

ISSN 1991-3494

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Ш Ы С Ы

---

---

## ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА  
PUBLISHED SINCE 1944

5

---

---

АЛМАТЫ  
АЛМАТЫ  
ALMATY

2015

ҚЫРКҮЙЕК  
СЕНТЯБРЬ  
SEPTEMBER

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы :

биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Айтхожина Н.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байпақов К.М.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байтулин И.О.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Берсімбаев Р.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Газалиев А.М.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Дүйсенбеков З.Д.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Елешев Р.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; фил. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Нысанбаев А.Н.**; экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА академигі **Сатубалдин С.С.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбжанов Х.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Абсадықов Б.Н.** (бас редактордың орынбасары); а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баймұқанов Д.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Байтанаев Б.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Давлетов А.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Огарь Н.П.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Таткеева Г.Г.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Үмбетаев И.**

Р е д а к ц и я к е ñ е с і :

Ресей ҒА академигі **Велихов Е.П.** (Ресей); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Гашимзаде Ф.** (Әзірбайжан); Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Джрбашян Р.Т.** (Армения); Ресей ҒА академигі **Лаверов Н.П.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Москаленко С.** (Молдова); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Рудик В.** (Молдова); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Сагян А.С.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Тодераш И.** (Молдова); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Якубова М.М.** (Тәжікстан); Молдова Республикасының ҰҒА корр. мүшесі **Лупашку Ф.** (Молдова); техн. ғ. докторы, профессор **Абиев Р.Ш.** (Ресей); техн. ғ. докторы, профессор **Аврамов К.В.** (Украина); мед. ғ. докторы, профессор **Юрген Аппель** (Германия); мед. ғ. докторы, профессор **Иозеф Банас** (Польша); техн. ғ. докторы, профессор **Гарабаджиу** (Ресей); доктор PhD, профессор **Ивахненко О.П.** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Изабелла Новак** (Польша); хим. ғ. докторы, профессор **Полещук О.Х.** (Ресей); хим. ғ. докторы, профессор **Поняев А.И.** (Ресей); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); техн. ғ. докторы, профессор **Хрипунов Г.С.** (Украина)

Главный редактор

академик НАН РК

**М. Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Н.А. Айтхожина**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **К.М. Байпаков**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **И.О. Байтулин**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Р.И. Берсимбаев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор с.-х. наук, проф., академик НАН РК **З.Д. Дюсенбеков**; доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Р.Е. Елешев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор фил. наук, проф., академик НАН РК **А.Н. Нысанбаев**; доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **С.С. Сатубалдин**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.М. Абжанов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Н. Абсадыков** (заместитель главного редактора); доктор с.-х. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Д.А. Баймуканов**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.А. Байтанаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Е. Давлетов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А. Медеу**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.П. Огарь**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор сельскохоз. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И. Умбетаев**

Редакционный совет:

академик РАН **Е.П. Велихов** (Россия); академик НАН Азербайджанской Республики **Ф. Гашимзаде** (Азербайджан); академик НАН Украины **В.В. Гончарук** (Украина); академик НАН Республики Армения **Р.Т. Джрбашян** (Армения); академик РАН **Н.П. Лаверов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **С. Москаленко** (Молдова); академик НАН Республики Молдова **В. Рудик** (Молдова); академик НАН Республики Армения **А.С. Сагиян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **И. Тодераш** (Молдова); академик НАН Республики Таджикистан **М.М. Якубова** (Таджикистан); член-корреспондент НАН Республики Молдова **Ф. Лупашку** (Молдова); д.т.н., профессор **Р.Ш. Абиев** (Россия); д.т.н., профессор **К.В. Аврамов** (Украина); д.м.н., профессор **Юрген Аппель** (Германия); д.м.н., профессор **Иозеф Банас** (Польша); д.т.н., профессор **А.В. Гарабаджиу** (Россия); доктор PhD, профессор **О.П. Ивахненко** (Великобритания); д.х.н., профессор **Изабелла Новак** (Польша); д.х.н., профессор **О.Х. Полещук** (Россия); д.х.н., профессор **А.И. Поняев** (Россия); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); д.т.н., профессор **Г.С. Хрипунов** (Украина)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан». ISSN 1991-3494

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

**M. Zh. Zhurinov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**N.A. Aitkhozhina**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **K.M. Baipakov**, dr. hist. sc., prof., academician of NAS RK; **I.O. Baitulin**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **R.I. Bersimbayev**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Z.D. Dyusenbekov**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **R.Ye. Yeleshev**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **T.Sh. Kalmenov**, dr. phys. math. sc., prof., academician of NAS RK; **A.N. Nysanbayev**, dr. phil. sc., prof., academician of NAS RK; **S.S. Satubaldin**, dr. econ. sc., prof., academician of NAS RK; **Kh.M. Abzhanov**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.N. Absadykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **D.A. Baimukanov**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.A. Baytanayev**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.Ye. Davletov**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.P. Ogar**, dr. biol. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **I. Umbetayev**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**E.P. Velikhov**, RAS academician (Russia); **F. Gashimzade**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **R.T. Dzhrbashian**, NAS Armenia academician (Armenia); **N.P. Laverov**, RAS academician (Russia); **S.Moskalenko**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Rudic**, NAS Moldova academician (Moldova); **A.S. Sagiyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **I. Toderas**, NAS Moldova academician (Moldova); **M. Yakubova**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **F. Lupaşcu**, NAS Moldova corr. member (Moldova); **R.Sh. Abiyev**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **K.V. Avramov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine); **Jürgen Appel**, dr.med.sc., prof. (Germany); **Joseph Banas**, dr.med.sc., prof. (Poland); **A.V. Garabadzhiu**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **O.P. Ivakhnenko**, PhD, prof. (UK); **Isabella Nowak**, dr.chem.sc., prof. (Poland); **O.Kh. Poleshchuk**, chem.sc., prof. (Russia); **A.I. Ponyaev**, dr.chem.sc., prof. (Russia); **Mohd Hassan Selamat**, prof. (Malaysia); **G.S. Khripunov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine)

**Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

ISSN 1991-3494

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 1991-3494

Volume 54, Number 357 (2015), 5 – 18

## CALCULATION OF POWER PARAMETERS OF COLD ROLLING STEEL STRIPS ON MULTIFUNCTIONAL LONGITUDINAL WEDGE MILL

S. A. Mashekov, E. P. Orlova, B. N. Absadykov, M. E. Issametova,  
G. A. Smailova, E. Z. Nugman, M. L. Rakhmatulin

Kazakh National Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,  
Kazakh-British Technical University» JSC, Almaty, Kazakhstan

**Keywords:** rolling, stripes, figure, tension, drive.

**Abstract.** On purpose of obtaining qualitative sheets and decrease in power parameters in work a multipurpose longitudinal wedge mill of a new design for cold and hot rolling of thin strips from steel and alloys is offered. In work the model of tension of friction taking into account features of the intense deformed state when rolling a strip on a new mill and method of calculation of contact tension are offered. Efforts of cold rolling of steel strips and tapes on a multipurpose longitudinal wedge mill with various modes of sinking are defined.

On the basis of the received results it is defined that the efforts of rolling arising in cages of a new mill considerably decrease (from 2 to 10 times) in the direction of rolling.

It is established that work and power of rolling depend only on the tangent forces caused by tangent tension.

It is shown that decrease in effort of rolling, the working moments operating on rolls, and also increase of rigidity of a camp allow to reduce the sizes of cages and power of the drive on the one hand, and will increase the accuracy of the rolled strip on the other hand.

УДК 621.771.25/.26:669.1

## РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ СТАЛЬНЫХ ПОЛОС НА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОМ ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ

С. А. Машеков, Е. П. Орлова, Б. Н. Абсадыков, М. Е. Исаметова,  
Г. А. Смаилова, Е. З. Нугман, М. Л. Рахматулин

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,  
АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** прокатка, полосы, стан, напряжение, привод.

