

**О. П. Єгоров**<sup>1</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-9867-0437

**М. О. Рибальченко**<sup>1</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0001-5162-5201

**І. О. Маначин**<sup>1,2</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0001-9795-6751

**М. В. Михайловський**<sup>1</sup>, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-9960-6189

<sup>1</sup> *Український державний університет науки і технологій*

<sup>2</sup> *Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ВИХІДНОЇ СТОРОНИ ДРІБНОСОРТНИХ СТАНІВ

**Анотація.** Сортовий прокат виробляється з вуглецевих, конструкційних та низьколегованих марок сталей усіх ступенів розкислення. Після прокатки на вихідній стороні стану розкат, порізаний на штанги, охолоджується на рейковому холодильнику, потім збирається в пачки, транспортується до ножиць холодного різання. На ножицях він ріжеться на мірні чи нормальні прутки. Нарізані прутки збирають у кишнях відводного рольгангу ножиць, зважують, ув'язують у пачки і подають електромостовим краном на склад готової продукції. Одним із важливих показників роботи стану є темп прокатки. Забезпечення максимально можливого, виходячи з роботи технологічного обладнання, темпу прокатки знижує собівартість готової продукції за рахунок, наприклад, зменшення енерговитрат при зниженні темпу або технологічних простоїв. Розглянуто роботу транспортування смуг прокату, зібраних в пакет рольгангом що підводить, до ножиць холодного різання. Вага пакета смуг в залежності від їх довжини та кількості суттєво варіюється. Від цього залежить і гальмівний шлях пакету, що транспортується. Прорізка пакета ножицями холодного різання здійснюється під упор, тому пакет підводиться до них на повзучій швидкості. Чим довший шлях, тим більший витрачений час на різання, що знижує загальний темп прокатки. Розроблена система дозволяє при транспортуванні пакета рольгангом до ножиць холодного різання для першого зачисного різу визначити параметри розгону та гальмування приводу роликів. У пакеті від початку до кінця можуть бути смуги різної довжини, що залежить від алгоритму розкрою. Тому шлях розгону та гальмування пакета для порізки на ножицях холодного різання може бути різним. Однак моменти інерції пакета та статичні моменти позначаються однаково на процесах розгону та гальмування. Визначаючи час і шлях розгону, можна визначити і шлях гальмування. Відношення шляху розгону до шляху гальмування, отримане для зачисного різу, використовується для визначення часу гальмування для наступного різання. При кожному включенні рольгангу це відношення

© Видавець Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, 2024



Ця стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

уточнюється. Проведене імітаційне моделювання роботи системи показало, що таким чином можна точно встановлювати пакет перед упором ножиць та знизити шлях переміщення пачки штанг на повзучій швидкості практично до нуля, і тим самим підвищити продуктивність цієї ділянки.

**Ключові слова:** стан, оптимізація, розкат, технологічні простои, рольганг, моделювання.

**Посилання для цитування:** Єгоров О. П., Рибальченко М. О., Маначин І. О., Михайловський М. В. Оптимізація режиму роботи вихідної сторони дрібносортих станів. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. Вип. 38. С. 370-384. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-370-384>.

**Мета роботи:** провести імітаційне моделювання роботи системи транспортування пакета до ножиць холодного різання.

#### **Основні результати дослідження.**

Сортовий прокат виробляється з вуглецевих, конструкційних та низьколегованих марок сталей усіх ступенів розкислення.

Більшість дрібносортих станів спеціалізуються на виробництві наступного виду сортового прокату:

- сталь кругла діаметром  $8\div 30$  мм,
- сталь квадратна зі стороною  $8\div 27$  мм,
- сталь смугова  $12\div 70$  мм завтовшки  $2\div 10$  мм,
- сталь арматурна №№  $10\div 28$ ,
- кутова сталь №№  $2.5\div 4$ .

Підготовлені для прокатки заготовки поплавно укладаються пратцен-кранами на завантажувальні решітки, звідки за допомогою перекладачів поштучно передаються на рольганг, що підводить. Придатні заготовки транспортуються до нагрівальної печі.

Нагрівання заготовок проводиться в методичній печі до температури  $1200-1250$  °С. Видачу заготовок з печі на стіл здійснюють за допомогою виштовхувача та витягувача.

Видані заготовки проходять через ножиці, на яких у разі потреби обрізають передній кінець або заготовку ділять на частини, а потім подають до першої кліті стану.

