

УДК 621.965.01

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.4>

О.М. ГРЕЧАНИЙ

Запорізький національний університет  
ORCID: 0000-0003-0524-4998

Т.О. ВАСИЛЬЧЕНКО

Запорізький національний університет  
ORCID: 0000-0002-0340-3900

А.О. ВЛАСОВ

Запорізький національний університет  
ORCID: 0000-0003-3253-6435

М.О. КАРМАЗІН

ПАТ «Запоріжсталь», м. Запоріжжя

## АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ ПРОКАТНИХ ЦЕХІВ

*В роботі розглянуті гільйотинні ножиці, як один із основних елементів обладнання поточкових ліній прокатних цехів при обробці сортового прокату. При оптимальній конструкції ножиць, з точки зору зменшення зусилля різання варто звернути увагу на удосконалення технологічного процесу різання. Розглянуто три послідовні стадії різання сортового прокату на гільйотинних ножицях, які вказують на те, що «вминання», яке спостерігається наприкінці процесу різання, дорівнює максимальному зусиллю різання та визначається величиною максимального дотичного напруження при зрушенні матеріалу, що розрізається, і площею його поперечного перерізу. Встановлено вплив зміни початкової геометрії ножа на підвищення зусилля різання, яке може досягати до 24 %. Прийнято рахувати оптимальним кут нахилу ножа рівним 6 градусів, подальше збільшення кута нахилу не дає вагомого ефекту.*

*Детальний аналіз формули різання вказує, що значний вплив на зусилля різання має тимчасовий опір руйнування, регулювання якого можливе попередньою термічною обробкою заготовки або її підігріванням в процесі різання. З отриманих результатів моделювання впливу температури попереднього нагрівання заготовки на зусилля різання видно, що підігрів заготовки в деякому роді грає позитивну зміну у напрямку зниження зусилля різання. Більш детальний аналіз отриманих значень у вигляді візуального відображення залежності зусилля різання від температури нагрівання показує, що у всіх марок сталей в деякому діапазоні температур виникає загартування, тобто режим термообробки, який використовують для надання сталі найбільшої твердості. Для низьковуглецевих сталей він призводить до незначного збільшення зусилля різання, а для легованих сталей являється критичним показником росту максимального зусилля різання. У випадку з підігрівом заготовок з різних марок сталі має бути використаний індивідуальний підхід, для кожної окремо взятої марки сталі.*

*Ключові слова: прокатний стан, сортовий прокат, гільйотинні ножиці, кут нахилу ножа, зусилля різання.*

А.Н. ГРЕЧАНИЙ

Запорожский национальный университет  
ORCID: 0000-0003-0524-4998

Т.А. ВАСИЛЬЧЕНКО

Запорожский национальный университет  
ORCID: 0000-0002-0340-3900

А.А. ВЛАСОВ

Запорожский национальный университет  
ORCID: 0000-0003-3253-6435

М.А. КАРМАЗІН

ПАО «Запоріжсталь», г. Запоріжжя

## АНАЛІЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОТОКОВЫХ ЛИНИЙ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

*В работе рассмотрены гильотинные ножицы, как один из основных элементов оборудования поточковых линий прокатных цехов при обработке сортового проката. При оптимальной конструкции ножицы, с точки зрения уменьшения усилия резания стоит обратить внимание на совершенствование технологического процесса резания. Рассмотрены три последовательные стадии резания сортового проката на гильотинных ножицах, которые указывают на то, что «вмятие», которое наблюдается в конце процесса резания, равно максимальному усилию резания и определяется величиной максимального*

касательного напряжения при сдвиге разрезаемого материала, и площади его поперечного сечения. Установлено влияние изменения начальной геометрии ножа на повышение усилия резания, которое может достигать до 24%. Принято считать оптимальным угол наклона ножа равным 6 градусам, дальнейшее увеличение угла наклона не дает весомого эффекта.