**Аннотация.** С целью получения качественных листов и снижения энергосиловых параметров в работе предлагается многофункциональный продольно-клиновый стан новой конструкции для холодной и горячей прокатки тонких полос из сталей и сплавов. В работе предложена модель напряжений трения с учетом особенностей напряженно-деформированного состояния при прокатке полосы на новом стане и методики расчета контактных напряжений. Определены усилия холодной прокатки стальных полос и лент на многофункциональном продольно-клиновом стане с различными режимами обжаривания.

На основе полученных результатов определено, что возникающие в клетях нового стана усилия прокатки значительно снижаются (от 2 до 10 раз) в направлении прокатки.

Установлено, что работа и мощность прокатки зависят исключительно от касательных сил, вызванных касательными напряжениями.

Показано, что снижение усилия прокатки, рабочих моментов, действующих на валки, а также повышение жесткости стана позволяет уменьшить размеры клетей и мощность привода с одной стороны, и повысит точность прокатываемой полосы с другой стороны.

В настоящее время для прокатки тонких полос и лент в рулонах из сталей и сплавов наиболее часто применяются реверсивные шестивалковые станы и станы с 20-валковыми клетями [1]. Многовалковые станы позволяют вести прокатку в валках малого диаметра. К числу недостатков многовалковых станов обычного типа относится сложность конструкции рабочих клетей.

На малых предприятиях, где прокатывают цветные металлы, в том числе благородные и драгоценные, в большинстве случаев используют специализированные станы листовой прокатки, ограниченного по объему производства готового металлопроката [2]. Связано это с тем, что малый объем производства не дает возможность сформировать исходную рулонную заготовку, а также то, что процесс листовой прокатки мелких партий изделий различных типоразмеров по толщине, длине и ширине имеет более высокую степень адаптивности. При этом за счет исключения из состава стана довольно сложных устройств для намотки и натяжения полос упрощаются состав и конструкция оборудования. Это преимущество, а также ряд других технологических и конструктивных достоинств, позволяют сделать вывод о целесообразности использования способа листовой прокатки на малых предприятиях.

Условия реализации листовой прокатки характеризуются наличием различных конструктивных схем исполнения рабочих клетей, обладающих максимальной конструктивной простотой и являющихся эффективными при большом сортаменте продукции. При этом наиболее часто при прокатке цветных материалов применяют клетки дуо, хотя и существует перспектива использования клетей кварто [2].

Если провести анализ проблем прокатки металлов Республики Казахстан, то можно отметить, что на данный момент является востребованным производство медных полос толщиной менее 1,0 мм, алюминиевых листов толщиной 2,0–0,5 мм, прокатка драгоценных металлов для получения заготовки ювелирной и электротехнической промышленности и т.д. Значительное количество изделий, в частности, коллекционные монеты, выпускаются из серебряных полос толщиной менее 2,0 мм. Для получения вышеперечисленных тонких листов наиболее важными являются точность геометрических размеров, планшетность, продольная и поперечная разнотолщинность. Однако в Казахстане данные листы или не прокатывают, или получают с низким качеством.

На основе вышесказанного можно сделать заключение, что в настоящее время очень остро стоит вопрос разработки и внедрения многофункциональных станов холодной и горячей прокатки, позволяющих производить листовой прокат из металлов и сплавов высокого качества.

С целью получения качественных листов, а также уменьшения энергосиловых параметров нами предлагается многофункциональный продольно-клиновый стан новой конструкции для холодной и горячей прокатки тонких полос из сталей и сплавов (рисунок 1) [3].

Многофункциональный продольно-клиновый стан для прокатки листов из сталей и сплавов содержит: электродвигатели, редукторы, шестеренные клетки, универсальные шпиндели, муфты, клетки с рабочими и опорными валками. При этом в первых трех клетях установлены два, а в последних двух клетях – четыре опорных валка. Вращение уменьшающихся в направлении прокатки рабочих валков осуществляется через подшипниковые клетки пятью мотор-редукторами с угловой скоростью  $\omega = v \cdot R$  (где  $v$  – скорость прокатки в каждой клетке стана;  $R$  – радиус рабочих валков в каждой клетке стана). При этом расстояния между клетями увеличены на величину опережения, а регулировку расстояния между рабочими валками производят едиными червячными нажимными механизмами, расположенными сверху и снизу станин стана и подшипниковых клетей.

Усилие прокатки определяли по методике, предложенной в работе [4].

Анализ результатов, полученных в работах [4-10], и закономерностей изменения диаметров рабочих валков нового стана, позволил принять следующее: в первой, второй и третьей клетях стана имеются зоны упругого сжатия полосы длиной  $x_{1упр}$ , пластической деформации длиной  $x_{пл}$ , представляющие зону скольжения и прилипания, а также упругого восстановления части толщины полосы на выходе из очага деформации длиной  $x_2$  (рисунок 2). При этом в четвертой и пятой клетях стана имеются зоны упругого сжатия полосы длиной  $x_{1упр}$ , пластической деформации длиной  $x_{пл}$ , представляющие целиком зону скольжения и упругого восстановления части толщины полосы на выходе из очага деформации длиной  $x_2$ .

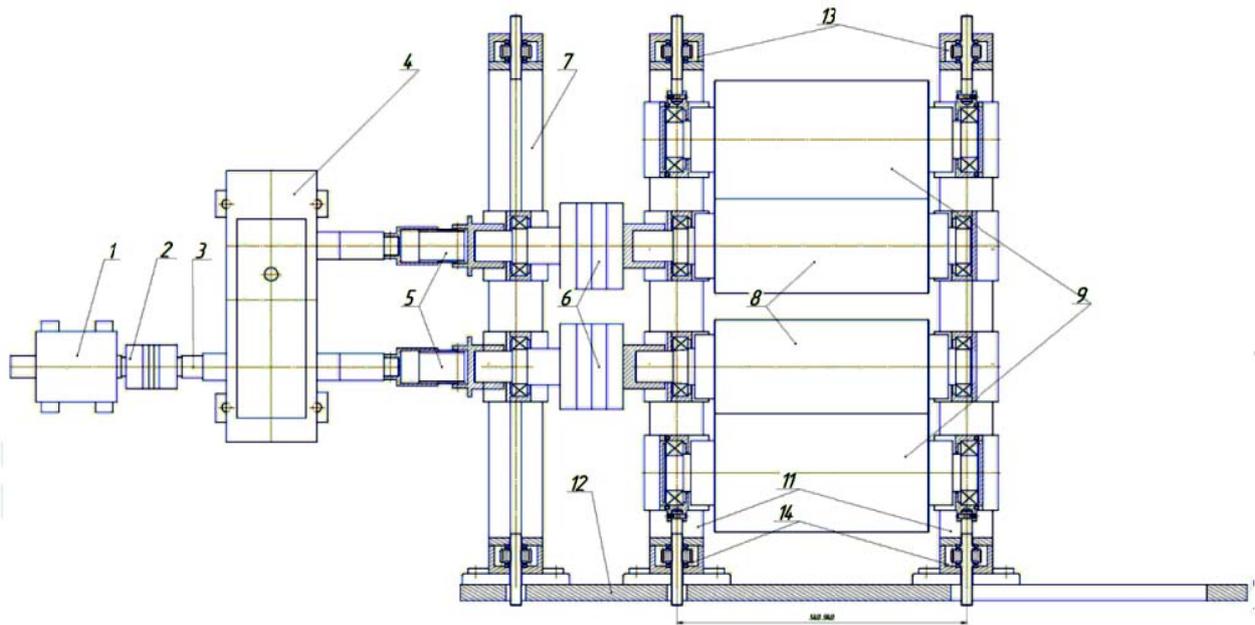


Рисунок 1 – Продольно-клиновой стан для прокатки листов:  
 1 – мотор-редуктор; 2 – муфта; 3 – вал; 4 – шестеренная клетя; 5 и 6 – шпиндели; 7 – подшипниковая клетя;  
 8 – рабочие валки; 9 (первых трех клетей) и 10 (последних двух клетей, не показаны) – опорные валки;  
 11 – станина; 12 – опорные плиты; 13 и 14 – нажимные механизмы

