

СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗКРОЮ МЕТАЛУ НА ЗАГОТОВОЧНОМУ  
ОБТИСКНОМУ СТАНІ ТА МБЛЗ

(Представлено проф., д.т.н. Зайцевим В.С.)

*Розроблений алгоритм і автоматична система оптимального розкрою металу на заготовочному обтискному стані та МБЛЗ, що забезпечує мінімум економічних втрат, виражених в умовних одиницях втраченої вартості на одну отриману заготовку.*

**Вступ.** Сьогодні є актуальним впровадження ресурсозберігаючих технологій, у тому числі й у металургійному виробництві. Враховуючи суттєві втрати металу, яких зазнає прокатне і ливарне виробництво під час розкрою металу на заготовки, є актуальним мінімізація величини цих втрат. Розв'язок даної задачі безпосередньо веде до зниження відходів виробництва, а отже – до економії дорогих енергетичних ресурсів [1].

**Аналіз останніх публікацій.** У роботі [2] наведено п'ять незалежних варіантів постановки задачі оптимального розкрою металу на заготовочному обтискному стані, що відрізняються можливою варіацією вхідних даних, обумовлених структурою портфеля замовлень. Розв'язання даних задач полягає у підборі ряду параметрів:  $m$  – кількості заготовок, що містить  $n$ -мірних виробів,  $i$  – кількості заготовок, що містить  $n_i$ -мірних виробів (можливо іншої мірної довжини) таким чином, щоб мінімізувати величину залишку  $L_{ost} = L - \sum_{i=1}^N l_i n_i \rightarrow \min$ . Множина пар  $\{l_i, n_i\}$ , де  $(i = 1, 2, \dots, N)$  є шуканий оптимальний розкрійний план для розкату довжиною  $L$ , де перший елемент у парі  $l_i$  – довжина заготовки, другий елемент  $n_i$  – число заготовок довжиною  $l_i$ . Розв'язок даної задачі базується на методах лінійного програмування, які розглядаються в [1, 3].

Оптимальність виконання знайденого таким чином розкрійного плану буде досягатися лише за умови жорсткого забезпечення вузьких допусків на геометричні розміри заготовок і полягає в отриманні мінімальної маси металу, що залишається в залишку.

**Постановка задачі.** Прокатка кожного злитку на заготовочному обтискному стані характеризується наявністю випадкових відхилень технологічних параметрів, а саме: температури злитку, його маси, відхилення в режимах обтиску та в установці упора при його порізі; все це впливає на стабільність геометричних параметрів заготовки. Схожі труднощі також виникають і при отриманні заготовок на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). У зв'язку з цим забезпечення жорстких допусків на геометричні розміри заготовок є задачею нетривіальною.

Аналіз статистичних характеристик деяких технологічних параметрів виробничої лінії «заготовочний стан–переробний цех» (табл. 1) показує, що коливання маси рейкової заготовки, що надходить з блюмінга до рейкобалочного цеху, а також коливання маси литих на МБЛЗ слябів, що надходять до товстостілового цеху, настільки значні через відхилення площі поперечного перерізу (товщини і ширини) заготовки, що при порізі розкату відповідно до заданого розкрійного плану не завжди вдається отримати заготовки необхідної (стабільної) маси. Встановлено [4], що маса  $i$ -ї заготовки  $Q_z(i)$ , яка надходить у переробний цех, є випадковою величиною, що підпорядковується нормальному закону розподілення густини ймовірності з математичним очікуванням маси заготовки  $M[Q_z]$  та середньоквадратичним відхиленням (СКВ)  $\sigma_{Q_z}$ . СКВ маси рейкової заготовки досягає  $\sigma_{Q_z} = 18,1$  кг, абсолютне відхилення маси заготовки відповідно до  $\Delta Q_z = \pm 3\sigma_{Q_z}$  досягає  $\Delta Q_z = \pm 54,3$  кг. СКВ маси литого на МБЛЗ сляба, досягає  $\sigma_{Q_z} = 88,79$  кг, абсолютне відхилення маси, литого на МБЛЗ сляба, досягає  $\Delta Q_z = \pm 266,37$  кг.