Детальный анализ формулы резания указывает, что значительное влияние на усилие резания имеет временное сопротивление разрушению, регулирование которого возможно предварительной термической обработкой заготовки или ее подогревом в процессе резания. Из полученных результатов моделирования влияния температуры предварительного нагрева заготовки на усилие резания видно, что подогрев заготовки в некотором роде играет позитивное изменение в направлении снижения усилия резания. Более детальный анализ полученных значений в виде визуального отображения зависимости усилия резания от температуры нагрева показывает, что для всех марок сталей в некотором диапазоне температур возникает закалка, то есть режим термообработки, который используют для придания стали наибольшей жесткости. Для низкоуглеродистых сталей он приводит к незначительному увеличению усилия резания, а для легированных сталей является критическим показателем роста максимального усилия резания. В случае с подогревом заготовок из различных марок стали должен быть использован индивидуальный подход, для каждой отдельно взятой марки стали.

Ключевые слова: прокатный стан, сортовой прокат, гильотинные ножницы, угол наклона ножа, усилие резания.

O.M. HRECHANYI

Zaporizhzhia National University

ORCID: 0000-0003-0524-4998

T.O. VASILCHENKO

Zaporizhzhia National University

ORCID: 0000-0002-0340-3900

A.O. VLASOV

Zaporizhzhia National University

ORCID: 0000-0003-3253-6435

M.O. KARMAZIN

PJSC "Zaporizhstal", Zaporizhzhia

## ANALYSIS OF POSSIBLE WAYS TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF THE EQUIPMENT PRODUCTION LINE OF ROLLING SHOPS

*The article considers guillotine scissors as one of the main elements of the equipment of production lines of rolling shops in the processing of rolled steels. With the optimal design of the scissors, from the point of view of reducing the cutting force, it is worth paying attention to the improvement of the cutting process. Three successive stages of bar cutting on guillotine shears are considered, which indicate that the "indentation" that is observed at the end of the cutting process is equal to the maximum cutting force and is determined by the value of the maximum shear stress during shear of the cut material and its cross-sectional area. The influence of the change in the initial geometry of the knife on the increase in the cutting force has been established and can reach up to 24%. Inclination of the knife equal to 6 degrees is considered as the optimal angle, further increase in the angle of inclination does not give a significant effect.*

*A detailed analysis of the cutting formula indicates that the temporary fracture resistance has a significant effect on the cutting force, the regulation of which is possible by preliminary heat treatment of the workpiece or its heating during cutting. From the obtained results of modeling the influence of the preheating temperature of the workpiece on the cutting force, heating the workpiece in some way plays a positive change in the direction of reducing the cutting force. A more detailed analysis of the obtained values in the form of a visual display of the dependence of the cutting force on the heating temperature shows that hardening occurs for all steel grades in a certain temperature range, that is the heat treatment mode that is used to impart the greatest rigidity to the steel. For low carbon steels, it leads to a slight increase in the cutting force, and for alloy steels it is a critical indicator of the increase in the maximum cutting force. In the case of heating billets from different steel grades, an individual approach should be used for each individual steel grade.*

*Keywords: rolling mill, rolled steel, guillotine scissors, knife tilt angle, cutting force.*

### Постановка проблеми

У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються по потоковому і безперервному принципам. З огляду на його комплексну механізацію обладнання прокатних цехів є вельми складним і різноманітним за призначенням та конструкціям. У поточкові технологічні робочі лінії вбудовується різноманітне основне та допоміжне обладнання (ножиці, моталки, кантувачі, маніпулятори, штовхачі,

транспортери та ін.). Робота ножиць в поточній лінії технологічного циклу в значній мірі визначає роботу всього прокатного стану [1].

Завдяки своїм беззаперечним перевагам, таким як точність різання з мінімальним деформуванням розрізаємого матеріалу, ножиці гільйотинного типу знайшли широку сферу застосування як обробні пристрої для різання металу в рулонах, листах і штабах, а також сортового прокату у поздовжньому й поперечному напрямках. Їх також використовують при виробництві труб, вентиляції, куточків і інших металевих виробів [2].