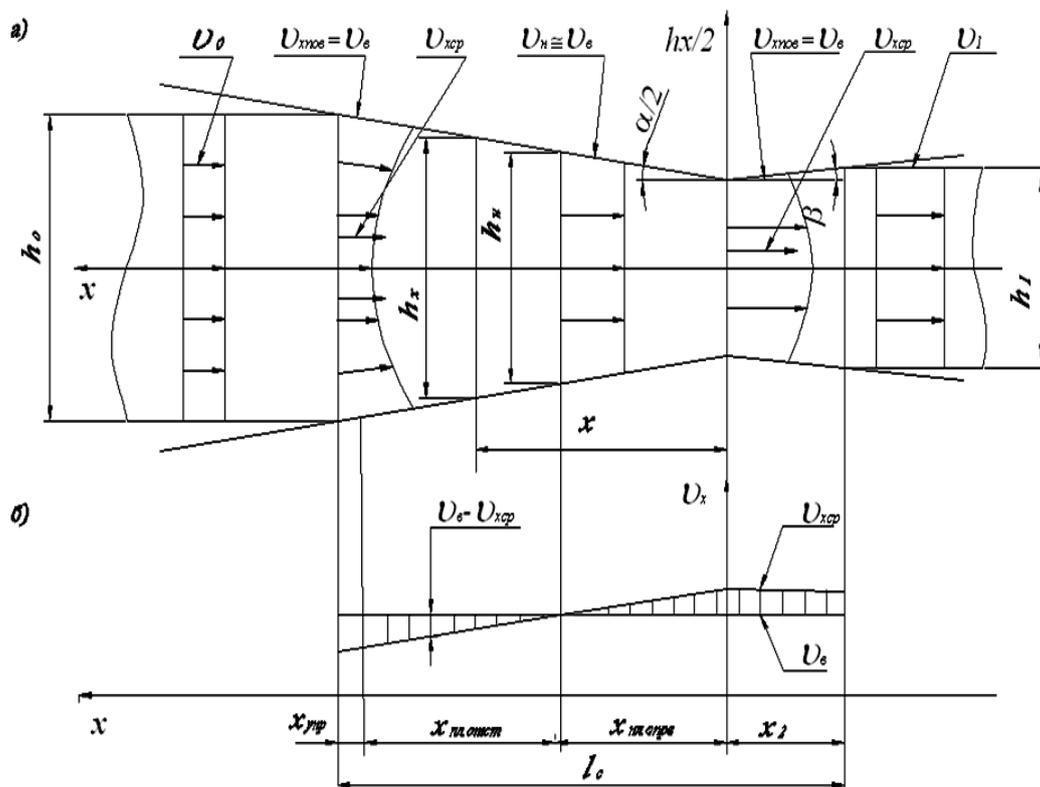


Рисунок 2 – Схема очага деформации рабочих клетей нового стана горячей прокатки и график изменения скоростей полосы

Несмотря на то, что при прокатке в клетях продольно-клинового стана на пластическом участке из-за явления прилипания скорость поверхностного слоя полосы постоянна относительно средней по толщине скорости полосы  $v_{\text{хсп}}$ , выполняются условия:

- при  $h_x > h_n$   $v_{\text{хсп}} < v_B$ ;
- при  $h_x < h_n$   $v_{\text{хсп}} > v_B$ ,

где  $h_n$  – толщина полосы в нейтральном сечении.

Поэтому по отношению к средней скорости по толщине полосы пластический участок состоит из двух зон – отставания длиной  $x_{\text{пл.отст.}}$  и опережения длиной  $x_{\text{пл.опер.}}$ .

Протяженность первого упругого и пластических участков очага деформации определяется по формулам, приведенным в таблице 1 [4].

Протяженность второго упругого участка определяется по формуле Герца [4]:

$$x_2 = 8 p_{\text{ср}} R \left( \frac{1 - \nu_B^2}{\pi E_B} - \frac{1 - \nu_{II}^2}{\pi E_{II}} \right), \quad (1)$$

где  $p_{\text{ср}}$  – среднее значение нормальных контактных напряжений;  $R$  – радиус бочки рабочего вала;  $\nu_B, \nu_{II}$  – коэффициент Пуассона материала валков и полосы;  $E_B, E_{II}$  – модуль упругости материала валков и полосы.

Таблица 1 – Структурные параметры очагов деформации [4]

Наименование	Обозначение, размерность	Формула
Сумма длин первого упругого и пластического участков	$x_{1\text{упр}} + x_{\text{пл}}$ , мм	$\sqrt{\frac{D_p}{2} \Delta h_i + x_2^2}$
Длина очага деформации	$l_{ci}$ , мм	$x_{1\text{упр}} + x_{\text{пл}} + x_2$
Длина первого упругого участка	$x_{1\text{упр}}$ , мм	$\frac{\Delta h_{1\text{упр}} (x_{1\text{упр}} + x_{\text{пл}})}{\Delta h_i + \Delta h_{2\text{упр}}}$
Длина пластического участка	$x_{\text{пл}}$ , мм	$\sqrt{\frac{D_p}{2} \Delta h_i + x_2^2} - x_{1\text{упр}}$
Длина зоны опережения пластического участка	$x_{\text{пл.опер.}}$ , мм □	$\frac{(h_{n1} - h_i + \Delta h_{2\text{упр}})}{2 \text{tg}(\alpha/2)}$
Длина зоны отставания пластического участка	$x_{\text{пл.отст.}}$ , мм	$x_{\text{пл}} + x_{\text{пл.опер}}$
Тангенсы углов $\alpha/2$ и $\beta$	$\text{tg}(\alpha/2)$  $\text{tg}\beta$	$\frac{\Delta h_i + \Delta h_{2\text{упр}}}{2(x_{1\text{упр}} + x_{\text{пл}})}$  $\frac{\Delta h_{2\text{упр}}}{2x_2}$
<i>Примечание:</i> $D_p$ – диаметр бочки рабочего вала; $\Delta h_i$ – абсолютное обжатие в $i$ -й клетке; $\Delta h_{1\text{упр}}, \Delta h_{2\text{упр}}$ – максимальные величины абсолютных упругих деформаций полосы по толщине на участках с длинами $x_{1\text{упр}}$ и $x_2$ .		

С учетом особенностей напряженно-деформированного состояния при прокатке полосы на новом стане и методики расчета контактных напряжений [4], в работе предложена следующая модель напряжений трения (см. рисунок 3):

- первая, вторая, третья клетки:

а) на упругих участках и участках скольжения очага деформации действует закон трения скольжения:

$$\tau_x = \mu p_x, \quad (2)$$

$\mu$  – коэффициент трения;

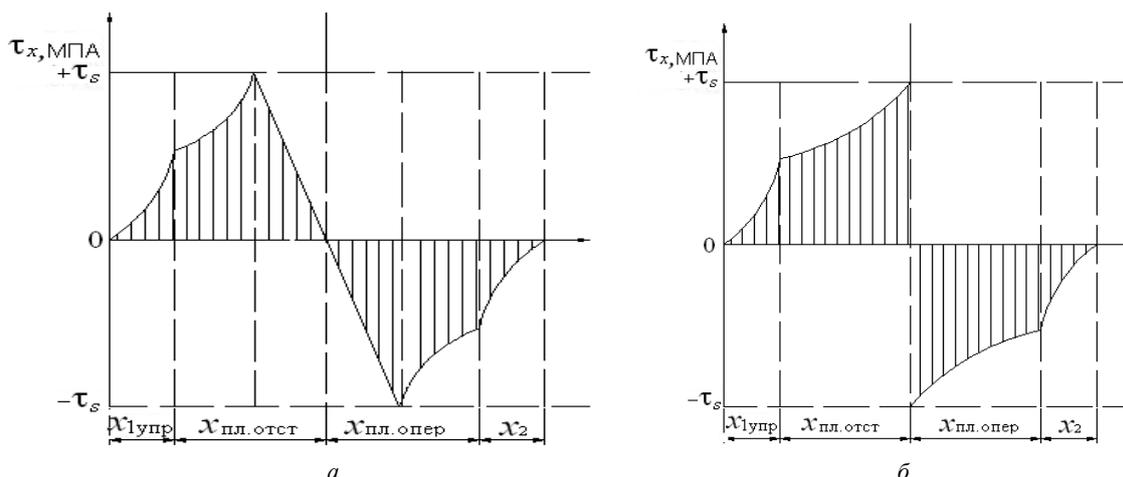


Рисунок 3 – График изменения касательных контактных напряжений в очаге деформации:  
 а – первая, вторая и третья клетки; б – четвертая и пятая клетки

