

**Тихонін В.І.**

Одеський національний морський університет

**Тихоніна І.І.**

Одеський національний морський університет

**Ромах В.Л.**

Одеський національний морський університет

## МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІРІВ ПАКЕТІВ МЕТАЛОВАНТАЖІВ ПРИ ЇХ ФОРМУВАННІ

У статті розглядається питання розробки методики формування пакетів з металовантажів (металопродукції). Визначені основні види металопродукції, які виробляються та перевантажуються в портах України. Проаналізовані вимоги до транспортного стану металопродукції, що пропонується до перевезення та пакетів які формується з неї. Окремо розглядається методика формування зв'язування з куточків, двутаवру та швелеру. При формуванні зв'язування з куточка докладно розглядаються всі етапи цього процесу. Спочатку визначаються необхідні вихідні параметри одного куточку, що необхідні для подальших розрахунків. Далі наводиться послідовність визначення кількості куточків по ширині та висоті зв'язування, з урахуванням усіх вимог та обмежень до розмірів та маси сформованого пакету. Після визначення оптимальної кількості куточків по ширині та висоті пакета, наводяться вирази для розрахунку габаритних розмірів та маси такого пакету. Далі пропонується покрокова методика формування пакетів з двутавру та швелеру. Для цього встановлені та пропонується залежності між габаритними розмірами профілів (двутавру та швелеру) та припустимою масою зв'язування, яке формується. Надані вирази для визначення кількості профілів по ширині пакету. З'ясовано, що ці значення для швелера напряму залежить від кількості профілів у зв'язуванні, яке в свою чергу визначається припустимою масою пакету. А для двутавру – залежить через чергу коефіцієнтів, значення котрих також наводяться у методиці. Після визначення ширини зв'язування, розраховується кількість профілів по висоті, та уточнюється кількість профілів в пакеті та його маса. З'ясовано, що загальних виразів визначення габаритні розміри пакетів двутавру та швелеру нема й вони визначаються для кожного випадку окремо. Надані пояснення на конкретних прикладах. Наведено особливості визначення коефіцієнту форми та питомого навантажувального об'єму зв'язування.

**Ключові слова:** куточки, двутавр, швелер, формування зв'язування, розміри.

**Постановка проблеми.** Одним з основних експортних вантажів України є метал, а металопродукція становить більшу його частину.

Значний обсяг світової торгівлі, як правило, проходить із використанням морського транспорту, тому, з огляду на великий транзитний потенціал України, підвищення пропускної здатності портів при перевантаженні металовантажів (металопродукції) та морського транспорту при її перевезенні, є одним з основних напрямків їхнього розвитку.

На раціональне використання транспортних засобів, портових складів та перевантажного обладнання значній вплив здійснюють об'ємно-масові характеристики металовантажів (металопродукції). Тому оптимізація розмірів пакетів (зв'язування) металопродукції на всіх етапах

транспортування (перевезення, зберігання та перевантаження) є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Металопродукцію можна розділити за способом перевезення й зберігання на дві групи [1, 2]. У першу входять вантажі, які перевозять і зберігають на складах порту без поштучного укладання. У другу групу входять металовироби, які перевозять і зберігають у поштучному укладанні у вигляді окремих вантажних місць (ВМ) або укрупнених вантажних місць (УВМ), утворених шляхом обв'язки, стяжки, скріплення різними засобами.

Номенклатура металопродукції в УВМ досить велика [3, 4]. До неї відносяться: квадратні в перерізі заготовки, куток, швелер, двотавр, тавр, фасонні профілі, арматурна сталь, труби діаметром до 200 мм й ін.

Сортовий, фасонний, калібрований, холодно-тягнутий прокат, дрiт i круглий прокат зi спецiальною обробкою поверхнi розмiрами поперечного перерiзу (товщина, дiаметр, сторона квадрата, найбiльший розмiр для фасонних профiлiв) до 50 мм включно зв'язують у пачки, мотки або зв'язування моткiв, а понад 50 мм i заготiвку всiх видiв зв'язують у пачки на вимогу споживача. Гнутi профiлi зв'язують у пачки [5].

Сортовий i фасонний прокат розмiром поперечного перерiзу 100 мм i менш, гнутi профiлi, холоднотянутi профiлi з гарячекатаної не травленої заготiвки, листовий прокат i стрiчка товщиною до 12 мм включно впаковують у пакети (зв'язування) масою вiд 0,1 т до 10 т.