Час на різання однієї партії дорівнює добутку суми машинного (основного часу виконання технологічної операції) і допоміжного часу (підготовчих операцій, часу затрачуваного на особисті потреби й т.п.) на коефіцієнт перекриття машинного часу [3]. Отже збільшення виконання роботи за незмінну одиницю машинного часу дозволить добитися значного економічного ефекту.

При роботі на гільйотинних ножицях розкрій заготовки виконують за один робочий хід незалежно від довжини різа [4]. Таким чином збільшення роботи необхідно розглядати в контексті одного різу, а саме розглянути фактори, що можуть впливати на поставлену задачу.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для різання сортового прокату, як правило, використовуються ножиці з похилими ножами. Відомо, що головними показниками, які визначають ефективність роботи сортових гільйотинних ножиць в цілому, є кількість одночасно розрізаємих прутків, рівний торець відрізаємої частини, термін служби ножів, безвідмовна робота механізмів. Основними параметрами ножиць є сила різання, хід і довжина ножів, число ходів за хвилину [5].

За умови модернізації існуючих ножиць таким фактором як довжина ножів, дуже важко варіювати, бо її змінення тягне за собою кардинальну, коштовну зміну конструкції ножиць в цілому, що із практики не оправдує себе.

З точки зору реконструкції механічної складової ножиць зміна ходу ножів є більш перспективною та її значно легше організувати по відношенню до існуючої конструкції. З технологічної точки зору найпростіше в умовах діючого виробництва виконати збільшення сили різання та збільшення ходів за хвилину, але таке раціоналізаторське рішення потребує значних капіталовкладень в модернізацію електроприводу гільйотинних ножиць [6].

Таким чином дослідження шляхів по зменшенню технологічних зусиль різання є одним із актуальних завдань.

#### Формулювання мети дослідження

Об'єкт прийнято рахувати роботоздатним, якщо його основні параметри відповідають встановленим нормам та він нормально функціонує [7]. Один із шляхів зниження витрат на ТОiP пов'язаний зі збільшенням міжремонтного періоду (експлуатаційного циклу) за рахунок використання резерву у вигляді періоду розвитку несправності або дефекту до критичного значення [8]. Основним технологічним навантаженням на вузли гільйотинних ножиць являється сила різання. Задачею роботи є аналіз можливості збільшення площі поперечного перерізу круглого прокату, що розрізається на гільйотинних ножицях, без збільшення зусилля різання. Поставлена задача вирішується детальним аналізом формули різання.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Процес різання матеріалів на гільйотинних ножицях складається із трьох послідовних стадій:

- пружної;
- пластичної;
- руйнування (сколювання).

У стадії пружних деформацій напруження в матеріалі, що розрізається, не перевищують межі пружності; у стадії пластичної деформації напруження в матеріалі, викликані тиском ножів, більші межі плинності, але менші опору зрізу матеріалу, і, нарешті, у стадії руйнування напруження в матеріалі відповідають опору зрізання. Початок стадії руйнування, тобто відділення однієї частини матеріалу, що розрізається, від іншої, відповідає зануренню верхнього рухливого ножа на 0,2-0,5 товщини матеріалу, що розрізається [9].

Максимальне зусилля різання стадії, що спостерігаються наприкінці, «вминання» визначається величиною максимального дотичного напруження при зрушенні матеріалу, що розрізається, і площею його поперечного перерізу [10]:

$$P = \tau_{cp} S, H \quad (1)$$

де  $\tau_{cp}$  – середній опір різанню (зрушенню), розглядаючи процес різання металів можна прийняти, що  $\tau_{cp} = \sigma_b$ , тобто тимчасовому опору руйнуванню, для конкретної марки сталі;

$S$  – площа перетину розрізаємого матеріалу.

При різанні листового металу, згідно Корольова [11], на ножицях з одним похилим ножом опір різанню робить не вся площа перетину листа, а тільки де-яка невелика частина у вигляді трикутника. Очевидно, що завдяки нахилу ножа зусилля різання значно зменшується [6].