Далі під заготовочним станом будемо розуміти як заготовочні обтискні стани (блюмінги, слябінги), так і машини безперервного лиття заготовок, що призначені для виробництва заготовок (блюнів, слябів, литих слябів). Заготовочний стан, як правило, працює в єдиній виробничій лінії із переробним цехом, в якому заготовки прокатуються і ріжуться на готові для реалізації на ринку металу вироби (балки, листи, рейки тощо). При цьому випадкові відхилення температури заготовки, що надходить в переробний цех, а також її маси, відхилення в режимах обтискання (спрацювання валків) тощо призводять до випадкових коливань маси погонного метра готового виробу. Маса погонного метра готового виробу є випадковою величиною, що підпорядковується нормальному закону розподілення густини ймовірності і

характеризується математичним очікуванням  $M[q]$  і СКВ  $\sigma_q$ . СКВ маси погонного метра рейки для всіх типів рейок практично постійні і становлять 0,3 кг. СКВ маси погонного метра товстого листа варіюється залежно від типу товстого листа, але приблизно становить 3,4 кг.

Усе це при детермінованому розкрою металу на заготовочному стані призводить до виникнення додаткових втрат при прокатці заготовок на готові вироби в переробному цеху, які пов'язані з появою обрізу, а також із появою укорочених виробів. Втрати, що пов'язані із відходами металу в обріз, для  $i$ -ї заготовки виникають при появі події:  $\Delta Q(i) = Q_z(i) - q(i)L_0 > 0$ ; втрати, що пов'язані з отриманням укорочених виробів виникають при появі події:  $\Delta Q_z(i) = Q_z(i) - q(i)L_0 < 0$ , де  $Q_z(i)$  і  $q(i)$  – поточні значення маси заготовки і маси погонного метра готового виробу,  $L_0$ , м – мінімально необхідна довжина розкату в переробному цеху, розрахована за умови отримання мірних виробів, технологічного обрізу і з урахуванням відбору необхідних технологічних проб.

Таблиця 1

Статистичні характеристики деяких технологічних параметрів виробничої лінії «заготовочний стан–переробний цех»

Випадковий параметр заготовки	Математичне очікування параметра	СКВ параметра	Випадковий параметр виробу	СКВ параметра
Рейкова заготовка			Рейка	
Товщина $H$ , (мм)	274,1	1,34	Маса 1 п.м. рейки $q$ , кг	0,3
Ширина $B$ , (мм)	277,0	1,43		
Маса заготовки $Q_z$ , (кг)	2781	18,1		
Литий сляб			Товстий лист	
Товщина $H$ , (мм)	251,26	0,204	Маса 1 п.м. товстого листа $q$ , кг	3,4
Ширина $B$ , (мм)	1650,17	2,96		
Маса сляба $Q_z$ , (кг)	6734	88,79		

Якщо маса  $i$ -ї заготовки більша від розрахункового значення, виникають втрати на обробку металу, який йде в обріз. Гірша ситуація коли маса  $i$ -ї заготовки менша від розрахункового значення. Це збільшує ймовірність отримання укорочених виробів. Цей факт суттєво впливає на економіку виробництва, оскільки укорочені вироби, в кращому випадку, реалізуються за більш низькою ціною, а в гіршому – йдуть на повторну переробку, як обріз. У зв'язку з цим необхідно розуміти, що, намагаючись зменшити величину обрізу металу на заготовочному стані, можна суттєво збільшити ймовірність отримання укороченого виробу в переробному цеху.

Зважаючи на це, задача оптимального розкрою металу на заготовочному обтискному стані і МБЛЗ, що поставлена у вигляді пошуку розкрійного плану, який забезпечує мінімум маси металу в залишку на основі лінійного програмування, має суттєвий недолік. Вона не враховує випадкового характеру маси як самих заготовок, так і маси погонного метра готових виробів, що прокатується з цих заготовок, а значить не враховує можливі економічні втрати, які пов'язані з появою укорочених виробів. Дана проблема є досить актуальною практично для всіх вітчизняних обтискних станів і МБЛЗ, оскільки більшість з них застарілі, з високим ступенем зношеності технологічного обладнання і низьким рівнем автоматизації та метрологічного забезпечення.