б) на участке, представляющем собой зону прилипания, касательные напряжения изменяются линейно от максимального значения  $\tau_{x_{max}} = \tau_s$  до минимального значения  $\tau_x \geq -\tau_s$ , проходя через значение  $\tau_x = 0$  в нейтральном сечении, в соответствии с выражением:

$$\tau_x = \tau_s \left( \frac{h_x - h_n}{h_{1.скол} - h_n} \right), \quad (3)$$

где  $h_{1.скол}$  – толщина полосы на границе участков скольжения и прилипания;

- четвертая и пятая клетки:

на упругих участках длиной  $x_{1упр}$  и  $x_2$  и участках скольжения очага деформации действует закон трения скольжения (2).

Характерная особенность условий трения в зоне прилипания состоит в том, что в ней нормальные и касательные контактные напряжения практически не зависят от коэффициента трения скольжения, а зависят от сопротивления чистому сдвигу материала полосы и разности между скоростью полосы  $v_{ср}$  (средней в каждом поперечном сечении) и окружной скоростью бочки валков  $v_b$ .

Помимо модели касательных напряжений, большое значение для расчета контактных напряжений имеет величина сопротивления деформации полосы.

Для расчета средних значений нормальных контактных напряжений, возникающих в первой, второй и третьей клетях, использовали уравнения, приведенные в таблице 2 [4].

По известным значениям нормальных контактных напряжений на каждом из трех участков вычислили среднее нормальное контактное напряжение для всего очага деформации по формуле [4]:

$$p_{срi} = \frac{1}{l_{ci}} (p_1 x_{1упр} + p_{2,3} x_n + p_4 x_2). \quad (4)$$

В связи с тем, что в четвертой и пятой клетях на упругих участках и участках скольжения очага деформации действует закон трения скольжения для оценки контактного (удельного) давления  $p_{ср}$ , использовали формулу А.И. Целикова [11, 12]:

$$p_{ср2} = 1,15 \{ [x_{0i} \sigma_{s0i} h_0 / (d - 2)] [(h_0/h_n)^{d-2} - 1] + [x_{1i} \sigma_{s1i} h_1 / (d + 2)] [(h_n/h_1)^{d+2} - 1] \} / \Delta h, \quad (5)$$

где  $h_0, h_1$  – толщина полосы на входе и на выходе из очага деформации;  $x_{0i} = 1 - q_{0i} / (1,15 \sigma_{s0i})$  – коэффициент, характеризующий влияние переднего натяжения на  $p_{ср}$ ;  $x_{1i} = 1 - q_{1i} / (1,15 \sigma_{s1i})$  – коэффициент, характеризующий влияние заднего натяжения на  $p_{ср}$ ;  $d = 2\mu l_d / \Delta h$  – параметр очага деформации (по Целикову А.И.);  $h_n = [x_{0i}/x_1 (h_0)^{d-1} (h_1)^{d+1}]^{1/2d}$  – толщина полосы в нейтральном сечении (в сечении, котором меняется знак касательных напряжений);  $q_{0i}, q_{1i}$  – натяжение на входе и на выходе из очага деформации;  $\sigma_{s0i}, \sigma_{s1i}$  – сопротивление пластической деформации на входе и на выходе из очага деформации;  $\mu$  – коэффициент внешнего трения;  $\Delta h = h_0 - h_1$  – абсолютное обжатие.

Таблица 2 – Формулы для расчета средних значений нормальных контактных напряжений [4]

Участок	Формула
Упругий участок длиной $x_{1\text{упр}}$	$p_1 = 1,15E_{\Pi} \left\{ \frac{1}{\delta_{i-1}} + \frac{L}{\delta_{i-1}} \left[ \left( \frac{\delta_{i-1} - 1}{(\delta_{i-1} + 1)\delta_{i-1}} - \frac{q_0}{1,15E_{\Pi}} \right) (D^{\delta_{i-1} + 1} - 1) - 2 \ln D \right] \right\},$ <p>где <math>\delta_{i-1} = \frac{\mu_i}{\text{tg } \alpha/2}</math>; <math>D = \frac{E_{\Pi}}{E_{\Pi} - \sigma_{\phi.нл}}</math>; <math>L = \frac{E_{\Pi} - \sigma_{\phi.нл}}{\sigma_{\phi.нл}}</math></p>
Зона прилипания длиной $x_{\text{пл}}$	$p_{2,3} = \frac{2\tau_s}{h_{2\text{упр}} - h_{1\text{упр}}} \left\{ \left[ 1 + \frac{0,5}{\text{tg } \alpha/2} \frac{h_{\text{H}}}{(h_{1\text{упр}} - h_{\text{H}})} \right] [h_{2\text{упр}} (\ln h_{2\text{упр}} - 1) - h_{1\text{упр}} (\ln h_{1\text{упр}} - 1)] - \right.$ $\left. - \frac{0,25(h_{2\text{упр}}^2 - h_{1\text{упр}}^2)}{\text{tg } \alpha/2 (h_{1\text{упр}} - h_{\text{H}})} + \frac{p_{1\text{упр}}}{2\tau_s} + \frac{0,5}{\text{tg } \alpha/2} \frac{h_{1\text{упр}}}{(h_{1\text{упр}} - h_{\text{H}})} - \right.$ $\left. - \left[ 1 + \frac{0,5}{\text{tg } \alpha/2} \frac{h_{\text{H}}}{(h_{1\text{упр}} - h_{\text{H}})} \right] \ln h_{1\text{упр}} (h_{2\text{упр}} - h_{1\text{упр}}) \right\}$
Упругий участок длиной $x_2$	$p_4 = 1,15E_{\Pi} \left\{ \frac{1}{\delta_i} + \frac{L}{\delta_i + 1} \left[ \left( \frac{\delta_i - 1}{(\delta_i + 1)\delta_i} - \frac{q_1}{1,15E_{\Pi}} \right) (D^{\delta_i + 1} - 1) - 2 \ln D \right] \right\}$
<p><i>Примечание:</i> <math>h_{1\text{упр}}</math> – толщина полосы на границе первого упругого и пластического участков; <math>h_{2\text{упр}}</math> – толщина полосы на границе второго упругого и пластического участков; <math>p_{1\text{упр}}</math> – значение нормального контактного напряжения.</p>	

Для расчета усилия прокатки использовали известную формулу [11, 12]

$$P = (p_{\text{ср1}} + p_{\text{ср2}}) l_{\text{ср}} \cdot b, \tag{6}$$

где  $b$  – ширина прокатываемой полосы.

Мощность прокатки определяли следующим образом [4-10].