При зануренні ножа в метал процес різання (зрушення) відбувається не по всьому перетину трикутника, а тільки по частині його у вигляді трапеції, це пов'язано з тим, що у вершини трикутника настає відрив (сколювання) металу [6].

Таким чином, площа трапеції, що робить опір різанню, дорівнює площі перетину розрізаємого матеріалу з (1) та розраховується як:

$$S = \frac{2 - e_H}{2 \operatorname{tg} \alpha} e_H h^2, \quad (2)$$

де  $e_H$  – коефіцієнт надрізу, дорівнює відношенню глибини впровадження ножів наприкінці різання до вихідної висоти перетину металу;  
 $h$  – висота металу, що розрізається;  
 $\alpha$  – кут нахилу ножа.

З часом роботи виникає деформація ножів та їхнє притуплення – це явище варто враховувати введенням коефіцієнтів, що компенсують ці недоліки при подальших розрахунках, після чого формула (1) прийме вигляд:

$$P = k_1 k_2 k_3 \frac{2 - e_H}{2 \operatorname{tg} \alpha} e_H h^2 \sigma_B, \quad (3)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу, приймається в діапазоні  $k_1 = 0,6 \div 0,75$  для «м'яких» та «твердих» матеріалів відповідно [12];  
 $k_2 = 1,2 \div 1,3$  – коефіцієнт, що враховує підвищення зусилля при притупленні ножів [12];  
 $k_3 = 1,1 \div 1,2$  – коефіцієнт, що враховує підвищення зусилля при збільшенні бічного зазору між ножами при тривалому їхньому використанні [12]. В зв'язку з тим, що в процесі різання верхній гільйотинний ніж відгинає частину прокату, що відрізається зверху вниз, то для здійснення роботи вигину потрібне додаткове зусилля. Це зусилля, згідно рекомендацій [12] варто враховувати, приймаючи трохи підвищене значення коефіцієнта  $k_3$  у межах  $k_3 = 1,4 \div 1,6$ .

З попереднього аналізу формули (3) можна зробити висновок, що зі збільшенням кута нахилу ножа зусилля різання зменшується, але моделюванням процесу різання в роботі [6] продемонстровано, що збільшення кута більше  $6^\circ$  не дає вагомого результату, також при збільшенні кута нахилу ножа до  $12^\circ$  виникає виштовхування розрізаємого матеріалу ножами [13], тому з технологічних та конструктивних міркувань кут нахилу верхнього ножа має коливатися в діапазоні між  $2^\circ \div 6^\circ$ .

Аналіз добутку коефіцієнтів  $k_2$  та  $k_3$  вказує на те, що зміна початкової геометрії ножа, а саме їхнє притуплення та викривлення в процесі різання, викликає збільшення зусилля різання майже на 24 %.

При різанні сортового прокату (прямокутного, квадратного, круглого поперечного перерізу) доцільно використовувати ножі, що мають конструктивне виконання зі струмками, котрі мають форму поперечного перерізу розрізаємого прокату [12], тобто різання буде виконуватися по всій площі ріжучої кромки ножа, а не по трапеції, тому формула (3) прийме вигляд:

$$P = k_1 k_2 k_3 S \sigma_B, \quad (4)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу сортового прокату.

Тоді з формули (4) випливає, що при незмінній площі сортового прокату, окрім зміни геометрії ножа на зусилля різання значно впливає тимчасовий опір руйнуванню. З курсу матеріалознавства відомо, що різні режими термообробки сталей впливають на зміну тимчасового опору руйнуванню. Так наприклад, при режимі термічної обробки – відпалювання, вироби нагрівають вище критичних температур і повільно охолоджують, у результаті чого утворюється найбільш рівноважна структура. Призначення – зменшення твердості, зняття напружень, одержання рівноважної структури, поліпшення оброблюваності, усунення наклепу й забезпечення дифузійних процесів з метою найбільш повного вирівнювання хімічної неоднорідності. Нормалізація відрізняється від відпалювання тим, що вироби охолоджуються на повітрі; при цьому структура виходить більш дрібнозернистою. Нормалізація застосовується для виправлення структури перегріву сталі, зняття внутрішніх напружень, руйнування карбідної сітки, поліпшення оброблюваності конструкційних низьковуглецевих і низьколегованих сталей і як попередня операція для збільшення глибини прогартування вуглецевих інструментальних сталей [7].

