкції залізничних напіввагонів, який базується на використанні принципів ієрархічності та декомпозиції (блочності) в дослідженнях механічних систем. Використання принципу ієрархічності передбачає структурування описання конструкції напіввагонів за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів. Застосування принципу декомпозиції забезпечує розділення описань конструкції напіввагону у кожному ієрархічному рівні на відповідні складові блоки. Обидва принципи в повній мірі віддзеркалюються у блочно-ієрархічній схемі (БІС) конструкції напіввагонів [7], яка використовується у якості основи запропонованого підходу.

Для визначення структури матеріалоемності конструкції конкретної моделі напіввагонів на основі пропонуємого підходу необхідно мати відповідні їй вихідні дані о масах деталей та вузлів, робочі креслення.

При наявності зазначених даних, визначення структури матеріалоемності конструкції напіввагонів складається з двох основних етапів:

I – розробка блочно-ієрархічної моделі формування (визначення) матеріалоемності конструкції напіввагону на основі відповідної БІС;

II – дослідження структури матеріалоемності на відповідних ієрархічних рівнях створеної моделі.

За своєю суттю модель формування матеріалоемності віддзеркалює БІС напіввагону, на якій вказані відповідні значення мас для всіх її елементів. Це дозволяє визначити сумарну матеріалоемність на кожному ієрархічному рівні, а також використовуючи висхідний метод визначити загальну матеріалоемність (масу тари напіввагону), як додаток матеріалоемностей усіх ієрархічних рівнів (від найнижчого рівня базових елементів до найвищого). Слід зауважити, що при визначенні матеріалоемностей окремих ієрархічних рівнів та загальної матеріалоемності напіввагону додатково необхідно враховувати матеріалоемність зварювальних з'єднань елементів конструкції. Отримані на першому етапі значення матеріалоемності окремих модулів конструкції і виділення найбільших з них дозволить перейти до другого етапу.

На основі аналізу структури матеріалоемності елементів сформованої моделі приймається рішення про можливість удосконалення конструкції напіввагону від вищих ієрархічних рівнів до рівня базових елементів.

У відповідності до описаного підходу були розроблені наведені нижче математичні описання для напіввагонів вітчизняного виробництва, основна конструкція яких може бути представлена у вигляді трьохрівневої БІС [7]. Зважаючи на те, що третій рівень утворюють базові елементи конструкції (прийняті за одиночні та неділимі) нижче наведена формула для визначення матеріалоемностей елементів другого (вузлового) ієрархічного рівня:

$$m_{B_{ijk}} = \sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^{\tilde{a}} S_{\tilde{ijkm}} \cdot l_{\tilde{m}} \cdot \rho, \quad (1)$$

де  $m_{B_{ijk}}$  – матеріалоемність конструкційного блока (вузла) другого ієрархічного рівня, що розглядається;

$\sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m$  – сумарна матеріалоемність базових елементів, які входять до складу відповідного вузла;

$V_{ijkm}$  – об’єм базової  $m$ -ої складової;  $i, j, k, m$  – рівнево-позиційні індекси, які відповідають шифру досліджуваної складової БІС ( $i$  – відповідає порядковому номеру досліджуваного варіанту конструкції напіввагону;  $j$  – відповідає позиційному номеру модуля формалізованого описання, до складу якого входить складова, що досліджується;  $k$  – відповідає порядковому номеру вузла у складі відповідного модуля;  $m$  – відповідає порядковому номеру базового елемента, який входить до складу відповідного вузла). Для прикладу вищенаведеного позначення елементів БІС розглянемо базовий елемент кінцевої балки модуля рами напіввагонів моделі 12-9745 [7,8] – листа лобового  $V_{1247}$ : 2 – номер модуля рами у загальній схемі напіввагону, 4 – номер вузла кінцевої балки у модулі рами, 7 – номер листа лобового у вузлі кінцевої балки;

$a$  – кількість базових елементів, які входять до складу відповідного вузла;

$\rho$  – питома вага конструкційного матеріалу, із якого виготовлено елемент;

$n_m$  – кількість однойменних  $m$ -их базових елементів у вузлі, що досліджується;

$\sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho$  – маса зварювальних швів які утворюються при

складанні досліджуваного вузла із базових елементів;

$S_{ijkm}$  – площа  $m$ -го типу шву, який використовується при складанні досліджуваного вузла;

$a$  – змінюється в залежності від кількості типів зварювальних швів, які використовуються при складанні відповідного вузла,

$l_m$  – довжина  $m$ -го шву.