Прокатку на стані ведуть у чорновій та чистовій групах клітей. Швидкісний режим прокатки в чорновій групі клітей вибирається для прокатки з мінімальним натягом, в чистовій групі - вільна прокатка. Як в одному так і в іншому випадку заданий швидкісний режим прокатки підтримується за допомогою систем автоматичного керування.

Після чистових клітей при прокатуванні всіх профілів, крім фасонних, розкат ріжуть на барабанних ножицях на довжини, що відповідають умовам подачі смуг на холодильники (рис. 1).



Рисунок 1 – Холодильник

Схема розташування обладнання на вихідному боці БДС зображена на рис. 2.

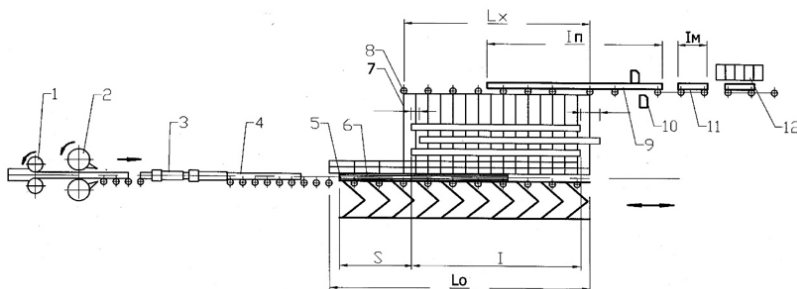


Рисунок 2 – Схема розташування обладнання на вихідному боці БДС

Розкат, що виходить з останньої чистової кліті 1, летючими ножицями 2 розрізається на смуги. Відрізані смуги рольгангом 4 поштучно транспортуються на холодильник 7. При необхідності здійснюється інтенсивне охолодження і зміцнення прокату в термоустановці 3. Прийом, поділ і гальмування смуг здійснюється клапаном 7. Зупинені смуги передаються на рейкове поле холодильника, де системою рухомих та нерухомих рейок переміщуються у поперечному напрямку, одночасно охолоджуючись на повітрі.

Охолоджені смуги збираються в пакети 9 і рольгангом 8 подаються до ножиць холодного різання 10, де розрізаються на пачки товарних прутків мірної довжини.

Холодильник (рис. 3) в загальному випадку складається з рольгангу, що підводить, власне холодильника, системи рухомих і нерухомих рейок і рольганга, що відводить. При кожному ході рухомих рейок

охладжувани смуги переміщуються на 100-200 мм. Рухливі крокуючі рейки здійснюють зворотно-поступальний рух за допомогою ексцентрикових механізмів. Між роликami рольганга, що підводить, розташовані клапани, що здійснюють підйом і опускання прокату за допомогою вертикальних тяг, з'єднаних з важільним шатунно-кривошипним механізмом, що наводиться електродвигуном.

На холодильнику смуги охолоджуються до 80-100 °С, збираються в пачки (10-20 смуг) і перекладаються на рольганг, що відводить, що веде до ножиць або пил.

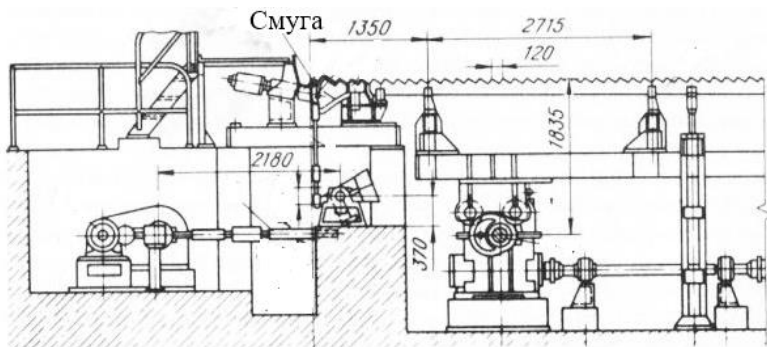


Рисунок 3 – Холодильник

Залежно від алгоритму розкрою довжина штанг, що охолоджуються на холодильнику, може відрізнятися одна від одної. Це призводить до розкидання положення передніх торців після гальмування. Проблема вирішується встановленням між рейок холодильника рольгангу для торцювання передніх торців штанг.

При прокатці арматурних профілів, термозміцнених в установках прискореного охолодження, гальмівний шлях штанг збільшується через зменшення значення коефіцієнта тертя арматури в жолобі рольгангу. Це змушує прокатувати арматурні профілі зі зниженою швидкістю.

В [1] пропонується в рихтувальний жолоб встановити гальмівні електромагніти із системою гальмування, що регулюється, для вирівнювання передніх торців штанг.