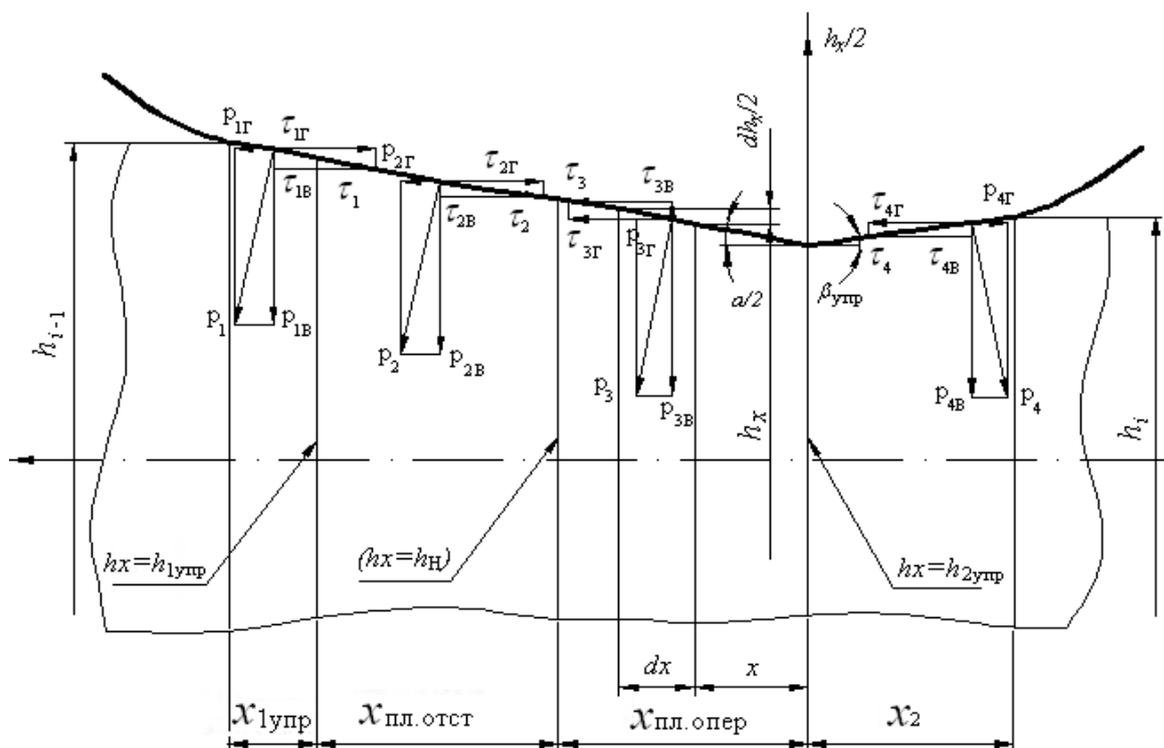


Рисунок 4 – Расчетная схема к определению мощности прокатки с учетом работы сил трения и упругопластической модели очага деформации

Для первой, второй и третьей клетей нового стана принята нами методика расчета мощности горячей прокатки заимствована из работ [4-10] и аналогична методике, разработанной Э. А. Гарбером и И. А. Кожевниковой для станов холодной прокатки. Эта методика основана на схеме очага деформации, представленной на рисунке 4. Согласно схеме, очаг деформации состоит из двух упругих участков и одного пластического, расположенного между ними.

На упругих участках нормальные напряжения  $p_x$  и касательные напряжения  $\tau_x$  связаны законом трения (2).

Пластический участок состоит из зон отставания и опережения, имеющих длины  $x_{\text{пл.отст}}$  и  $x_{\text{пл.опер}}$ , и целиком расположен в зоне скольжения и прилипания, т.е. в контакте полосы и валков имеет место трение скольжения и покоя. Касательные напряжения на этом участке изменяются согласно зависимости (3).

Чтобы определить мощность прокатки, в работах [4-10] в соответствии с расчетной схемой рисунка 4, для каждого участка очага деформации получили выражения удельных работ прокатки, просуммировав работу нормальных и касательных сил в направлениях, параллельных оси прокатки и перпендикулярном этой оси.

Полученные таким образом выражения удельных работ прокатки приведены в таблице 3 [4].

Таблица 3 – Расчетные формулы удельных работ прокатки полосы, совершаемых валками на каждом участке очага деформации [4]

Участок	Формула
Упругий участок длиной $x_{1\text{упр}}$	$a_1 = \tau_1 \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha/2} + \text{tg}\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{i-1}}{h_{1\text{упр}}}, (\tau = \mu p_1)$
Зона отставания длиной $x_{\text{пл.отст}}$	$a_2 = \frac{\tau_s}{2} \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha/2} + \text{tg}\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{1\text{упр}}}{h_{\text{H}}}$
Зона опережения длиной $x_{\text{пл.опер}}$	$a_3 = -\frac{\tau_s}{2} \left( \frac{h_{\text{H}} - h_{2\text{упр}}}{h_{1\text{упр}} - h_{\text{H}}} \right) \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha/2} + \text{tg}\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{\text{H}}}{h_{2\text{упр}}}$
Упругий участок длиной $x_2$	$a_4 = -\tau_3 \left( \frac{1}{\text{tg}\beta_{\text{упр}}} + \text{tg}\beta_{\text{упр}} \right) \ln \frac{h_i}{h_{2\text{упр}}}, (\tau_3 = \mu p_4)$

Анализ выражений, приведенных в таблице 3, дает основания для следующих выводов [4-10]:

1) Работа и мощность прокатки зависят исключительно от касательных сил, вызванных касательными напряжениями; от нормальных контактных напряжений работа непосредственно не зависит;

2) Полезную работу валки совершают только на первом упругом участке и в зоне отставания, а в зоне опережения и на втором упругом участке полоса возвращает валкам часть затраченной энергии (величины  $a_3$  и  $a_4$  отрицательны).

Удельная работа прокатки полосы при прохождении ее через валки  $i$ -й клетки представляет собой сумму удельных работ, указанных в таблице 3 [4]:

$$a_{\text{пр}} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4. \quad (7)$$

Мощность прокатки полосы в  $i$ -й клетки вычисляют по известной формуле [4]:

$$N_{\text{пр}i} = a_{\text{пр}i} v_i h_i b. \quad (8)$$

Поскольку первая, вторая и третья клетки «кварто» предлагаемого стана и существующие станы холодной прокатки идентичны по конструкции, для расчета параметров главного привода можно воспользоваться общей методикой, учитывающей потери на трение качения. Расчетная схема сил и моментов в клетях «кварто» представлена на рисунке 5.

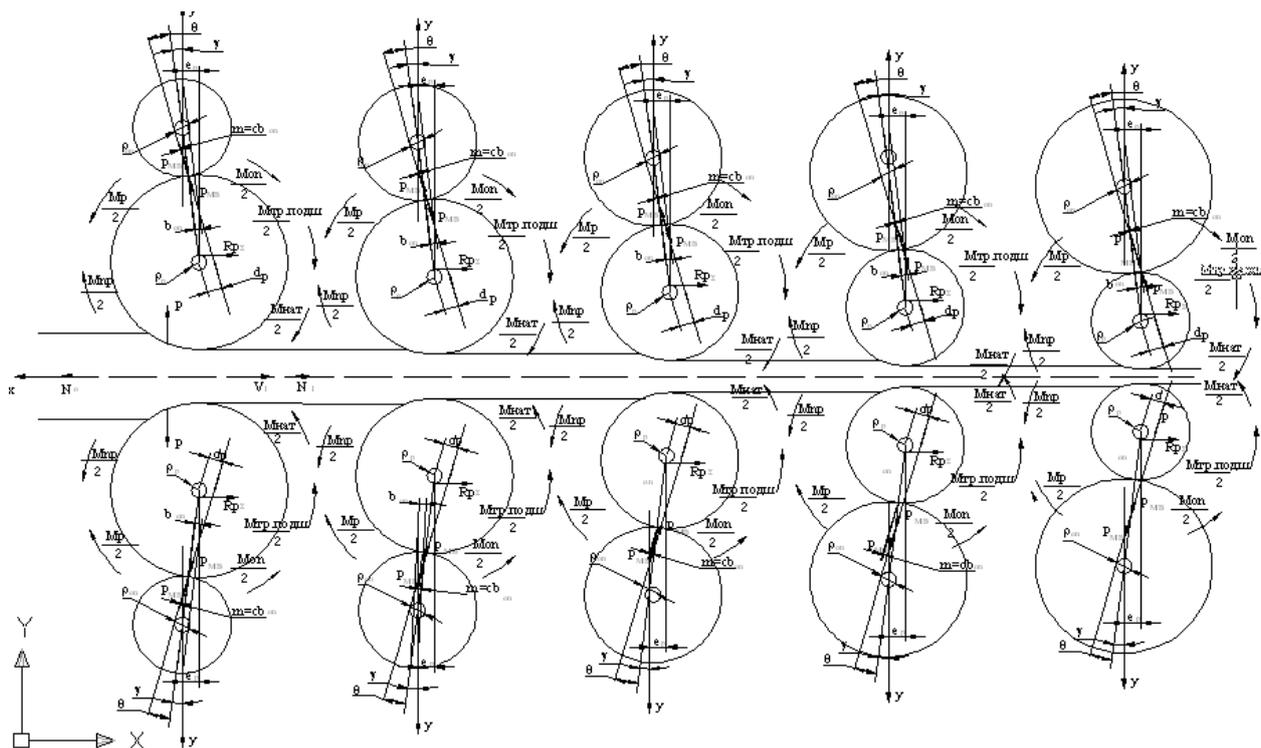


Рисунок 5 – Расчетная схема сил и моментов в клетях нового стана при постоянной скорости