Для визначення матеріалоемності першого рівня основних модулів конструкції [7] використовується формула:

$$m_{Bij} = \sum_{k=1}^b \left( \sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho \right) \cdot d_k + \sum_{k=1}^b S_{ijk} \cdot l_k \cdot \rho, \quad (2)$$

де  $m_{B_{ij}}$  – матеріалоемність модуля конструкції, що досліджується;

$$\sum_{k=1}^b \left( \sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{\tilde{m}=1}^{\tilde{a}} S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}\tilde{m}} \cdot l_{\tilde{m}} \cdot \rho \right) \cdot d_k - \text{сумарна матеріалоемність}$$

вузлів, які входять до складу досліджуваного модуля;

$b$  – кількість вузлів, які входять до складу відповідного модуля;

$d_k$  – кількість  $k$ -их однойменних вузлів, які входять до досліджуваного модуля.

$$\sum_{\tilde{k}=1}^{\tilde{b}} S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}} \cdot l_{\tilde{k}} \cdot \rho - \text{маса металу, що наплавляється при зварювальних}$$

роботах в процесі створення досліджуваного модуля;

$S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}}$  – площа  $\tilde{k}$ -го типу шву;

$\tilde{b}$  – змінюється в залежності від кількості типів зварювальних швів, які використовуються при складанні досліджуваного модуля,

$l_{\tilde{k}}$  – довжина  $\tilde{k}$ -го шву.

Результати розрахунків матеріалоемностей на першому та другому ієрархічних рівнях дозволили визначити загальну матеріалоемність напіввагону. Узагальнена формула для визначення матеріалоемності напіввагону має наступний вид:

$$m_{B_i} = \sum_{j=1}^c \left\{ \sum_{k=1}^b \left( \sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{\tilde{m}=1}^{\tilde{a}} S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}\tilde{m}} \cdot l_{\tilde{m}} \cdot \rho \right) \cdot d_k + \sum_{\tilde{k}=1}^{\tilde{b}} S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}} \cdot l_{\tilde{k}} \cdot \rho \right\} + \sum_{\tilde{j}=1}^{\tilde{c}} S_{\tilde{i}\tilde{j}} \cdot l_{\tilde{j}} \cdot \rho, \quad (3)$$

де  $m_{B_i}$  – тара досліджуваного напіввагону;

$$\sum_{j=1}^c \left\{ \sum_{k=1}^b \left( \sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{\tilde{m}=1}^{\tilde{a}} S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}\tilde{m}} \cdot l_{\tilde{m}} \cdot \rho \right) \cdot d_k + \sum_{\tilde{k}=1}^{\tilde{b}} S_{\tilde{i}\tilde{j}\tilde{k}} \cdot l_{\tilde{k}} \cdot \rho \right\} - \text{сумарна}$$

матеріалоемність модулів конструкції, де  $c$  змінюється в залежності від кількості основних модулів конструкції;

$\sum_{j=1}^{\tilde{c}} S_{ij} \cdot l_j \cdot \rho$  – маса металу, що наплавляється при зварювальних

роботах в процесі складання загальної конструкції напіввагону із окремих модулів;

$S_{ij}$  – площа  $j$ -го типу шву;

$\tilde{c}$  – змінюється в залежності від кількості типів зварювальних швів, які використовуються при складанні загальної конструкції напіввагону;

$l_j$  – довжина  $j$ -го шву.

Формула 3 може бути використана для визначення матеріалоемності будь-якого вантажного вагону. При цьому суть та алгоритм створення такого математичного запису, для вагонів формалізоване описання конструкції яких налічує іншу кількість ієрархічних рівнів, не зміняться, а зміниться лиш кількість підетапів.