Це дозволяє не знижувати швидкість прокатки, оскільки крім зменшення довжини гальмівного шляху попередньо здійснюється торцювання штанг.

В [3] докладно описана ця система, тому у статті її робота не розглядається.

Канатний шлепер (рис. 4) складається з 6-8 канатів, розташованих між приводними барабанами та натяжними блоками.

Після холодильника шлепером штанги передаються на рейковий настил, де формується пакет для порізки на ножицях холодного різання.

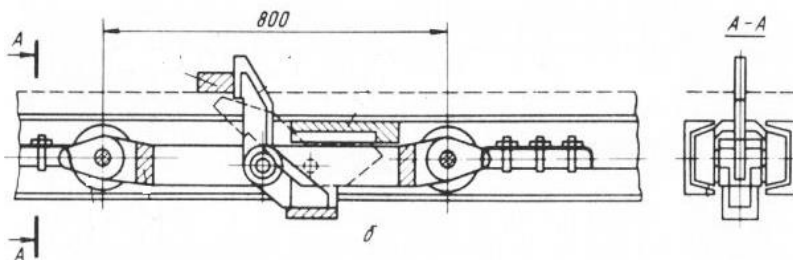


Рисунок 4 – Шлепер

На ділянці стаціонарних ножиць холодного різання завершуються всі операції, що передують отриманню готового прокату. Пропускна спроможність цієї ділянки та якість готової продукції визначаються тривалістю окремих операцій, можливостями обладнання, режимами його роботи, а також рівнем автоматизації.

Конструктивно рольганги дрібносортних станів на різних ділянках однакові та відрізняються лише характером приводу, способом кріплення роликів та технічними характеристиками: швидкістю, несучою здатністю та габаритами. Рольганги мають індивідуальний привід роликів. На рис. 5 наведено типову конструкцію механічної системи приводного ролика рольганга дрібносортного стану.

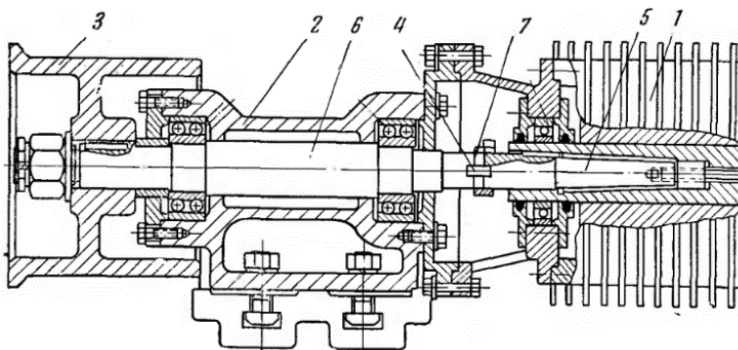


Рисунок 5 – Типова конструкція приводного ролика рольгангу дрібносортного стану

Асинхронний електродвигун 1 прикріплений консольно болтами до кронштейна 2, встановленому на станині. Обертання ролика 3 передається через текстолітовий елемент 4, який вставлений у пази

валів 5 і 6 електродвигуна та ролика відповідно.

Потужність електродвигуна – 2 кВт. Робоча частота обертання – 430 об/хв. Діаметр роликів – 250 мм. Усі двигуни живляться від перетворювача частоти.

Для розрізання холодного прокату найбільшого поширення набули ексцентрикові ножиці зі скошеним рухомих верхнім ножем та горизонтальним нерухомих нижнім.

Загальний вигляд ножиць наведено на рис. 6.

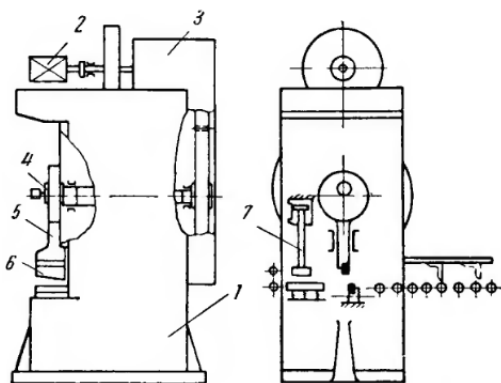


Рисунок 6 – Загальний вигляд ексцентрикових стаціонарних ножиць.  
Умовні позначення:  
1 – станина;  
2 – електродвигун;  
3 – редуктор;  
4 – ексцентриковий вал;  
5 – повзун;  
6 – верхній ніж;  
7 – пневматичний притиск

На дрібносортовному стані ножиці призначені для різання прокату на мірні довжини і характеризуються такими параметрами:

- максимальна міцність холодного металу, що піддається різанню, не більше  $140 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2$ ,
- максимальна сумарна площа перерізу, що розрізається,  $16000 \text{ мм}^2$  при міцності на зріз  $37.5 \text{ кг} \cdot \text{мм}^2$ ,
- ширина ножа 700мм,
- максимальне зусилля різання 600 т.