**Метою роботи** є розробка системи оптимального розкрою металу на обтискному заготовочному стані та МБЛЗ, що буде забезпечувати мінімум економічних втрат у виробничій лінії «заготовочний стан–переробний цех».

**Основна частина.** Поточне значення маси втрат  $\Delta Q(i)$  є випадковою величиною, яка підпорядковується закону розподілення густини ймовірності, що є композицією законів розподілення  $Q_z(i)$  і  $q(i)$ , з такими статистичними характеристиками: математичне очікування  $M[\Delta Q] = M[Q_z] - M[q]L_0$  і СКВ  $\sigma_{\Delta Q} = \sqrt{\sigma_{Q_z}^2 + \sigma_q^2 L_0^2}$ .

При існуючих статистичних характеристиках технологічних параметрів у виробничій лінії «заготовочний стан – переробний цех» випадкова величина втрат  $\Delta Q(i)$  з ймовірністю  $P = 0,9973$  буде знаходитися в діапазоні  $\Delta Q(i) = M[\Delta Q] \pm 3\sigma_{\Delta Q}$ , рис. 1, а. При цьому значення втрат, що призведе до виникнення додаткового обрізу  $\Delta Q(i) > 0$  на загальну масу  $\Delta Q_0$ , кг з ймовірністю  $P$  буде становити  $\Delta Q_0 = M[\Delta Q] + 3\sigma_{\Delta Q}$ . Значення втрат, що призведе до появи укорочених виробів в переробному цеху

$\Delta Q(i) < 0$  на загальну масу  $\Delta Q_Y$ , кг з ймовірністю  $V$  буде становити  $\Delta Q_Y = -M[\Delta Q] + 3\sigma_{\Delta Q}$ . У загальному випадку  $V = 1 - P$ , оскільки ймовірність появи події  $\Delta Q(i) = 0$  дуже мала. Ймовірність  $P$  може бути встановлена на основі інтеграла ймовірності Гауса відповідно до рекомендацій [5].

Таким чином, величина втрат у виробничій лінії «заготовочний стан–переробний цех» залежить від СКВ випадкової величини  $\Delta Q$ . Очікувані втрати у співвідношенні обріз/укорочений виріб  $\Delta Q_O / \Delta Q_Y$ , а також співвідношення ймовірностей виникнення відповідних втрат  $P / V$  залежать від положення математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q]$  відносно нульового рівня, що, в свою чергу, залежить від математичних очікувань маси заготовки  $M[Q_Z]$  та маси погонного метра, прокатаного в переробному цеху із заготовки, виробу  $M[q]$ .

Зважаючи на це, за критерій оптимальності розкрою візьмемо запропоновану в [4] функцію втрат  $A$ , що відображає математичне очікування економічних втрат, які виникають у виробничій лінії «заготовочний стан – переробний цех», та виражена в умовних одиницях (у.о.) втраченої вартості на одну прокатану на заготовочному стані заготовку:

$$A = \Delta Q_O C_O P + (q l_0 - \Delta O_Y) C_Y V, \tag{1}$$

де  $C_O = C_{OPT} - C_{OBR}$  – вартість втрат, що виникають при відході металу в обріз, у.о./кг;  $C_Y = C_{OPT} - C_{YKOR}$  – вартість втрат, що виникають при появі укорочених виробів, у.о./кг;  $C_{OPT}$  – оптова ціна готових мірних виробів, у.о./кг;  $C_{OBR}$  – оптова ціна габаритної обрізі, у.о./кг;  $C_{YKOR}$  – оптова ціна готового укороченого виробу, у.о./кг;  $l_0$  – необхідна для отримання довжина мірного виробу.

Аналіз виразу (1) показує, що мінімум економічних втрат, які виникають при порізі заготовок у виробничій лінії «заготовочний стан–переробний цех», будуть спостерігатися при такому значенні математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q]$ , при якому функція втрат  $A$  буде досягати мінімуму. Очевидно, що оптимальне значення математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q]$ , а також величина втрат при даному значенні залежать від статистичних характеристик технологічних параметрів виробничої лінії:  $M[Q_Z]$ ,  $M[q]$  і  $\sigma_{QZ}$ ,  $\sigma_{qf}$ .