Наведені матеріали використовувались при проведенні науково-дослідних робіт з визначення величини та особливостей структури матеріалоемності напіввагонів моделі 12-9745, яка є базовою на перепрофільованих вагоноремонтних заводах Укрзалізниці (Дарницький ВРЗ, ДП «Укрспецвагон», Попаснянський ВРЗ та Стрийський ВРЗ). Для визначення структури матеріалоемності напіввагонів моделі 12-9745 були використані наступні вихідні дані: її БІС [7,8], комплект проектно-конструкторської документації [9], та дані експериментальних досліджень (зважувань) модулів, вузлів та базових елементів, які були здійснені авторами на виробничій базі ДП«Укрспецвагон».

На рисунку 1 представлено гістограму, яка ілюструє структуру матеріалоемності основних модулів конструкції напіввагонів моделі 12-9745 (в дужках вказаний відсоток маси модуля від загальної маси напіввагону). З урахуванням того, що маса металу, яка наплавляється при зварювальних роботах в процесі складання загальної конструкції напіввагону із окремих модулів, у порівнянні з значеннями мас модулів є незначною (0,04% від маси тари), тому її не представлено на гістограмі.

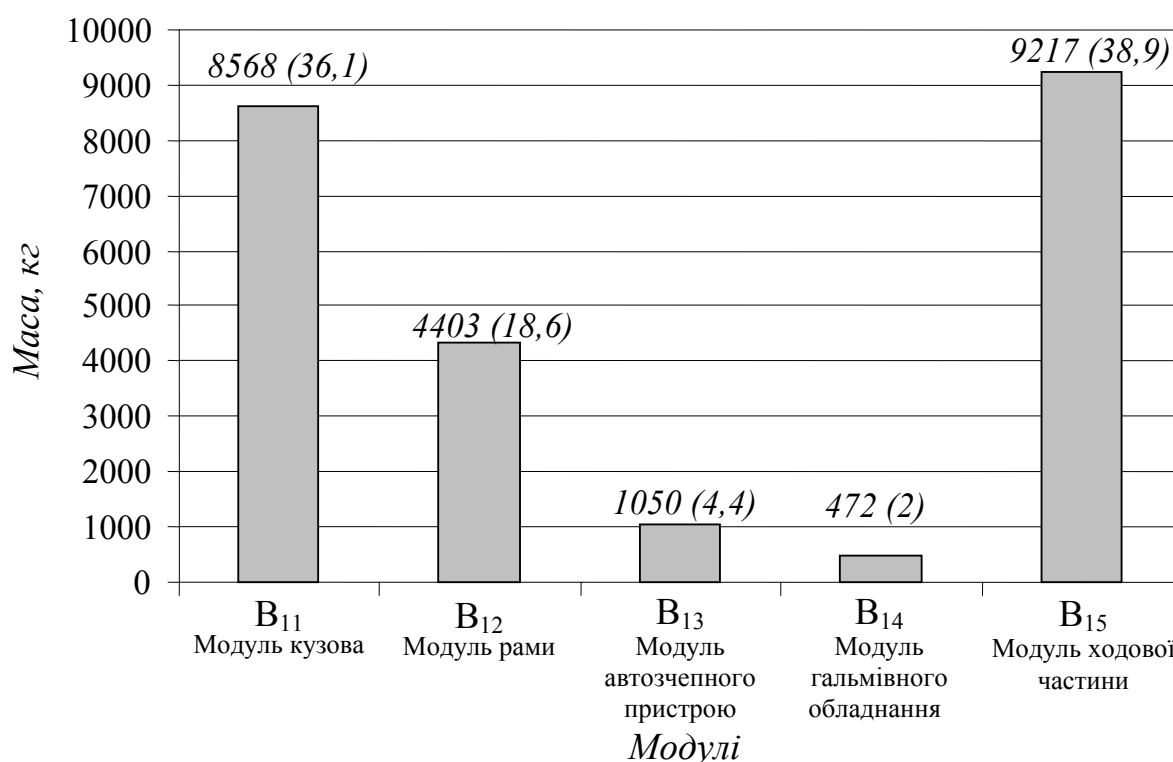
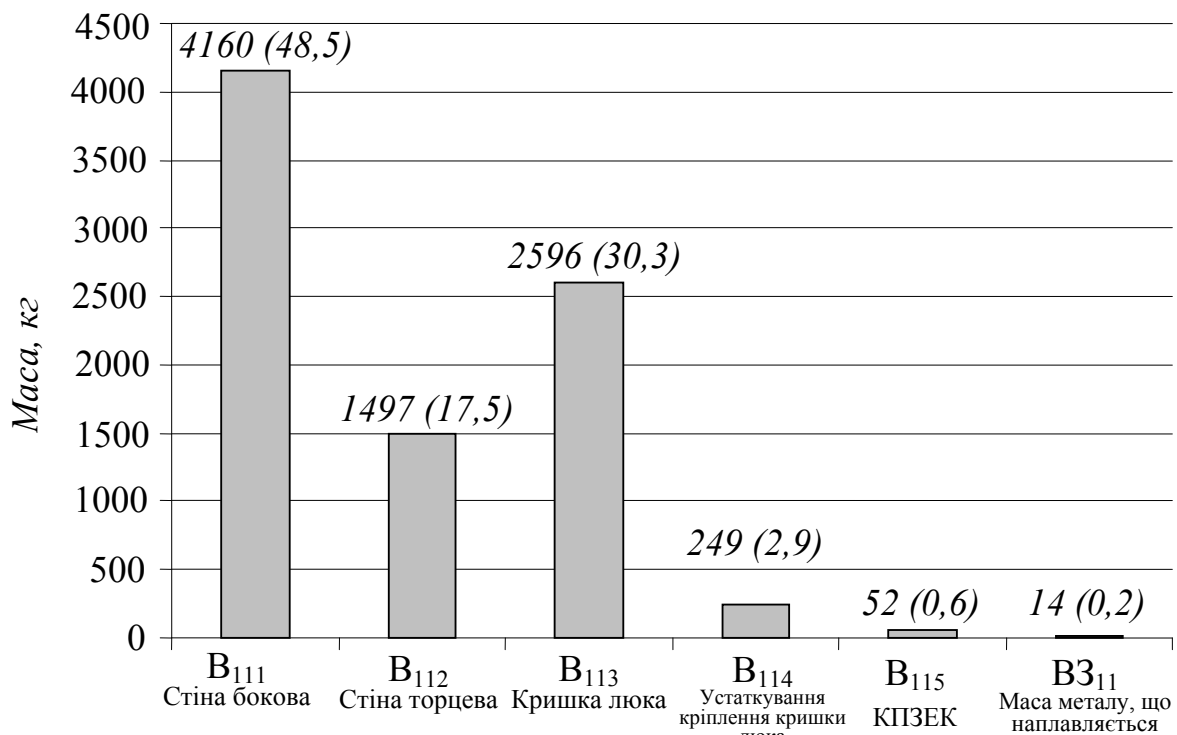


Рисунок 1 - Структура матеріалоемності модулів конструкції напіввагонів моделі 12-9745

З рисунку 1 видно, що серед модулів конструкції напіввагонів моделі 12-9745 найбільш матеріалоемними є – модуль ходової частини B<sub>15</sub>, модуль кузова B<sub>11</sub> і модуль рами B<sub>12</sub>. У зв'язку з тим, що основна увага приділялась питанням модернізації модуля кузова B<sub>11</sub>, нижче наведені результати дослідження матеріалоемності саме цього модуля.

На рисунку 2 представлено результати робіт з визначення структури матеріалоемності модуля кузова конструкції напіввагонів моделі 12-9745 (в дужках вказаний відсоток маси вузла від загальної маси модуля кузова).