Отже виникає необхідність встановлення впливу температури нагрівання заготовки на зусилля різання при різанні її на гільйотинних ножицях. Для цього скористаємося даними отриманими при імітації різання ножицями з різним кутом нахилу ножа, наведеними в роботі [6]:

– виконаємо моделювання для технологічного процесу одночасного розрізання 12 прутків  $\varnothing$  22 мм;

– кут нахилу гільйотинного ножа  $6^\circ$ ;

– максимальна одночасно розрізаєма площа  $S=727,2 \text{ мм}^2$ , при ході ножа 115 мм.

Для обґрунтування технологічної складової формули (4) прийняті наступні умовності:

– коефіцієнти на які впливає зміна геометрії ножа з часом роботи –  $\kappa_2=1,3$  та  $\kappa_3=1,6$

– для встановлення коефіцієнта  $\kappa_1$  марку сталі віднесено до «м'якої» якщо її тимчасовий опір руйнуванню при  $t=20^\circ\text{C}$  складає до  $\sigma_b=500 \text{ Н/мм}^2$  при його значеннях  $500 \text{ Н/мм}^2$  і більше марку сталі віднесено до «твердої»;

– значеннями тимчасового опору руйнування для різних марок сталей взято з джерела [15].

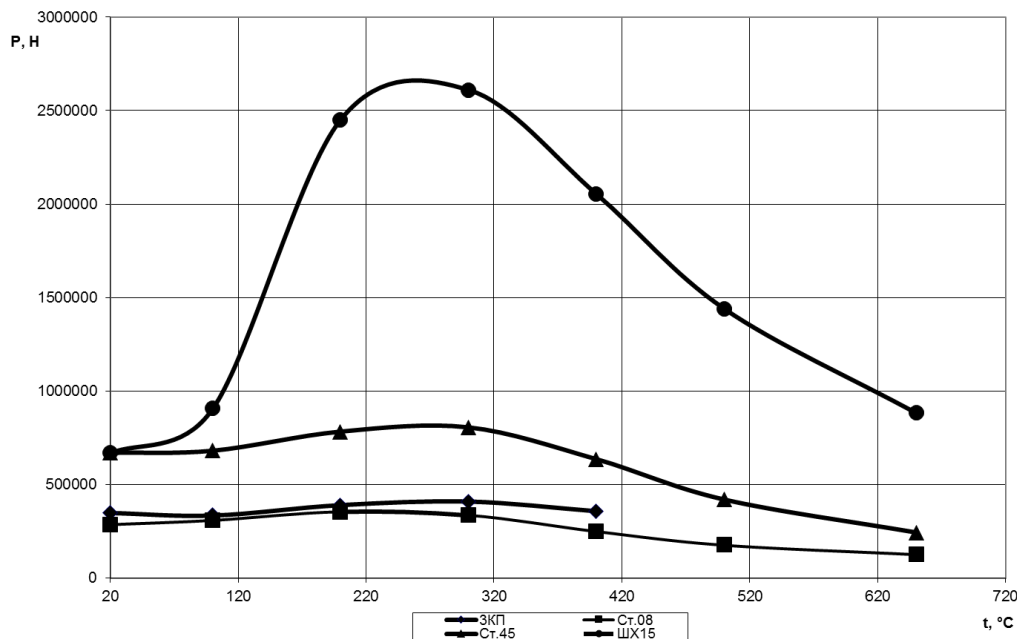
Результати виконаних розрахунків за прийнятих умовностей та формулою (4) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Результати розрахунку впливу температури попереднього нагрівання заготовки на зусилля різання**