Зниження втрат рис. 1, б при розкрої заготовок в технологічній лінії «заготовочний стан–переробний цех» можливе шляхом зниження СКВ маси втрат  $\sigma_{\Delta Q}$ , що в свою чергу може бути досягнуте шляхом зниження СКВ маси заготовки  $\sigma_{QZ}$  і СКВ маси погонного метра виробу  $\sigma_q$ , прокатаного із заготовки.

Розрахунки були проведені при фіксованому значенні  $\sigma_q = 0,3$  кг, а також при  $\sigma_{QZ} = 18$  кг – лінія 1,  $\sigma_{QZ} = 10$  кг – лінія 2,  $\sigma_{QZ} = 5$  кг – лінія 3. Оптова ціна 1 кг готового мірного виробу приймалась рівною  $C_{OPT} = 1$  у.о./кг. Оптова ціна 1 кг габаритної обрізі приймалась рівною  $C_{OBR} = 0,4$  у.о./кг. Оптова ціна 1 кг укороченого виробу бралась рівною  $C_{YKOR} = 0,9$  у.о./кг.

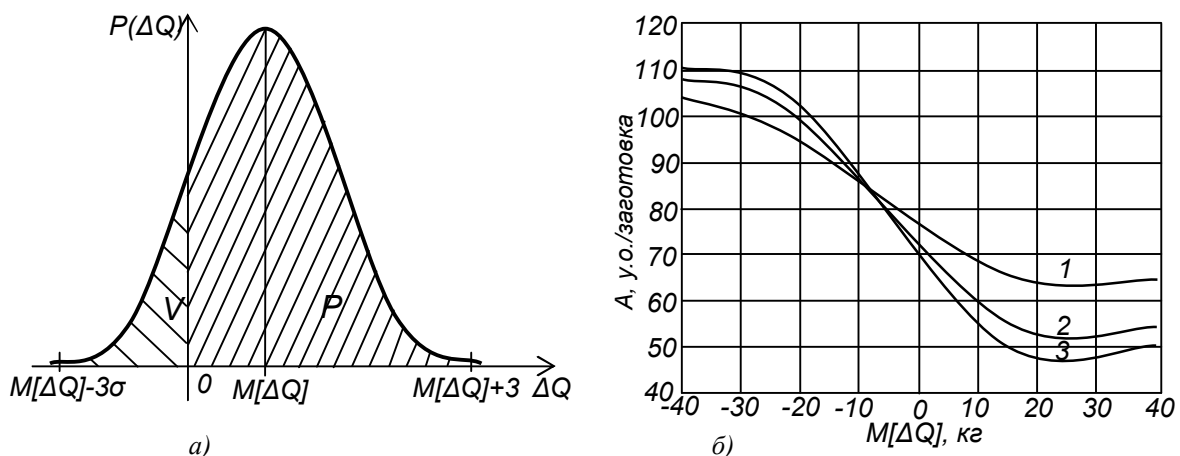


Рис. 1. а) – розподіл густини ймовірності маси втрат; б) – функція втрат

Оптимальне значення математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q]_{OPT}$  також, що дуже важливо, суттєво залежить від існуючих на ринку металу цінових пропорцій за 1 кг мірного і немірного виробу, а також за 1 кг габаритної обрізі. Якщо існує можливість реалізації укорочених виробів за ціною близькою до ціни мірного виробу  $C_{YKOR} \geq 0,95$ , хоча це і малоймовірно, оптимальне значення маси втрат  $M[\Delta Q]$  знижується і може бути від'ємним.

При зниженні оптової ціни за 1 кг укороченого виробу  $C_{YKOR} < 0,95$  оптимальне значення математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q]$  значно збільшується і буде додатним.

Таким чином, для досягнення мінімуму втрат, виражених в умовних одиницях втраченої вартості, що виникають в виробничій лінії «заготовочний стан–переробний цех», необхідно коректувати масу заготовки таким чином, щоб досягти такого додатного значення математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q] > 0$ , при якому функція втрат  $A$  буде досягати мінімального значення  $M[\Delta Q]_{OPT} = \min(A(M[\Delta Q]))$ . Розв'язати дану задачу можна досить просто чисельним методом.

#### Алгоритм оптимального розкрою металу:

1. Увід статистичних характеристик технологічних параметрів виробничої лінії «заготовочний стан–переробний цех»:  $M[Q_Z]$  та  $M[q]$ ,  $\sigma_{QZ}$  та  $\sigma_q$ .