Ножиці обладнані пересувним упором (рис. 7) для фіксації мірної довжини при розрізанні прокату.

Упор змонтований на візку, який переміщається балкою, розташованою на естакаді вздовж відвідного рольгангу холодильника. Підйом і опускання упору 1 здійснюють за допомогою системи важелів від пневмоциліндра 2. Для пом'якшення удару кінців пакета об останній упор обладнаний пружинним буфером 3. Упор 4 опущеному стані фіксується кулачком 4, що наводиться в рух тим же пневмоциліндром 2. Це запобігає довільному удару по ньому пакету. Упор пересувається вздовж рольгангу за допомогою візка 5, обладнаного електродвигуном 6 з зубчатою черв'яково-циліндричною передачею 7.

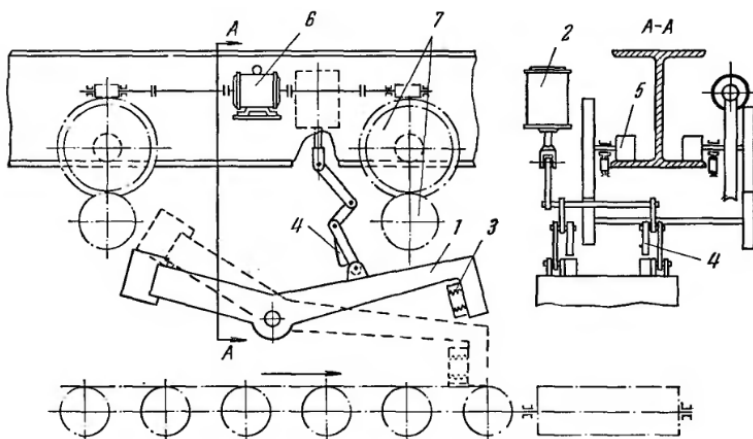


Рисунок 7 – Загальна схема пересувного упору за стаціонарними ножицями

За стаціонарними ножицями холодного різання розташований рольганг, що відводить, що транспортує пачки прутків до кишень. Вибір кишені, до якої транспортується пачка, здійснюють з урахуванням довжини прутків у пачці, запобігаючи змішуванню в кишенях пачок, що містять виключно мірні прутки, з пачками, що містять прутки різної довжини.

Нарізані прутки збирають у кишенях рольгангу, що відводить, зважують, ув'язують у пачки і подають електромостовим краном на склад готової продукції.

Всі ділянки стану пов'язані в єдиний технологічний комплекс і від роботи кожної ділянки залежить злагодженість і безперебійність роботи всього стану, якість і кількість продукції, що випускається.

Одним із важливих показників роботи стану є темп прокатки. Забезпечення максимально можливого темпу прокатки знижує собівартість готової продукції за рахунок, наприклад, зменшення енерговитрат при зниженні темпу або технологічних простоїв.

Розглянемо роботу транспортування смуг прокату, зібраних в пакет рольгангом, що підводить, до ножиць холодного різання. Вага пакета смуг в залежності від їх довжини та кількості може суттєво коливатися. Від цього залежить і гальмівний шлях цього пакету. Прорізка пакета ножицями холодного різання здійснюється під упор, тому пакет підводиться на повзучій швидкості. Чим довший шлях, тим природніше і більший витрачений час на різання, що знижує загальний темп прокатки.

Розглянута система автоматичного управління забезпечує зниження швидкості пакету, що транспортується, до повзучої, незалежно від ваги

пакета до певної відстані до упору.

Розглянемо принцип роботи системи управління транспортування пакета до ножиць холодного різання для його різання.

Визначимо роботу приводу рольгангу в режимах пуску, транспортування та гальмування прокату.

Рольганги, що підводять пакет для порізу, повинні забезпечити максимальне прискорення, тобто скорочення часу пауз, щоб отримати максимальну продуктивність.