Сортовий i фасонний прокат розмiром поперечного перерiзу вiд 100 до 200 мм i фасонний бiльше 200 мм поставляють поштучно або з обв'язкою.

Поперечний перерiз пачки сортового й фасонного прокату залежно вiд форми й розмiрiв поперечного перерiзу профiлю повинний наближатися до кола, прямокутника або шестикутника [5].

В [6] вiдзначається, що сформованi пакети металопродукцiї повиннi бути прямокутного або квадратного перерiзу з обов'язковим дотриманням умови, щоб вiдношення висоти пакета до його ширини було в межах вiд 0,4 до 1,0, при цьому граничнi вiдхилення вiд номiнальних розмiрiв не повиннi перевищувати вiд +50 мм до +100 мм по ширинi й +100 мм по висотi.

Вимоги запропонованi в [5, 6] цiлком логiчнi, тому що зв'язування, що має бiльшу висоту, буде

нестiйке при укладеннi, а бiльшу ширину – буде «зруйноване» (зiм'яте) при перевантаженнi. Вiдхилення перерiзу зв'язування вiд квадратного, обумовлено конкретними розмiрами профiлiв i обмеженнями по масi зв'язування ( $G$ ).

Необхiдна маса зв'язування ( $G$ ), як правило, установлюється не жорстко, а з урахуванням припустимих вiдхилень ( $\Delta$ ), якi, у свою чергу, можуть визначається як частка (вiдсоток) вiд  $G$ .

**Постановка завдання.** Метою статтi є розробка методик формування оптимальних розмiрiв УВМ з фасонних профiлiв загального призначення – кутової сталi з рiвними та нерiвними полками, балки двотаврової та швелера.

**Виклад основного матерiалу дослiдження.** В процесi формування пакетiв, змiнюється тiльки їх ширина та висота, а довжина, яка визначається довжиною профiлю, залишається незмiнною – постiйною. При подальшiй розробцi методик було визначено, що алгоритм формування УВМ з кутка iстотно вiдрiзняються вiд двотавру й швелера. Тому спочатку розглянемо методику формування УВМ з кутка.

На рисунках в [4] кутку (кутова сталь) розташовується на однiй зi своїх полиць, її ширину позначимо  $b$  й будемо вважати шириною кутка. При цьому другу полицю кутка, розташовану пiд кутом в  $90^\circ$  позначимо  $h$  i її ширину будемо вважати висотою кутка.

Формування зв'язування здiйснюється з урахуванням послiдовностi укладання, тому кутку повертається й укладається в iншому положеннi (рис. 1,а), нiж було зазначено в [4]. Таке розташування кутка правочинне, тому що його габаритний об'єм ( $V$ ) не змiниться, а ширина зв'язування  $b_3$  при цьому буде дорiвною значенню  $c$  (рис. 1,б).

Так як сторони кутка ( $b$  i  $h$ ) розташованi пiд кутом в  $90^\circ$ , скористаємося теоремою Пiфагора для визначення значення  $c$

$$c = \sqrt{b^2 + h^2}.$$

Сформоване зв'язування повинна мати форму квадрата в перерiзi (наближатися до неї) [5, 6], тому приймаємо, що висота зв'язування ( $h_3$ ) дорiвною її ширинi ( $b_3$ ).

Визначаємо яка кiлькiсть куткiв ( $n$ ) помiститься у зв'язування такого розмiру i яка буде маса ( $g_3$ ) такого зв'язування.

Спочатку розглядаємо ситуацiю коли кiлькiсть куткiв по ширинi зв'язуванню  $n_b$  дорiвною одиницi ( $n_b = 1$ ), тодi