t, °C	Марка сталі та її показники							
	ЗКП		Ст.08		Ст.45		ШХ15	
	$\sigma_{вСтЗКП}$	P, Н	$\sigma_{вСт08}$	P, Н	$\sigma_{вСт45}$	P, Н	$\sigma_{вШХ15}$	P, Н
20	385	416662	315	340905	590	798152	590	798152,5
100	370	400429	340	367961	600	811680	800	1082241
200	430	465363	390	422073	690	933432	2160	2922050
300	450	487008	370	400429	710	960488	2300	3111442
400	395	427485	275	297616	560	757568	1810	2448569
500	-	-	195	211036	370	500536	1270	1718057
650	-	-	140	151513	215	290852	780	1055185

З отриманих результатів моделювання впливу температури попереднього нагрівання заготовки на зусилля різання (табл.1 та рис.1) видно, що підігрів заготовки в деякому роді грає позитивну зміну у напрямку зниження зусилля різання.



**Рис.1. Графік залежності зусилля різання від температури заготовки**

Більш детальний аналіз отриманих значень у вигляді візуального відображення залежності зусилля різання від температури нагрівання (рис.1) показує, що у всіх марок сталей в деякому діапазоні

температур виникає загартування, тобто режим термообробки, який використовують для надання сталі найбільшої твердості. І якщо для низьковуглецевих сталей він призводить до не значного збільшення зусилля різання, то у вуглецевих, а особливо у легованих сталей він призводить до значного, а іноді і критичного росту максимального зусилля різання.

#### Висновки

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що технічний стан ножів гільйотинних ножиць має значний вплив на максимальне зусилля різання і може призводити до його збільшення на 24 %. Для зменшення впливу цих негативних наслідків варто на підприємстві вести статистику виходу з ладу ножів, на основі якої можна розробити математичну модель своєчасної заміни ножів гільйотинних ножиць, а отже і зменшити споживання електроенергії, що позитивно позначиться на собівартості кінцевого продукту. Для зменшення максимального зусилля різання при різанні на ножицях з похилим ножом варто підігрівати ту заготовку, яка прокатана з низьковуглецевих сталей, так як затрати на підігрівання окупляться зменшенням зносу ножів та зменшенням енерговитрат на різання. Підігрівання легованих та високовуглецевих сталей, як правило не виправдовує себе з точки зору економії енергоносіїв, а в деяких випадках може навіть викликати їхню перевицену. Підсумовуючи все вищесказане можна стверджувати, що у випадку з підігрівом заготовок з різних марок сталі має бути використаний індивідуальний підхід, для кожної окремо взятої марки сталі.

#### Список використаної літератури

1. Лукашкин Н. Д., Кохан Л. С., Якушев А. М. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 456 с.
2. Имитационное моделирование гидроприводной системы управления летучими ножницами гильотинного типа / Е. А. Бурцева. *Вестник международного института рынка*. 2017. № 1. С. 146–153.
3. Общемашиностроительные нормативы времени на холодную штамповку, резку, высадку и обрезку. Вид. офіц. *Экономик.*, 1987. 4 с.
4. Справочник нормировщика / А. В. Ахумов. Л. : Машиностроение, 1987. 458 с.
5. Иванченко Ф. К., Гребеник В. М., Ширяев В. І. Розрахунки машин і механізмів прокатних цехів. Київ : Вища шк., 1994. 455 с.
6. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану. *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. 2017. Т. 38, № 2. С. 126–130.
7. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. : монографія / А. Я. Жук та ін. Запорожье : Издательство Запорожской государственной инженерной академии, 2008. 500 с.
8. Белодеденко С. В., Гречаний А. Н., Чеченев В. А. Планирование режимов технического обслуживания металлургического оборудования на основании моделей "отложенного ремонта". *Металургія*. 2018. № 1. С. 119–125.
9. Малов А. Н. Технология холодной штамповки. М. : Машиностроение, 1969. 568 с.
10. Жильцов А. П. Листопрокатное оборудование. : учебное пособие. Липецк : Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2016. 189 с.
11. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов, прокатных станов : Учебное пособие для вузов. М. : Металлургия, 1985. 376 с.
12. Машины и агрегаты металлургических заводов : Учебник для вузов / А. И. Целиков та ін. М. : Металлургия, 1988. Т. 3 : Машины и агрегаты для производства и отделки проката. 680 с.
13. Целиков А. И. Механизмы прокатных станов. Москва : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1946. 272 с.
14. Каменичный И. С. Краткий справочник технолога-термиста. Киев : Машгиз, 1963. 286 с.
15. Марочник сталей и сплавов. / В. Г. Сорокин та ін. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