Момент та потужність приводу роликів рольгангу визначають з урахуванням чотирьох складових: моменту холостого ходу  $M_x$ , моменту на подолання тертя в підшипниках  $M_{тр}$ , моменту тертя роликів по пакету (момент пробуксування)  $M_б$  та динамічного моменту при розгоні або гальмуванні  $M_d$

$$M_{дв} = M_x + M_{тр} + M_б \pm M_d \quad (1)$$

Кожен із складових визначається з таких міркувань.

Навантаження на один ролик обернено пропорційне числу роликів, які одночасно стикаються з металом, що транспортується. Для більшої надійності роботи рольганга щодо крутих моментів вибирають варіант найбільшого навантаження на ролик. З достатньою для практики точністю вважатимуться, що в наслідок того, що при подовженому пакеті деяка кількість роликів безпосередньо не стикається з ним через його деформацію припускають, що тільки 70% загальної кількості роликів знаходяться в контакті. Це припущення використовується для оцінки похибки виконаних розрахунків.

$$M_{тр} = (Q_M + G_p) \mu_{пр} \frac{d_{ц}}{2} \quad (2)$$

$$M_б = Q_M \mu_{бр} \frac{D_p}{2} \quad (3)$$

$$M_d = \frac{1}{4} (m_p D_p^2 + J_{рд} + m_{пак} D_p^2) \frac{d\omega}{dt}$$

де  $Q_M$  - вага металу, що транспортується (при індивідуальному приводі кожного ролика від окремого електродвигуна);  $G_p$  - вага ролика;  $d_{ц}$  - діаметр цапфи підшипника в опорах ролика;  $\mu_{пр}$  - коефіцієнт тертя в підшипниках ролика (для роликів підшипників  $\mu_{пр} = 0,005-0,008$ );  $\mu_{бр}$  - коефіцієнт тертя ролика при буксуванні (0,3 по гарячому металу та 0,15-0,2 по холодному);  $D_p$  - діаметр бочки ролика;  $J$  - момент інерції ротору двигуна;  $m_p$  - маса ролика;  $m_{пак}$  - маса пакету, що транспортується;  $\omega$  - кутова швидкість обертання ролика.



При прискоренні обертання роликів рольгангу метал, що знаходиться на них, рухається із прискоренням поступально. Для наведення моменту інерції поступово рухомого металу до осі обертання ролика вважатимемо, що маса металу прикладена до точки (по дотичній) по колу ролика.

Для того, щоб змусити метал рухатися по роликах рольгангу з прискоренням, ролики повинні подолати силу інерції металу, що дорівнює

$$J_M = m_M a, \quad (4)$$

де  $a$  – прискорення пакету.

Але при русі металу по роликах сила інерції не може бути більше сили тертя між роликом і металом, що дорівнює

$$F_{\text{тр}} = \mu_{\text{пр}} Q_{\text{пак}} = \mu_{\text{пр}} m_{\text{пак}} g \quad (5)$$

$$J_{\text{пак}} = a m_{\text{пак}} < F_{\text{тр}} \quad (6)$$

Звідки прискорення пакета не може бути більшим за добуток коефіцієнта тертя ролика по металу на прискорення сили тяжіння

$$a = 0.15 \cdot 9.8 = 1.47 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Принцип роботи системи заснований на наступних процесах переміщення пакета на задану відстань  $S_{\text{зад}}$ .

$$S_{\text{п}} = -S_{\text{т}} + L_{\text{зад}}, \quad (7)$$

де  $L_{\text{зад}}$ ,  $S_{\text{т}}$  – задана довжина штанги, переміщення пакета при гальмуванні,  $S_{\text{п}}$  – переміщення пакету до включення режиму гальмування.

У пакеті від початку до кінця можуть бути смуги різної довжини, що залежить від алгоритму розкрою. Тому шлях розгону та гальмування пакета для порізки на ножицях холодного різання може бути різним. Однак момент інерції пакета позначається однаково на процесі розгону та гальмування. Визначаючи час і шлях розгону, можна визначити і шлях гальмування.

Якщо при розгоні досягається, наприклад, швидкість переміщення  $V_1$  тоді

$$V_1 = a_p \cdot t_p \quad (8)$$

$$V_1 = a_r \cdot t_r \quad (9)$$

де  $a_p$  и  $a_r$ ,  $t_p$  и  $t_r$  – прискорення при розгоні та гальмуванні, і відповідні

тривалості фаз. Звідси позначимо

$$\beta = \frac{a_p}{a_r} = \frac{t_r}{t_p} \quad (10)$$

де  $\beta$  - параметр, що характеризує відношення прискорень при переміщенні пакета.