Согласно этой методике, мощность двигателей главного привода рабочей клетки при постоянной скорости прокатки равна [4]:

$$N_{\text{дв.р}} = N_p / \eta, \quad (9)$$

где  $\eta$  – КПД линии главного привода;  $N_p$  – мощность, необходимая для совершения пластической деформации и преодоления всех видов трения, в том числе трения качения между рабочими и опорными валками [4]:

$$N_p = M_p \omega_p, \quad (10)$$

где  $\omega_p$  – угловая скорость вращения рабочего валка;  $M_p$  – момент, необходимый для привода рабочих валков (без учета момента инерции при разгонах и торможениях) [4]:

$$M_p = M_{\text{пр}} + M_{\text{нат}} + M_{\text{тр.л}} + M_{\text{оп}}, \quad (11)$$

где  $M_{\text{пр}}$  – момент прокатки;  $M_{\text{нат}}$  – момент сил натяжений полосы;  $M_{\text{тр.л}}$  – момент трения в подшипниках рабочих валков;  $M_{\text{оп}}$  – момент, необходимый для вращения холостых опорных валков.

Момент прокатки наиболее достоверно можно вычислить через мощность прокатки [4, 12]:

$$M_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{\omega_p}. \quad (12)$$

Момент, возникающий от разности сил заднего и переднего натяжений, равен [4, 12]:

$$M = \Delta N \frac{D_p}{2}, \quad (13)$$

где  $\Delta N = N_0 - N_1$  – разность сил заднего и переднего натяжений полосы;  $D_p$  – диаметр бочки рабочего валка.

Момент трения в подшипниках рабочих валков определяют по формуле [4, 12]:

$$M_{\text{тр}} = \eta_{\text{н.р}} \frac{d_{\text{н.р}}}{2} [\Delta N - 2P \cdot \text{tg}(\theta + \gamma)], \quad (14)$$

где  $\mu_{п.р}$  – коэффициент трения в подшипниках рабочих валков;  $d_{п.р}$  – рабочий диаметр этих подшипников;  $P$  – усилие прокатки;  $\theta$  – угол между плоскостью действия межвалкового усилия и плоскостью, в которой лежат оси валков;  $\gamma$  – угол между вертикальной осевой плоскостью опорного валка и плоскостью, проходящей через оси рабочих валков.

Момент, необходимый для привода опорных валков, равен [4, 12]:

$$M_{on} = \frac{2P}{\cos(\theta + \gamma)} \cdot \left[ \frac{D_p}{2} \sin \theta + cb_{on} \cdot \cos \theta \right], \quad (15)$$

где  $c$  – безразмерный коэффициент плеча трения качения;  $b_{on}$  – половина ширины площадки межвалкового контакта.

В работе [10] для определения коэффициента плеча трения качения создали базу данных технологических и энергосиловых параметров режимов холодной прокатки, которая содержит следующие данные: обжатие; межклетевые натяжения; скорость прокатки; контактные напряжения; усилия и мощность прокатки; величины коэффициента плеча трения качения, при которых разность между измеренными и расчетными значениями мощности двигателей рабочей клетки минимальна; максимальное нормальное напряжение в межвалковом контакте; относительные угловые скорости рабочего и опорного валков.

Полученную базу данных обработали и получили регрессионное уравнение:

$$c = 0,888 - 1,094 \frac{p_o}{p_\sigma} + 0,029 \frac{\omega_{omn}}{\omega_\sigma} - 0,009 \frac{D_{onp}}{D_p} + 0,061 \frac{Ra}{Ra_\sigma} + \\ + 0,49 \left( \frac{p_o}{p_\sigma} \right)^2 - 0,002 \left( \frac{\omega_{omn}}{\omega_\sigma} \right)^2 + 0,00055 \left( \frac{D_{on}}{D_p} \right)^2 - 0,015 \left( \frac{Ra}{Ra_\sigma} \right)^2, \quad (16)$$

где  $p_\sigma$  – базисное значение максимального нормального напряжения в межвалковом контакте;  $\omega_\sigma$  – базисное значение относительной угловой скорости рабочего и опорного валков;  $D_{on}$  – диаметр бочки опорного валка;  $Ra_\sigma$  – базисное значение среднеарифметической высоты микронеровностей бочки рабочих валков.

Допустимую мощность для всех клеток стана рассчитывали по формуле:

$$N_{доп} = N_{дв} \eta, \quad (17)$$

где  $N_{дв}$  – мощность двигателя, кВт;  $\eta$  – общий коэффициент потерь мощности.

Допустимый момент прокатки рассчитывали по формуле:

$$M_{доп} = N_{доп} / \omega, \quad (18)$$

где  $\omega = V_b / R$ .

Следовательно,

$$M_{доп} = \frac{N_{доп} R}{V_b} \quad (19)$$

где  $R$  – радиус рабочих валков, м;  $V_b$  – скорость рабочих валков, м/с:  $V_b = V_{пл} / (1 + s)$ ;  $V_{пл}$  – скорость полосы, м/с;  $s$  – опережение:  $s = \frac{R}{h_1} \gamma^2$ .

Для расчета энергосиловых параметров использовали техническую характеристику рабочих клеток предлагаемого многофункционального продольно-клинового стана. Для холодной прокатки полосы из стали 08 кп размером 2,03×100 мм на непрерывном многофункциональном продольно-клиновом 5-клетевом стане при комнатной температуре использовали подкат толщиной  $h_0 = 20$  мм.

### Результаты исследования и их обсуждение

Распределение усилий и обжатий по клетям стана дано в таблицах 4-6. При этом на рисунках 6-8 и 9, 10 представлены картины распределения усилия прокатки по клетям нового продольно-клинового стана.