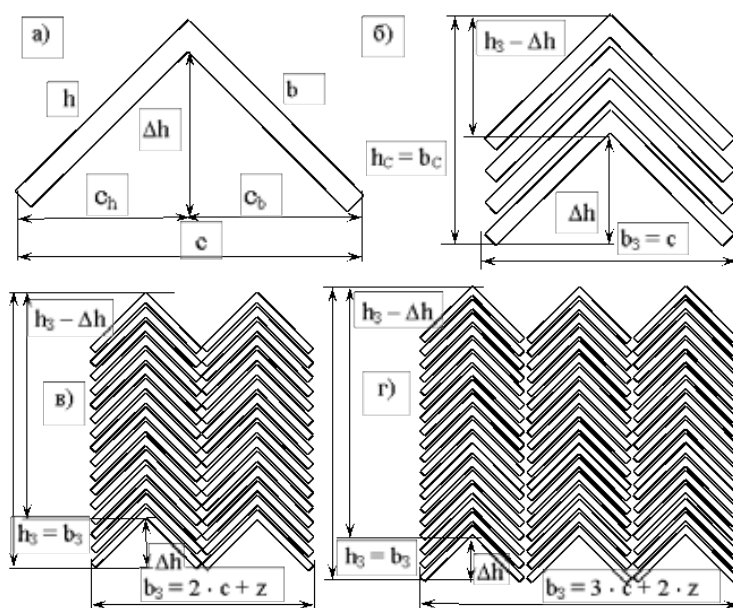


Рис. 1. Послiдовнiсть формування зв'язування кутка

$$h_3 = b_3 = c.$$

З рис. 1,б видно, що самі кутки розташовуються не відразу на поверхні опори (підлоги), а є певний зазор ( $\Delta h$ ). Тому спочатку визначимо цю величину. Висота прямокутного трикутника ( $\Delta h$ ) ділить гіпотенузу  $c$  пропорційно величинам катетів ( $b$  і  $h$ ) (рис. 1, а).

Якщо трикутник рівнобедрений ( $b=h$ ), то гіпотенуза  $c$  ділиться навпіл

$$c_b = c_h = c / 2,$$

тоді виходять два рівнобедрених трикутники (рис. 1, а) для яких  $\Delta h = c_b = c_h$ , у такий спосіб  $\Delta h$  (мм) визначається з вираження

$$\Delta h = c / 2.$$

Якщо трикутник нерівнобедрений ( $b \neq h$ ), то гіпотенуза  $c$  ділиться пропорційно величині відповідних катетів (рис. 1,а). Значення величин  $c_b$  і  $c_h$  визначаємо з наведених нижче виразів

$$c_b = b^2 / \sqrt{b^2 + h^2} = b^2 / c$$

або

$$c_h = h^2 / \sqrt{b^2 + h^2} = h^2 / c.$$

Знаючи величини катета  $c_b$  ( $c_h$ ) і гіпотенузу  $b$  ( $h$ ), визначаємо значення величини другого катета  $\Delta h$

$$\Delta h = \sqrt{b^2 - c_b^2}$$

або

$$\Delta h = \sqrt{h^2 - c_h^2}.$$

Значення  $\Delta h$  визначені по  $c_b$  і  $c_h$  повинні збігатися, якщо ж вони не рівні, то необхідно перевірити розрахунок. Допускається незначна розбіжність  $\Delta h$ , яка пов'язана з точністю розрахунків.

Після розрахунку  $\Delta h$ , продовжуємо визначення кількості профілів у зв'язуванні.

Тоді висота зв'язування, що залишається для розміщення кутків складе  $h_3 - \Delta h$  (рис. 1,б). Кожний куток по висоті займає місце рівне сумі середньої товщини полки кутка ( $t$ ) і величини зазору між ними ( $z$ ). Виходячи із цього, визначаємо кількість кутків у зв'язуванні по висоті ( $n_h$ )

$$n_h = (c - \Delta h) / (t + z),$$

дробове значення  $n_h$  округляється до цілого числа.

Зазор  $z$  утворюється між окремими профілями через шорсткість і нерівність їхньої поверхні, а також через радіус внутрішнього закруглення. У практичних розрахунках приймаємо  $z = 1$  мм.

Визначаємо загальна кількість кутків у зв'язуванні

$$n = n_b \cdot n_h.$$

Далі визначаємо масу зв'язування ( $g_3$ )

$$g_3 = n \cdot g_M,$$

де  $g_M$  – маса одного ВМ (профілю).

Отримане значення  $g_3$  порівнюється з необхідною масою зв'язування ( $G$ ) з урахуванням припустимих відхилень ( $\Delta$ ), при цьому можливо наступні ситуації:

1. Якщо  $g_3 > (G + \Delta)$  – кількість кутків по висоті ( $n_h$ ) зменшується доти, поки не буде виконаються умова  $g_3 \leq (G + \Delta)$ . Тоді остаточна (коректована) кількість кутків по висоті ( $n_h$ ) визначається з вираження

$$n_h = (G + \Delta) / (n_b \cdot g_M),$$

при цьому отримане значення  $n_h$  округляється до найближчого меншого цілого числа.