2. Увід значення номінальної довжини мірного виробу  $L_H$ .

3. Увід діючих цінових співвідношень за 1 кг мірного і немірного виробу, а також за 1 кг габаритної обрізі:  $C_{OPT}$ ,  $C_{OBR}$  та  $C_{YKOR}$ .

4. Змінюючи значення параметра  $M[\Delta Q]$ , розраховуємо відповідно до (1) значення функції втрат  $A$  при кожному  $M[\Delta Q]$ .

5. Знаходимо оптимальне значення математичного очікування маси втрат  $M[\Delta Q]_{OPT}$ , для цього беремо значення параметра  $M[\Delta Q]$ , при якому функція втрат  $A(M[\Delta Q])$  досягає мінімального значення:

$$M[\Delta Q]_{OPT} = \min(A(M[\Delta Q])) .$$

6. Розраховуємо масу заготовки, що забезпечує мінімум втрат:

$$Q_{Zopt} = M[q]L_H + M[\Delta Q]_{OPT} .$$

7. Здійснюємо розкрій розкату на заготовки масою  $Q_{Zopt}$ .

Виконання даного алгоритму дозволить здійснити оптимальний розкрій металу, суть якого полягає у визначенні поправок до номінальної маси заготовок. Ці поправки дозволяють забезпечити мінімум економічних втрат у виробничій лінії «заготовочний стан–переробний цех», що виражені в у.о. втраченої вартості за умови досягнення при порізі заданих в п. 1 даного алгоритму статистичних характеристик технологічних параметрів виробничої лінії.

Відмінною рисою даного алгоритму є те, що оптимальне значення маси заготовки знаходиться з урахуванням існуючої на ринку металу цінової кон'юнктури.

Для реалізації даного алгоритму на практиці необхідне надійне інформаційне забезпечення стану технологічних параметрів виробничої лінії для виконання умови  $\Delta Q(i) > 0$ , а також необхідні пристрої, що забезпечують отримання заготовок із заданими статистичними характеристиками мас заготовок.

**Система оптимального розкрою металу на заготовочному стані.** Структурна схема системи оптимального розкрою металу на заготовочному стані наведена на рис. 2 (1 – прокат; 2 – датчик висоти прокату; 3 – датчик температури прокату; 4 – ЕОМ; 5 – вимірювач довжини заготовки; 6 – пульта управління системою; 7 – виконавча система управління приводами рольгангів і порізу розкату), 8 – датчик ширини заготовки (для МБЛЗ).

Робота системи заснована на розрахунку довжини заготовки, що забезпечує її оптимальну вагу  $Q_{Zopt}$  з необхідними визначеними статистичними характеристиками. Оптимальна маса заготовки  $Q_{Zopt}$  розраховується на ЕОМ за допомогою алгоритму оптимального розкрою металу.

Довжина заготовки розраховується відповідно до виразу:  $L_{opt} = Q_{Zopt} / \rho S_Z$ , де  $\rho$  – густина металу, кг/мм<sup>3</sup>;  $L_{opt}$  – оптимальна довжина заготовки, мм;  $S_Z$  – фактична площа поперечного перерізу заготовки, мм<sup>2</sup>.

Оскільки на заготовочному обтискному стані розкат перед останнім проходом кантується, площа поперечного перерізу  $S_Z$  визначається відповідно до виразу  $S_Z = H_N H_{N-1}$ , де  $H_N$  і  $H_{N-1}$  – висота розкату в останньому і передостанньому проході, на основі показів датчика висоти прокату, блок 2. На МБЛЗ заготовка не кантується, тому там необхідно встановлювати додатковий датчик ширини заготовки, блок 8. Як датчики висоти та ширини заготовки пропонується використовувати систему технічного зору

(СТЗ) [6], що дозволяє надійне й високоточне вимірювання відповідного параметра. Крім того, застосування СТЗ дає можливість проводити вимірювання повністю в автоматичному режимі і без зупинки технологічного процесу прокатки (в режимі реального часу).