Таблица 4 – Распределение усилий и обжатий по клетям продольно-клинового стана

Клеть	Толщина полосы до пропуска $h_i$ , мм	Толщина полосы после пропуска $h_{i+1}$ , мм	Абсолютное обжатие $\Delta h_i$ , мм	Относительное обжатие $\varepsilon_i$ , %	Усилие прокатки, МН
1 проход					
1	20	14	6	30	1,77
2	14	10,5	3,5	25	1,24
3	10,5	8,4	2,1	20	0,86788
4	8,4	7,14	1,26	15	0,6245
5	7,14	6,43	0,71	10	0,4
2 проход					
1	6,43	4,5	1,93	30	1,043
2	4,5	3,37	1,13	25	0,7306
3	3,37	2,7	0,67	20	0,501
4	2,7	2,3	0,4	15	0,359
5	2,3	2,06	0,24	10	0,22977

Таблица 5 – Распределение усилий и обжатий по клетям продольно-клинового стана

Клеть	Толщина полосы до пропуска $h_i$ , мм	Толщина полосы после пропуска $h_{i+1}$ , мм	Абсолютное обжатие $\Delta h_i$ , мм	Относительное обжатие $\varepsilon_i$ , %	Усилие прокатки, МН
1 проход					
1	20	14	6	30	1,77
2	14	10,5	3,5	25	1,258
3	10,5	7,9	2,6	25	0,97
4	7,9	7,1	0,8	10	0,493
5	7,1	6,4	0,7	10	0,398
2 проход					
1	6,4	4,47	1,91	30	1,039
2	4,47	3,35	1,12	25	0,727
3	3,35	2,5	0,85	25	0,558
4	2,5	2,26	0,24	10	0,283
5	2,26	2,03	0,23	10	0,228

Таблица 6 – Распределение усилий и обжатий по клетям продольно-клинового стана

Клеть	Толщина полосы до пропуска $h_i$ , мм	Толщина полосы после пропуска $h_{i+1}$ , мм	Абсолютное обжатие $\Delta h_i$ , мм	Относительное обжатие $\varepsilon_i$ , %	Усилие прокатки, МН
1 проход					
1	20	15	5	25	1,62
2	15	11,25	3,75	25	1,3
3	11,25	8,44	2,81	25	1
4	8,44	7,17	1,27	15	0,626
5	7,17	6,45	0,72	10	0,4
2 проход					
1	6,45	4,84	1,6	25	0,954
2	4,84	3,63	1,21	25	0,757
3	3,63	2,72	0,91	25	0,581
4	2,72	2,31	0,41	15	0,361
5	2,31	2,08	0,23	10	0,231

Рисунок 6 –  
Зависимость усилия  
прокатки от величины  
относительного  
обжатия по клетям

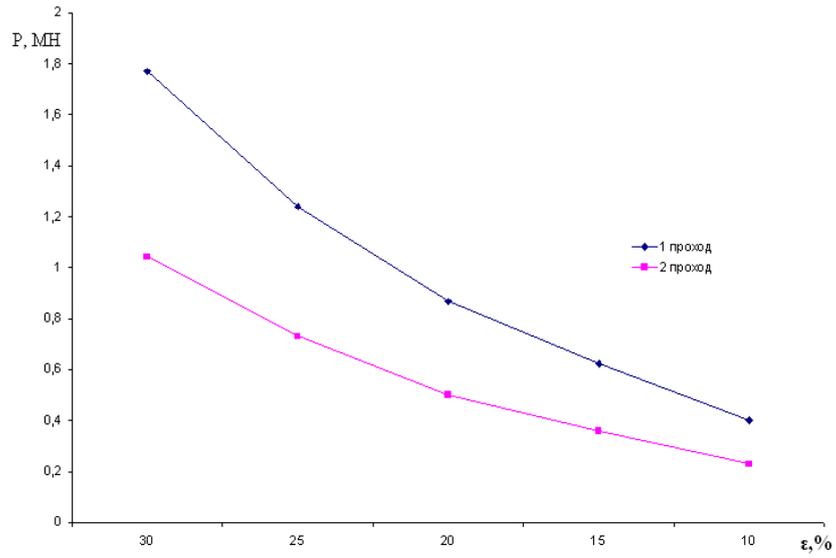


Рисунок 7 –  
Зависимость усилия  
прокатки от величины  
относительного  
обжатия по клетям

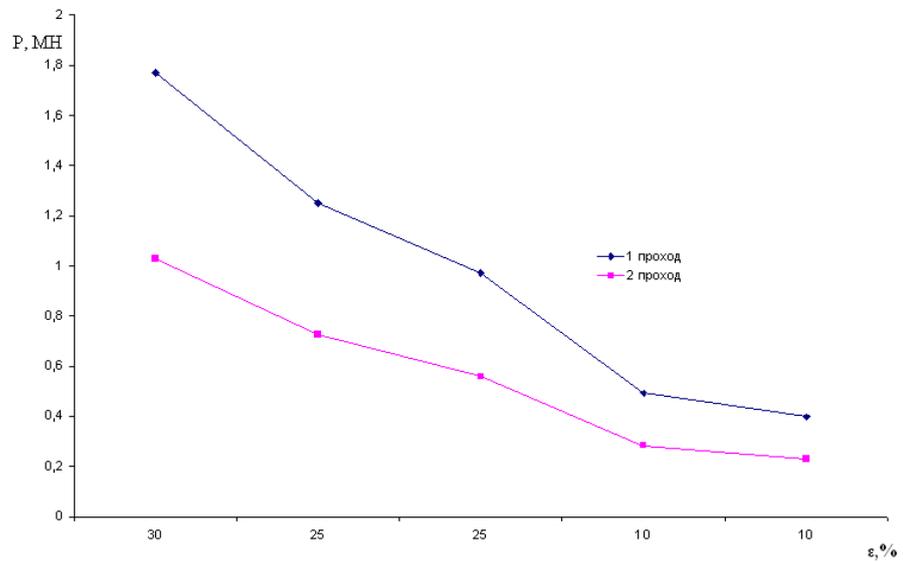
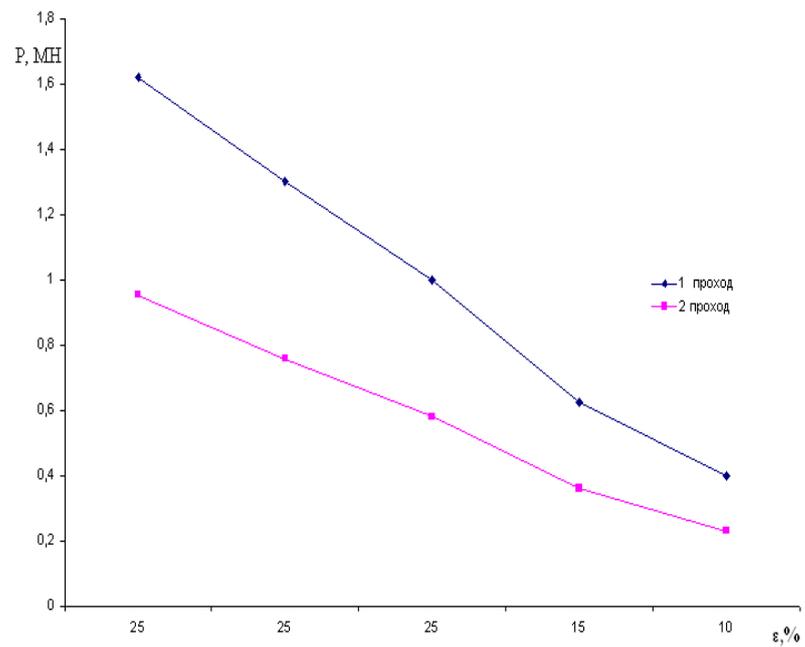


Рисунок 8 –  
Зависимость усилия  
прокатки от величины  
относительного  
обжатия по клетям



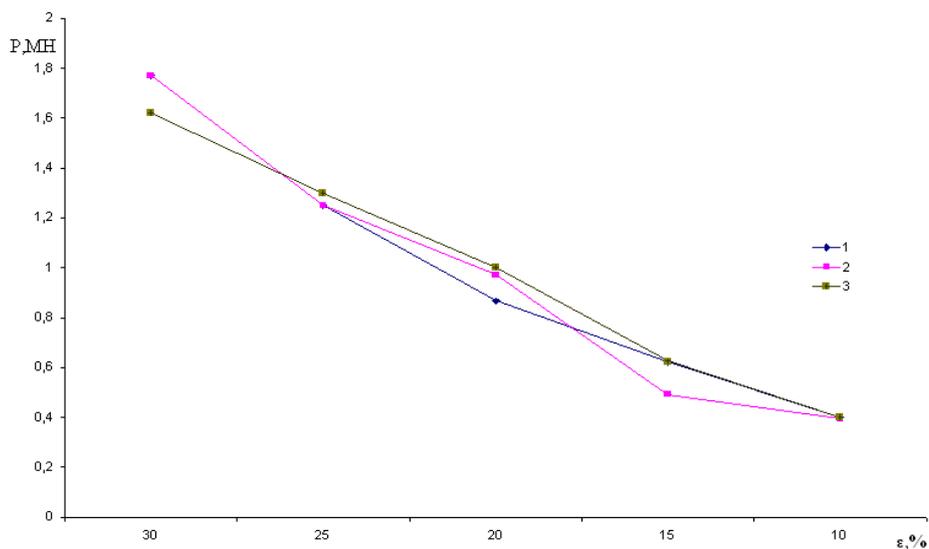


Рисунок 9 – Распределение усилий прокатки по клетям при различных степенях обжатия при первом проходе:  
1 – значение обжатий из таблицы 4; 2 – значение обжатий из таблицы 5; 3 – значение обжатий из таблицы 6