2. Якщо  $(G - \Delta) \leq g_3 \leq (G + \Delta)$  – кількість кутків по висоті не міняється;

3. Якщо  $g_3$  незначно менше  $(G - \Delta)$  – кількість кутків по висоті  $n_h$  збільшується доти, поки не буде виконаються умова  $g_3 \geq (G - \Delta)$ .

Тоді остаточне (скоректоване) кількість кутків по висоті  $n_h$  визначається з вираження

$$n_h = (G - \Delta) / (n_b \cdot g_M),$$

при цьому отримане значення  $n_h$  округляється до найближчого більшого цілого числа.

Поняття «незначно» є суб'єктивним і різниця може бути будь-якою, у нашому випадку пропонується вважати «незначним» до 1/3 (30 %) від  $(G - \Delta)$ ;

4. Якщо  $g_3$  зв'язування значно менше  $(G - \Delta)$  – кількість кутків у зв'язуванні по висоті й ширині перераховується. У нашому випадку пропонується вважати «значним» більше 1/3 (30 %) від  $(G - \Delta)$ .

У перших трьох випадках значення  $n_b$  й  $n_h$  знайдене.

Якщо кількість кутків мінялися (перша й третя ситуації), то значення  $n$  й  $g_3$  уточнюються.

Перерахування кількості кутків (четвертий випадок) здійснюється в наступній послідовності.

По ширині зв'язування розташовуємо два кутки ( $n_b = 2$ ) (рис. 1,в), тоді з урахуванням зазору між двома стопками кутків  $z$ , одержимо

$$h_3 = b_3 = 2 \cdot c + z.$$

Тоді кількість кутків (куточків) по висоті складе

$$n_h = (2 \cdot c + z - \Delta h) / (t + z).$$

Після чого повторюється розрахунок  $n$  і  $g_3$ .

При ширині зв'язування в три кутки ( $n_b = 3$ ) (рис. 1, г)

$$h_3 = b_3 = 3 \cdot c + 2 \cdot z;$$

$$n_h = (3 \cdot c + 2 \cdot z - \Delta h) / (t + z) \text{ і т. д.}$$

Перерахунок, зі збільшенням ширини зв'язування, триває доти, поки маса зв'язування ( $g_3$ ) стане припустимою.

Визначивши кількість кутків по ширині й висоті зв'язування, можна визначити її розміри в перерізі. Ширина ( $b_3$ ) і висота ( $h_3$ ) зв'язування з кутка визначається так

$$b_3 = c \cdot n_b + (n_b - 1) \cdot z;$$

$$h_3 = \Delta h + (t + z) \cdot n_h.$$

Тепер розглянемо методику формування УВМ із двотавру й швелера.

При формуванні зв'язування із профілів такої конфігурації взаємне розташування окремих ВМ може бути довільним. При цьому необхідно тільки, щоб об'єм сформованого зв'язування був найменшим, а форма перерізу наближався до квадрата [5, 6].

При формуванні зв'язування необхідно, крім дотримання квадратного перерізу, щоб кількість профілів по ширині ( $n_b$ ) було однакове у всіх рядах по висоті. Тобто кожний ряд виглядав (мав зовнішній вигляд) і складався з однакової кількості профілів.

При формування пакета, після скріплення (ув'язування), його можна перевертати (мінати висоту й ширину) за умови стійкості зв'язування й у такому положенні. Формування можна робити відразу в переверненому виді, маючи на увазі кантування зв'язування після скріплення.

Для формування зв'язування розрахуємо попередню необхідну кількість профілів ( $n'$ ), виходячи з його необхідної маси  $G$

$$n' = G / g_M.$$

Значення  $n'$  – ціле число, тому округляється до найближчого цілого в більшу або меншу сторону.

Виходячи з  $n'$ , співвідношення ширини ( $b$ ) і висоти ( $h$ ) профілю, формується пакет, тобто визначається взаємне просторове розташування профілів у зв'язуванні і їхня кількість по ширині ( $n_b$ ) і висоті ( $n_h$ ).

Попередня кількість профілів по ширині ( $n_b$ ) зв'язування для двотавру (двотаврової балки)

можна визначити по співвідношенню ( $k$ ) висоти ( $h$ ) і ширини ( $b$ ) профілю

$$k = h / b$$

з вираження

$$n_b = \lambda \cdot n' / k,$$

де  $\lambda$  – коригувальний коефіцієнт

$$\lambda = 7,4145 \cdot n^{-0,733};$$

для швелера

$$n_b = \sqrt{n'}$$

при цьому значення  $n_b$  – ціле число. Округлення може здійснюватися до найближчого цілого як у більшу, так і в меншу сторону.