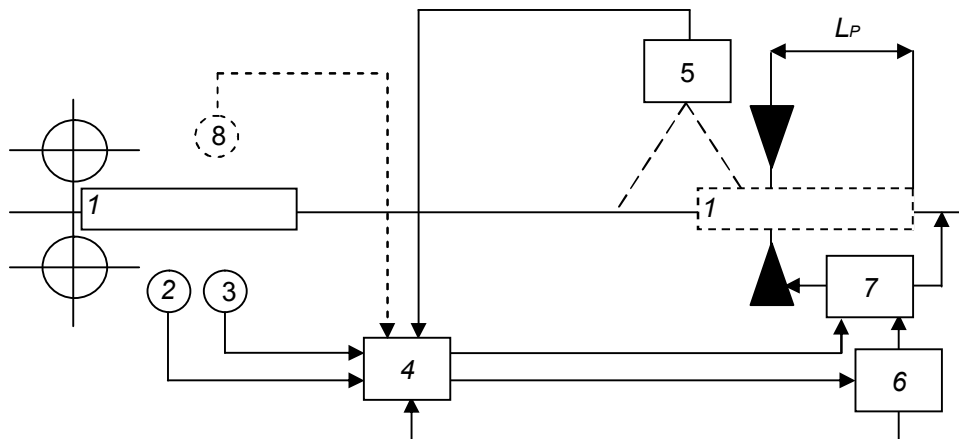


Рис. 2. Система оптимального розкрою металу на заготовочному обтискному стані і МБЛЗ

Повна довжина заготовки, що відрізається, також уточнюється залежно від температури заготовки  $T_z$ , яка визначається за допомогою датчика температури, блок 3. Розрахункова довжина заготовки  $L_p$  при цьому визначається відповідно до виразу:  $L_p = \Delta L_t + L_{opt}$ , де  $\Delta L_t$  – температурна поправка, що розраховується таким чином:  $\Delta L_t = \alpha L_{opt}(T_z - T_0)$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт температурного розширення металу,  $T_0$  – номінальна температура прокату.

Виконавчий пристрій управління приводами рольгангів і порізу розкату реалізує сформований розкрійний план на основі показів оптичного вимірювача довжини заготовки, що відрізається, блок 5. При цьому поріз здійснюється шляхом управління приводами рольгангів ділянки ножиць з метою переміщення розкату за лінію різку на величину різку заготовки  $L_p$ , блок 7.

Дана система відрізняється від аналогічних, наведених в [7, 8, 9], тим, що:

- при заданих статистичних характеристиках технологічних параметрів виробничої лінії «заготовочний стан–переробний цех» оптимальна вага заготовки розраховується з урахуванням існуючих на ринку металу цінових пропорцій за 1 кг мірного і немірного виробу, а також за 1 кг габаритної обрізі;
- для забезпечення необхідних для коректної роботи системи статистичних характеристик технологічних параметрів виробничої лінії «заготовочний стан–переробний цех», а саме для стабілізації маси заготовки використовується система технічного зору. СТЗ дає можливість високоточного вимірювання геометричних розмірів гарячої рухомої заготовки, що дає змогу корегувати номінальну довжину заготовки з урахуванням фактичної площі поперечного перерізу заготовки;
- застосування системи технічного зору дає можливість виконувати розкрій металу у повністю автоматичному режимі, без призупинення темпу прокатки, що зазвичай необхідно для виконання вимірювальних операцій. Це також позитивно характеризує дану систему, зважаючи на необхідність підвищення темпу ТП.

На користь застосування СТЗ для інформаційного забезпечення АСУ ТП в перспективі говорить також універсальні можливості СТЗ по визначенню як геометричних параметрів прокату, так і динамічних параметрів (швидкості, прискорення), що дає можливість також оптимізувати швидкісні режими прокатки. Врешті-решт дана інформація необхідна для розв'язання задач повної автоматизації ТП.

**Техніко-економічний ефект застосування системи оптимального розкрою металу.** Проведені експериментальні дослідження показують, що застосування СТЗ для вимірювання геометрії прокату дозволяє здійснювати вимірювання висоти прямокутної заготовки номінальною висотою до 400 мм з випадковою похибкою не гіршою, ніж  $\sigma_H \leq 0,5$  мм, це, у свою чергу, дає можливість, наприклад, стабілізувати масу рейкової заготовки на блюмінгу МК «Азовсталь» до рівня  $\sigma_{Qz} \leq 5$  кг шляхом корекції номінальної довжини заготовки.