З рисунку 2 видно, що серед мас вузлів модуля кузова (стіна бокова B<sub>111</sub>, стіна торцева B<sub>112</sub>, кришка люка B<sub>113</sub>, устаткування кріплення кришки люка B<sub>114</sub>, комплекс посилення та з'єднання елементів кузова (КПЗЕК) B<sub>115</sub>) найбільшими є матеріалоемності наступних вузлів: стіни бокової  $m_{B_{111}} = 4160$ кг, кришки люка  $m_{B_{113}} = 2596$ кг та стіни торцевої  $m_{B_{112}} = 1497$ кг. Ці результати спрямовують подальші дослідження структури матеріалоемності модуля кузова напіввагонів моделі 12-9745 саме на вищезазначені вузли.



*Вузлові та системні складові модуля кузова*

Рисунок 2 - Структура матеріалоемності вузлових та системних складових модуля кузова B<sub>11</sub> конструкції напіввагонів моделі 12-9745

При подальшому дослідженні аналізувалась можливість зниження матеріалоемності стіни бокової B<sub>111</sub>, тому нижче наведено значення найбільших матеріалоемностей її базових елементів (значення мас представлено для відповідних комплектів на стіну бокову): обв'язування верхнього  $m_{B_{1111}}=392$ кг, обв'язування нижнього  $m_{B_{1112}}=242$ кг, стійки  $m_{B_{1117}}=389$ кг, панелі 1760x420x5  $m_{B_{1119}}=206$ кг, панелі 5370x1525x4  $m_{B_{11110}}=514$ кг, панелі 1530x1525x4  $m_{B_{11111}}=73$ кг, стійки бокової  $m_{B_{11112}}=133$ кг.

Отримані результати дозволили провести комплексні проектно-конструкторські роботи по модернізації елементів модуля кузова напіввагонів моделі 12-9745, в тому числі – обв'язування верхнього B<sub>1111</sub> та стійки B<sub>1117</sub>. Попередні дослідження показали, що лише за рахунок удосконалення зазначених елементів можна знизити матеріалоемність стіни бокової приблизно на 100кг, що зменшить масу тари напіввагону



близько 200кг. Вже це дозволить перевозити додатково 12т вантажу у складі поїзда з 60–ти таких напіввагонів.

**Висновки і рекомендації щодо подальшого використання.** Наведені в статті матеріали та результати дослідження матеріалоемності напіввагонів моделі 12-9745 свідчать про доцільність використання запропонованого підходу при оптимізаційному проектуванні напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності.

Висвітлений підхід до визначення структури матеріалоемності конструкції напіввагонів може бути використаний при вирішенні подібних задач для інших типів вантажних вагонів.

### **Список літератури**

- 1 Цыган, Б.Г. Состояние и тенденции развития грузового вагоностроения [Текст] / Б.Г.Цыган, А.Б.Цыган // Вагонный парк. – 2008 - № 9. - С.24-28.
- 2 Недосеков, А.Н. Стратегические ориентиры производства транспортной техники [Текст] / А.Н. Недосеков // Железнодорожный транспорт. – 2008. - №11. – С. 46-48.
- 3 Мороз, В.І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» [Текст]/ В.І. Мороз, В.В. Фомін, О.В. Фомін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2008.- Вип. 99.- С. 72-81
- 4 Мороз, В.І. Основи конструювання і САПР [Текст]: навч. посібник / В.І.Мороз, О.В.Братченко, В.В.Ліньков – Харків: Нове слово, 2003. – 194 с.
- 5 Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. [Текст]/ Я.Дитрих.– М.: Мир, 1981. – 456 с.
- 6 Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності [Текст]/ В.І. Мороз, О.В. Фомін // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ, 2009.- Вип. 111. – С. 121-131.
- 7 Мороз, В.І., Формалізоване описання конструкції залізничних вантажних вагонів [Текст]/ В.І. Мороз, О.В. Фомін, // Зб.наук.праць 107. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вип. – С. 173-179.
- 8 Мороз, В.І. Блочно-ієрархічне описання конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Фомін / Тези доповідей 69 Міжнародної науково-практичної конференції: «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 2009 (21.05.2009-22.05.2009), Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) 2009г. – С. 35,36.
- 9 Напіввагон чотиривісний моделі 12 – 9745. Технічні умови. ТУ У 35.2 – 01124454-032-2004, м. Київ.