Кількість рядів профілів по висоті ( $n_h$ ) дорівнює

$$n_h = n' / n_b,$$

при цьому значення  $n_h$  – ціле число. Округлення може здійснюватися до найближчого цілого як у більшу, так і в меншу сторону.

Визначаємо загальну кількість профілів у зв'язуванні

$$n = n_b \cdot n_h.$$

Якщо отримане значення  $n$  відрізняється від  $n'$  ( $n \neq n'$ ), необхідно перевірити масу такого зв'язування ( $g_3 = n \cdot g_M$ ), для якої повинне виконуватися умова

$$(G - \Delta) \leq g_3 \leq (G + \Delta).$$

Якщо умова задовольняється, то формування зв'язування із двотаврової балки (швелера) закінчено.

Якщо умова не задовольняється, то формування зв'язування із двотаврової балки (швелера) необхідно повторити знову змінивши значення  $n_b$  й  $n_h$  так, що б одержати більше або менше значення  $n$ , яке б задовольняло вище наведеній умові.

Варто звернути увагу на те, що при формуванні зв'язувань (обв'язок) із двотаврової балки вони розташовуються своєю висотою по висоті зв'язування, а швелера навпаки – шириною швелера по ширині зв'язування.

Для пояснення цієї особливості приведемо приклад схеми розміщення профілів і розрахунку розмірів перерізу зв'язувань двотаврової балки (рис. 2, а) і швелера (рис. 2, б).

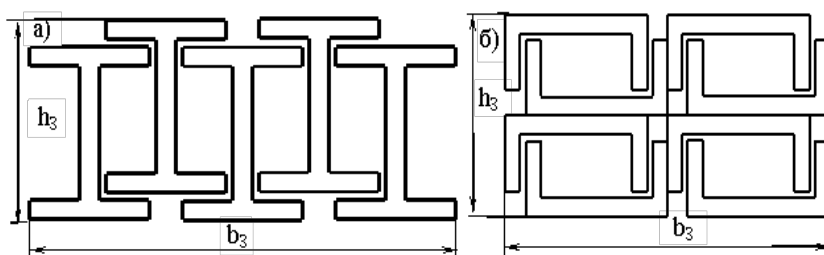


Рис. 2. Приклади схеми зв'язувань із 5 двотаврів (а) і 8 швелерів (б)

На рис. 2, а наведена схема формування зв'язування з 5 двотаврових балок (двотавру). Виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування, одержимо ширину зв'язування ( $b_3$ )

$$b_3 = b + z + s + z + b + z + s + z + b = 3 \cdot b + 2 \cdot s + 4 \cdot z,$$

де  $b$  – ширина полиці двотавру;

$s$  – середня товщина стінки двотавру.

Висоту зв'язування ( $h_3$ ) визначаємо по її схемі (рис. 2, а) виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування

$$h_3 = h + z + t,$$

де  $h$  – висота двотавру;

$t$  – середня товщина полиці двотавру.

На рис. 2, б наведена схема формування зв'язування з 8 швелерів. Виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування, одержимо ширину зв'язування ( $b_3$ )

$$b_3 = (h + z + t) \cdot 2 + z,$$

де  $h$  – висота швелера;

$t$  – середня товщина полиці швелера.

Висоту зв'язування ( $h_3$ ) визначаємо по її схемі (рис. 2, б) виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування

$$h_3 = (b + z + s) \cdot 2 + z,$$

де  $b$  – ширина полиці швелера;

$s$  – середня товщина стінки швелера.

При формуванні УВМ із окремих ВМ сортового прокату перетинання (перекриття) габаритних об'ємів ( $V$ ) поруч розташованих ВМ не відбувається – для профілів прямокутної форми або незначно – для профілів кругової (коло) і шестигранної (шестигранник) форми.

А при формуванні УВМ із окремих ВМ фасонних профілів загального призначення перетинання (перекриття) габаритних об'ємів ( $V$ ) поруч розташованих ВМ досить значно.

Ступінь перетинання габаритних об'ємів ( $V$ ) при формуванні УВМ враховується за допомогою коефіцієнта форми ( $K_\Phi$ ).

Для сортового прокату у вигляді кола й шестигранника значення  $K_\Phi$  може прийматися таким же як для вантажів циліндричної форми –  $K_\Phi = 0,785$  [1, 2].