У свою чергу відношення переміщень пакету виражається так

$$\frac{S_p}{S_r} = \frac{\frac{1}{2} a_p \cdot t_p^2}{\frac{1}{2} a_r \cdot t_r^2} = \frac{a_p \cdot t_p \cdot t_p}{a_r \cdot t_r \cdot t_r} = \frac{V_1 \cdot t_p}{V_1 \cdot t_r} = \frac{1}{\beta} \quad (11)$$

$$S_r = S_p \cdot \beta \quad (12)$$

Таким чином, включення приводу роликів на гальмування відбувається при переміщенні смуги на відстань  $S_{пер}$

$$S_{пер} = S_{зад} - S_r = S_{зад} - S_p \cdot \beta. \quad (13)$$

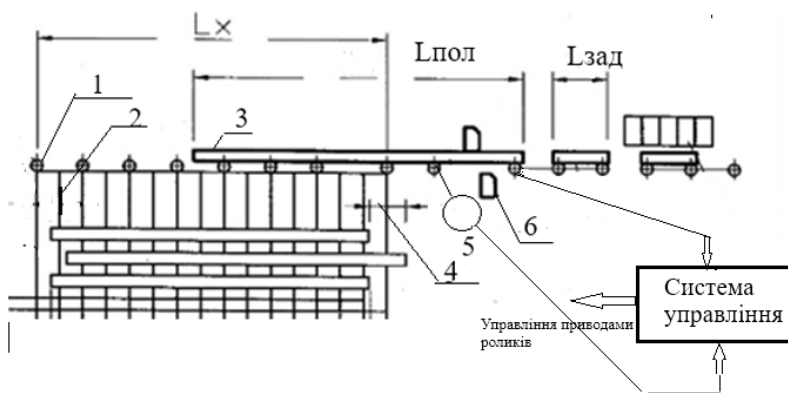


Рисунок 8 – Обладнання для автоматизованого різання пакету на штанги. Умовні позначення: 1-привідний ролик з датчиком струму, 2- шлепер, 3- смуга, 4- ділянка смуги, що припадає на один ролик, 5- датчик пересування смуги, 6- ножиці холодного різання.

Переміщення пакета контролюється кутом повороту холостого магнітного ролика, момент початку розгону та гальмування пакета - по зміні струму живлення двигуна.

При першому переміщенні пакета, коли відрізається передня частина з розкиданим положення торців смуг, оператор підводить пакет до упору в ручному режимі. Вимірюється час розгону та гальмування роликів. Визначається коефіцієнт  $\beta$ . Для наступних різів момент

початку гальмування визначається відповідно до виразів (12), (13).

Розглянемо роботу системи шляхом її математичного моделювання та розрахунків її в пакеті Mathcad.

Для моделювання визначимо наступні входні параметри працюючого обладнання.

Таблиця 1 – Технічні дані електричного двигуна ролика транспортера

Параметр	Величина
Модель	АРМ 53-10
Тип електродвигуна	Асинхронний, трьох фазний
Номінальна потужність, кВт	2
Частота обертання об./ хв.	600
Номінальна частота обертання об./ хв.	530
Початковий пусковий струм А	20
Початковий пусковий момент $M_{\text{пуск}}$ , Н·м	96
Момент інерції ротора $J_r$	$0.76 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$

#### Розрахунок розгону та гальмування пакета

Довжина смуг	$l_c = 130 \text{ м}$
Кількість роликів рольганга перед ножицями холодного різання	$N_r = 72$
Відстань між осями роликів	$l_r/N_r = 1.8 \text{ м}$
Вага погонного метра арматури 14	$Q_p = 12.1 \text{ Н}$
Кількість смуг у пачці $n_s$	5-12
Вага смуг на один ролик	$Q_{cr_{ns}} = Q_p \cdot n \cdot l_r \cdot H$
Діаметр ролика	$D_r = 0.25 \text{ м}$
Швидкість переміщення пачки смуг	$V_c = 2 \text{ м/с}$
Вага ролика $Q_r$	2000 Н
Діаметр шийки ролика	$D_{shr} = 0.12 \text{ м}$
Момент інерції смуги	$J_{cr_{ns}} = Q_{cr_{ns}} \frac{D_{shr}^2}{4 \cdot 9.8} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$
Момент інерції на валу ротора	$J_{ds_{ns}} = (J_r + J_{cr_{ns}}) \cdot 10 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$
Динамічний момент	
$M_{d_{ns}} = 96 \div 105 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$M_{d_{ns}} = J_{ds_{ns}} \cdot \omega \text{ Н} \cdot \text{м}$
Середній пусковий момент	$M_{pp} = 9.55 \cdot P_{dv} \cdot 1000/60$
	$M_{pp} = 318.333 \text{ Н} \cdot \text{м}$
Статичний момент	
$M_{st_{ns}} = 263.61 \div 282.67 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$M_{st_{ns}} = (Q_r + Q_{cr_{ns}}) \cdot D_r / 2$
Час розгону	$t_{ns} = M_{d_{ns}} / (M_{pp} - M_{st_{ns}}) \text{ с}$