Проведені розрахунки рис. 2 показують, що це дає можливість скоротити економічні втрати на

блюмінгу з 63 у.о. для  $\sigma_{Qz} \leq 18$  кг до 46 у.о. для  $\sigma_{Qz} \leq 5$  кг на кожному прокатану на заготовочному стані заготовку, тобто на 17 у.о., що становить 27 % економії. Даний показник розрахований за умови, що поріз металу на заготовки в першому і другому випадку здійснюється при оптимальній вазі заготовки. Оскільки на даний час розкрій на блюмінгу МК «Азовсталь» виконується таким чином, що не досягається оптимальність ваги заготовки, втрати в такому випадку можуть досягати 104 у.о. для  $\sigma_{Qz} \leq 18$  кг, і можуть бути скорочені до 46 у.о. для  $\sigma_{Qz} \leq 5$  кг (оптимальний поріз) на кожному прокатану заготовку, тобто 58 у.о., що становить 66 %.

Аналогічний економічний ефект може бути досягнутий також і на МБЛЗ.

**Висновок.** Розроблений алгоритм оптимального розкрою металу на заготовочному обтискному стані і МБЛЗ. Виконання даного алгоритму дозволить здійснити оптимальний розкрій металу, суть якого полягає у визначенні поправок до номінальної маси заготовок. Ці поправки дозволяють забезпечити мінімум економічних втрат у виробничій лінії «заготовочний стан–переробний цех», що виражені в у.о. втраченої вартості.

Відмінною рисою даного алгоритму є те, що оптимальне значення маси заготовки знаходиться з урахуванням існуючої на ринку металу цінової кон'юнктури і буде такою за умови забезпечення заданого при розрахунках СКВ маси заготовки.

Для реалізації даного алгоритму розроблена відповідна автоматична система. Дана система дозволяє реалізувати оптимальний розкрій металу шляхом порізу їх на заготовки довжиною (відмінною від номінальної), що забезпечують їх оптимальну вагу з урахуванням фактичної площі поперечного перерізу заготовки. Ключовою ланкою системи оптимального розкрою металу є СТЗ, що призначена для контролю геометричних параметрів рухомої, гарячої заготовки з заданою точністю.

Застосування даної системи на практиці дозволить значно підвищити економіку металургійного виробництва.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бабаев Ф.В.* Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / *Ф.В. Бабаев.* – М. : Машиностроение, 1982. – 168 с.
2. *Ленович А.С.,* Автоматические системы управления технологическими процессами и установками прокатных цехов / *А.С. Ленович.* – М. : Металлургия, 1979. – 368 с.
3. *Gilmore P.C.* A linear programming approach to the cutting stock problem / *P.C. Gilmore, R.E. Gomory* // Применение линейного программирования в задачах раскроя. – Operations Research 9 (1961). – Р. 849–859.
4. *Зайцев В.С.* О снижении потерь при производстве мерных листов на толстолистовом стане / *В.С. Зайцев, В.Г. Носов, М.С. Бабицкий, В.В. Грицай* // Сталь–1981. – № 5. – С. 46–48.
5. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей : учеб. для вузов / *Е.С. Вентцель.* – М. : Высш. шк., 2002.
6. *Зайцев В.С.* Система технического зрения для измерения геометрических размеров поперечного сечения горячих заготовок / *В.С. Зайцев, Е.Ю. Пономарёв* // Вісник ПДТУ. – 2009. – № 19. – С. 211–214.
7. А.с. 387620 СССР, МКИ G06f 15/20. Устройство для оптимального раскроя проката.
8. А.с. 413726 СССР, МКИ B23q 15/06. Система рационального пореза прокатанных на заготовочном стане полос металла.
9. Пристрій для одержання заготовок стабільної маси на машинах безперервного лиття заготовок : пат. 17491 А Україна, МКИ B22D 11/126.

ПОНОМАРЬОВ Євген Юрійович – аспірант кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв Приазовського державного технічного університету.

Наукові інтереси:

– статистичні методи обробки експериментальних даних.

Подано 15.12.2009