При пакетуванні фасонних профілів загального призначення габаритні об'єми окремих ВМ значно перекривають один одного. Тому питомий об'єм пакета (зв'язування) фасонного прокату набагато менше, ніж сума об'ємів окремих ВМ які його складають.

Значення  $K_\Phi$  фасонного прокату змінюється залежно від кількості ВМ, що складають зв'язування ( $n$ ), та їхнього взаємного розташування. Тому для конкретного профілю воно різне при різному значенні  $g_3$ . Таким чином, при постійному питомому об'ємі ВМ фасонного прокату, можуть бути отримані різні значення питомого навантажувального об'єму (ПНО).

Розрахунок коефіцієнта форми ( $K_\Phi$ ) для кожного виду фасонного профілю пропонується робити по наступній формулі [1]

$$K_\Phi = (b_3 \cdot h_3) / (b \cdot h \cdot n).$$

**Висновки.** В результаті дослідження була запропонована методика визначення мінімального об'єму пакету металопродукції, з урахуванням всіх вимог, які висуваються при їх формуванні. Надана методика дозволяє заздалегідь розрахувати: кількість профілів в зв'язуванні; їх просторове положення взагалі і по відношенні один до іншого; загальну масу пакета.

Запропонована методика дозволяє розробляти оптимальну схему формування зв'язування металопродукції. При перевезенні пакетів такої форми буде потрібна мінімальна площа при їх складуванні та мінімальний об'єм вантажних приміщень транспортних засобів.

У подальших дослідженнях можливо розглянути можливість застосування запропонованої методики для інших видів металопродукції.

#### Список літератури:

1. Тихонін В. І. Вантажознавство. Навчальний посібник. Одеса: ОНМУ, 2016. 236 с.
2. Снопков В. І. Технологія перевезення вантажів морем: Учебник для вузів. 3-е изд., перераб. и доп. С. Петербург: АНО НПО «Мир и Семья», 2001. 560 с.
3. Зрезарцев М. П., Зрезарцев В. М., Параніч В. П. Товарознавство сировини та матеріалів. Навч. пос. К.: Центр учбової літератури, 2008. 404 с.
4. Справочник по металлопрокату // Хорольский Д. Ю. Х.: «Металлика», 2005. 834 с.
5. ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94) Металопродукція. Приймання, маркування, пакування, транспортування та зберігання. URL: [https://ugmk.ua/dbs.8.files/gosts/d3058-951\\_864.pdf](https://ugmk.ua/dbs.8.files/gosts/d3058-951_864.pdf)
6. Гаврилов М. Н. Транспортные характеристики грузов: Справочное руководство. Мортехинформреклама. Морской транспорт, 1994. 193 с.

**Tykhonin V.I., Tykhonina I.I., Romakh V.L. THE METHOD OF OPTIMIZING THE SIZES OF PACKAGES OF METAL CARGO DURING THEIR FORMATION**

*The article deals with the issue of developing a methodology for forming packages from metal cargo (metal products). The main types of metal products that are produced and transshipped in the ports of Ukraine are defined. The requirements for the transport condition of the metal products offered for transportation and the packages formed from them are analyzed. The method of forming binding from corners, I-beams and channels is considered separately. When forming binding from a corner, all stages of this process are considered in detail. First, I determine the necessary initial parameters of one corner, which are necessary for further calculations. Next, the sequence of determining the number of corners by the width and height of the binding, taking into account all the requirements and restrictions on the size and weight of the formed package. After determining the optimal number of corners for the width and height of the package, expressions are given for calculating the overall dimensions and weight of such a package. Next, a step-by-step method of forming I-beam and channel packages is offered. For this, the dependencies between the overall dimensions of the profiles (I-beam and channel) and the permissible weight of the binding that is formed are established and proposed. Expressions are provided to determine the number of profiles per packet width. It was found that these values for the channel directly depend on the number of profiles in the binding, which in turn is determined by the permissible mass of the package. And for the I-beam, it depends on a series of coefficients, the values of which are also given in the methodology. After determining the binding width, the number of profiles is calculated by height, and the number of profiles in the package and its weight are specified. It was found that there are no general expressions for determining the overall dimensions of I-beam and channel packages and they are determined for each case separately. Explanations are given using specific examples. Features of determining the shape factor and specific loading volume of binding are given.*

**Key words:** corners, I-beam, channel, binding formation, dimensions.