Час гальмування

$$tt_{ns} = \frac{Md_{ns} \cdot Kt}{(-Mpp + Mst_{ns})}$$

Прискорення при розгоні та гальмуванні

$$a_{ns} = Vc / t_{ns}$$

$$a_{ns} = 1.14 \div 0.68 \text{ м/с}^2$$

$$at_{ns} = -Vc / tt_{ns} \text{ м/с}^2$$

$$at_{ns} = -1.39 \div -0.83 \text{ м/с}^2$$

$$Lr_{ns} = 1.75 \div 2.9 \text{ м}$$

$$Lr_{ns} = a_{ns} \frac{t_{ns}^2}{2}$$

$$Lr_{ns} = 1.44 \div 2.4 \text{ м}$$

Шлях при розгоні та гальмуванні пакета смуг

$$Lt_{ns} = -at_{ns} \frac{tt_{ns}^2}{2}$$

Коефіцієнт відношення шляху пакета при розгоні та гальмуванні

$$K_{ns} = Lr_{ns} / Lt_{ns}$$

$$K_{ns} = 1.22$$

Графіки часу розгону та гальмуванні при зміні кількості штанг у пачці представлено на рис. 9.

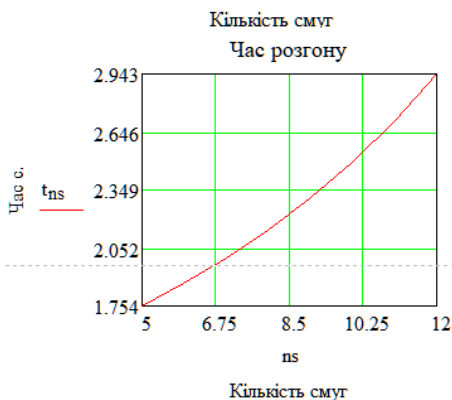
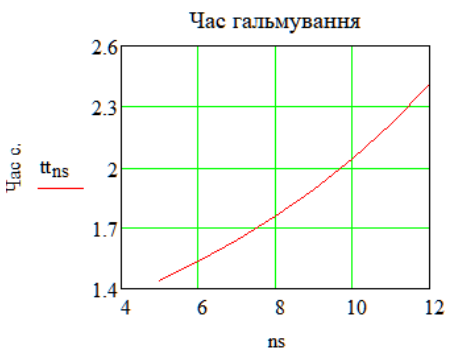


Рисунок 9 – Час розгону та гальмування пакета смуг

Таким чином коефіцієнт відношення шляху пакета при розгоні та гальмуванні, який є незмінним при конкретному налаштуванні приводу валків рольгангу, можливо враховувати при розрахунках шляху гальмування при зміні кількості смуг в пакеті, або профілю смуг.

### **Висновки**

Розроблена система дозволяє при транспортуванні пакета рольгангом до ножиць холодного різання для першого зачисного різу визначити параметри розгону та гальмування приводу роликів. Проведене імітаційне моделювання роботи системи показало, що таким чином можна точно встановлювати пакет перед упором ножиць та знизити шлях переміщення пачки штанг на повзучій швидкості практично до нуля, і тим самим підвищити продуктивність цієї ділянки.

### **Перелік посилань**

1. Авторское свидетельство. SU1109207, МКИ В21. Устройство управления перемещением пакета полос мелкосортного проката при порезке на стационарных ножницах / В. И. Стахно, В. С. Егоров, А. С. Филатов, А. П. Егоров, О. Е. Потап, В. К. Хотулев, Г. С. Диниц. №1109207; Заявлено 13.07.1983; Оpubл. 23.08.1984, Бюл. №31.
2. Авторское свидетельство. SU1109207, МКИ В21. Устройство управления перемещением пакета полос мелкосортного проката при порезке на стационарных ножницах / В.И. Стахно, В. С. Егоров, А. С. Филатов, А. П. Егоров, О. Е. Потап, В. К. Хотулев, Г. С. Диниц. №1109207; Заявлено 13.07.1983; Оpubл. 23.08.1984, Бюл. №31.
3. Автоматизация технологических процессов на мелкосортных прокатных станах // А. А. Бешта, В. Н. Куваев, О. Е. Потап и др. Днепропетровск : Изд-во НГУ, 2014. 333с.
4. Куваев В. М. Развитие научных основ автоматизации процессов производства арматурного проката. – Рукопис. Дисертація на здобуття ученого ступеня доктори технічних наук за фахом 05.13.07 – Автоматизація технологічних процесів. Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2007.