#### References

1. Lukashkin N.D., Kohan L.S., Yakushev A.M. Konstruktsiya i raschet mashin i agregatov metallurgicheskikh zavodov. Moscwa: IKTs «Akademkniга», 2003.
2. Burtseva E.A., Ivanov D.V., Sandler I.L., Sultanov I.I. Imitatsionnoe modelirovanie gidroprivodnoy sistemy upravleniya letuchimi nozhnitsami gilotinnogo tipa. *Vestnik mezhdunarodnogo instituta ryinka.*, № 1, p. 146–153, 2017.
3. Obschemashinostroitelnyie normativyi vremeni na holodnuyu shtampovku, rezku, vyisadku i obrezku, 1987.
4. Ahumov A.V., Genkin B.M., Ivanov N.Yu., Ignatev L.V., Karpova N.I. Spravochnik normirovschika. Leningrad: Mashinostroenie, 1987.
5. Ivanchenko K., Hrebenyk V.M., Shyriaiev V.I. Rozrakhunky mashyn i mekhanizmiv prokatnykh tsekhiv. Kyiv: Vyscha shkola, 1994.

6. Hrechanyi O.M. Obruntuvannia vyboru tekhnichnykh parametriv hiliotynnykh nozhyts prokatnoho stanu. *Metallurhiia : naukovi pratsi Zaporizkoi derzhavnoi inzhenernoi akademii*, V. 38, № 2, p. 126–130, 2017.

7. Zhuk A.Ya., Malishev G.P., Zhelyabina N.K., Klevtsov O.M. *Tekhnicheskaya diagnostika. Kontrol i prognozirovanie*. Zaporozhe: Izdatelstvo Zaporozhskoy gosudarstvennoy inzhenernoy akademii, 2008.

8. Belodedenko S.V., Hrechanyi O.N., Chechenev V. A. *Planirovanie rezhimov tekhnicheskogo obsluzhivaniya metallurgicheskogo oborudovaniya na osnovanii modeley "otlozhennogo remonta"*. *Metallurgiya*, 1, p. 119–125, 2018.

9. Malov A. N. *Tehnologiya holodnoy shtampovki*. Moscwa. Mashinostroenie, 1969.

10. Zhiltsov A.P. *Listoprokatnoe oborudovanie*. Lipetsk: Izd-vo Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2016

11. Korolev A.A. *Konstruktsiya i raschet mashin i mehanizmov, prokatnykh stanov*. Moscwa: Metallurgiya, 1985.

12. Tselikov A.I., Poluhin P.I., Grebenik V.M., Ivanchenko F.K., Tyilkin M.A. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov.*, V.3, *Mashiny i agregaty dlya proizvodstva i odelki prokata*. Moscwa: Metallurgiya, 1988.

13. Tselikov A.I. *Mehanizmy prokatnykh stanov*. Moskva: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo mashinostroitelnoy literatury, 1946.

14. Kamenichniy I. S. *Kratkiy spravochnik tehnologa-termista*. Kyiv: Mashgiz, 1963.

15. Sorokin V.G. *Marochnik staley i splavov*. Moscwa: Mashinostroenie, 1989.