### **References**

1. Stakhno, V. Y., Egorov, V. S., Filatov, A. S., Egorov, A. P., Potap, O. E., Khotulev, V. K., & Dynyts, G. S. (1984). Author's testimony. SU1109207, MKI B21. Device for controlling the movement of a package of small-grade rolled strips when cutting on stationary shears. No. 1109207; Proclaimed on July 13, 1983; Publ. 08/23/1984, Bulletin No. 31
2. Stakhno, V. I., Egorov, V. S., Filatov, A. S., Egorov, A. P., Potap, O. E., Khotulev, V. K., & Dinitz G. S. (1984). Author's certificate. SU1109207, MKI B21. Device for controlling the movement of a package of small-section rolled metal strips during cutting on stationary shears. No. 1109207; Declared 13.07.1983; Published 23.08.1984, Bulletin No. 31
3. Beshta, A. A., Kuvaev, V. N., Potap, O. E. et al. (2014). *Automation of*

*technological processes on small-grade rolling mills. NSU Publishing House*

4. Kuvaev, V. M. (2007). *Development of the scientific basis of automation of rebar production processes*. Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Technical Sciences by specialty 05.13.07 - Automation of technological processes. National Mining University, Dnipropetrovsk

**O. P. Yehorov**<sup>1</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-9867-0437

**M. O. Rybalchenko**<sup>1</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0001-5162-5201

**I. O. Manachyn**<sup>1,2</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0001-9795-6751

**M. V. Mikhailovskiy**<sup>1</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-9960-6189

<sup>1</sup> *Ukrainian State University of Science and Technology*

<sup>2</sup> *Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine*

### **OPTIMIZATION OF THE WORK MODE OF THE OUTPUT SIDE OF MINOR MILLS**

**Abstract.** Rolled products are produced from carbon, structural and low-alloy grades of steel. After rolling on the output side of the mill, the rolled stock, cut into bars, is cooled on a rack cooler, then collected in bundles, transported to the cold cutting shears. With scissors, it is cut into measuring or standard bars. The cut bars are collected in the pockets of the scissor conveyor belt, weighed, tied into bundles and fed to the warehouse of finished products by an electric overhead crane. One of the important indicators of the mill's operation is the rolling rate. Ensuring the maximum possible rolling speed, based on the operation of the technological equipment, reduces the cost of finished products due to, for example, a reduction in energy consumption when the speed is reduced or technological downtimes. The work of transporting rolled strips collected in a package by a conveyor belt to cold cutting shears is considered. The weight of a package of stripes varies significantly depending on their length and number. The braking distance of the transported package also depends on this. The cutting of the package with cold cutting scissors is carried out under a stop, so the package is brought to them at a crawling speed. The longer the path, the greater the time spent cutting, which reduces the overall rolling rate. The developed system makes it possible to determine the acceleration and deceleration parameters of the roller drive during the transport of the package by the roller conveyor to the cold cutting shears for the first cleaning cut. The package can have strips of different lengths from start to finish, depending on the cutting algorithm. Therefore, the path of acceleration and deceleration of the package for cutting on cold cutting shears can be different. However, package moments of inertia and static moments affect the acceleration and deceleration processes equally. Determining the acceleration time and path, you can also determine the deceleration path. The ratio of the acceleration path to the deceleration path obtained for the cleaning cut is used to determine the deceleration time for the next cut. Each time the roller conveyor is turned on, this ratio is refined. The conducted simulation modeling of the system operation showed that in this way it is possible to accurately set the package in front of the stop of the scissors and reduce the path of movement of the bundle of rods at crawling speed to almost zero, and thereby increase the productivity of this section.

**Key words:** mill, optimization, rollout, technological downtime, conveyor belt, modeling.

**For citation:** Yehorov, O. P., Rybalchenko, M. O., Manachyn, I. O., Mikhailovskyi, M. V. (2024). Optimization of the work mode of the output side of minor mills. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 38, 370-384. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-370-384>

*Стаття надійшла до редакції збірника 05.10.2024 р.*  
*Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 12 від 19.12.2024 р.)*