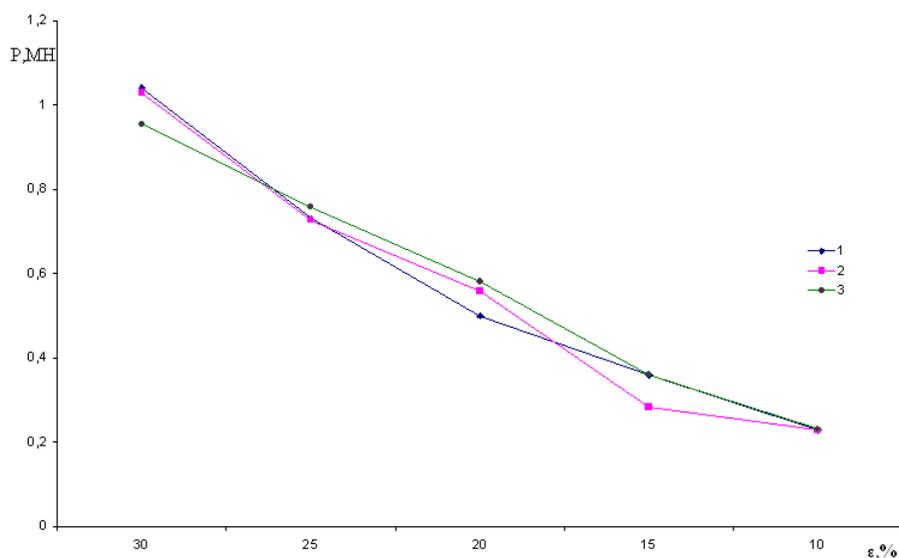


Рисунок 10 – Распределение усилий прокатки по клетям при различных степенях обжатия при втором проходе:  
1 – значение обжатий из таблицы 4; 2 – значение обжатий из таблицы 5; 3 – значение обжатий из таблицы 6

На основе полученных результатов расчета усилия холодной прокатки установлено, что:

1. Возникающие в клетях нового стана усилия прокатки значительно снижаются (от 2 до 10 раз) в направлении прокатки;

2. Прокатка по второму и третьему вариантам приводит к уменьшению усилия прокатки по сравнению с прокаткой по первому варианту (таблицы 4-6);

3. Наиболее рациональным для прокатки стальных полос шириной 100 мм, будет следующее распределение обжатий по клетям:  $\varepsilon_1 = 30\%$ ,  $\varepsilon_2 = 25\%$ ,  $\varepsilon_3 = 25\%$ ,  $\varepsilon_4 = 10\%$ ,  $\varepsilon_5 = 10\%$ .

4. Работа и мощность прокатки зависят исключительно от касательных сил, вызванных касательными напряжениями;

5. Полезную работу валки совершают только на первом упругом участке и в зоне отставания, а в зоне опережения и на втором упругом участке полоса возвращает валкам часть затраченной энергии (величины  $a_3$  и  $a_4$  отрицательны).

6. При прокатке в стане новой конструкции рабочие моменты и мощности прокатки уменьшаются от одной клетки к другой в направлении прокатки;

7. Снижение усилия, рабочих моментов, действующих на валки, а также повышение жесткости стана позволяют уменьшить размеры клеток и мощность привода с одной стороны, и повысить точность прокатываемой полосы с другой стороны.

#### **Выводы:**

1. Многофункциональный продольно-клиновой стан с уменьшающим диаметром рабочих валков в направлении прокатки позволяет уменьшить усилия, рабочие моменты, требуемые мощности, удельный расход энергии на деформацию;

2. При прокатке в стане новой конструкции, по сравнению с прокаткой тонких листов в существующих станах, средние давления уменьшаются от первой до последней клетки;

3. Снижение усилия, рабочих моментов, действующих на валки, а также повышение жесткости стана позволяют уменьшить размеры клеток и мощность привода с одной стороны, и повысить точность прокатываемой полосы с другой стороны.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Черная металлургия: Бюл. НТИИЭ - М.: Черметинформация, - Вып. 3-4. 2000. - С. 23-25. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты: развитие технологии, компоновок и оборудования / И.Г. Гун, В.М. Салганик, Ф.В. Пивоваров и др.

[2] Перспективные конструкции прецизионных станов /А.Н. Кулик, К.Ю. Юрков, А.А. Файчак, В.В. Шевченко // [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008\\_10/3.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008_10/3.pdf).

[3] Патент 20969. Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов/ С.А. Машеков, Е.З. Нугман, А.С. Машекова, и др. //Опубл. 16.03.2009, Бюл. №3.

[4] Грудев А.П. Теория прокатки. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Интермет инжиниринг, 2001. - 280 с.

[5] Новые методы моделирования процессов холодной прокатки, обеспечивающие улучшение качества холоднокатаных листов, экономию энергии и увеличение скорости непрерывных станов / Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, А.З. Трайно, В.Н. Кузнецов, С.А. Павлов //Вестник ЧГУ. № 6. 2009. - С. 108-111.

[6] Моделирование процесса горячей прокатки широких полос с учетом зоны прилипания в очаге деформации /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Труды седьмого Конгресса прокатчиков. М. - 2007. - С. 484-492.

[7] Расчет усилий горячей прокатки тонких полос с учетом напряженно-деформированного состояния в зоне прилипания очага деформации /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Производство проката. № 4. - 2007. - С. 7-15.

[8] Повышение эффективности листопрокатного производства на основе новых методов моделирования процессов прокатки / Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Материалы IV Международной научно-технической конференции «Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования». - Вологда: ВоГТУ, - 2008. - С. 13-15.

[9] К вопросу о влиянии трения первого и второго рода на энергосиловые параметры горячей прокатки в клетях кварты /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Металлы. № 6. - 2007. - С. 47-56.

[10] Эффективные режимы горячей прокатки тонких полос на широкополосных станах /Э.А. Гарбер, И.А. Кожевникова, П.А. Тарасов // Производство проката. № 1. - 2009. - С. 10-16.

[11] Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. - М.: Металлургия, 1986. - 430 с.

[12] Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах, т.3 Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Учебник для ВУЗов /А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. - М: Металлургия, 1988, 487 с.

#### **REFERENCES**

[1] Gun I.G., Salganik V.M., Pivovarov F.V., et al. Thin slab foundry-rolling machines: the development of technologies, hardware and configurations / Iron and steel industry: Bull. NTiIE - M. : Chermetinformatiya - Vol. 3-4. 2000. - p. 23-25. (in Russ.).

[2] Kulik A.N., Yurkov K.Yu., Faychak A.A., Shevchenko V.V. Advanced design precision mills // [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008\\_10/3.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008_10/3.pdf). (in Russ.).

[3] Patent No. 20969. Continuous mill for rolling strips of steels and alloys / S.A. Mashekov, E.Z. Nugman, A.S. Mashekov, et al. // Publ. 16.03.2009, Bull. №3. (in Russ.).

[4] Grudev A.P. Theory rolling. Ed. 2nd, Revised. and add. Intermet M. : Engineering, 2001. - 280 p. (in Russ.).

[5] Garber E.A., Kozhevnikova I.A., Traino A.Z., Kuznetsov V.N., Pavlov S.A. New methods of modeling the processes of cold rolling that improve the quality of cold-rolled sheet, saving energy and increasing the speed of continuous mills // Herald CSU. № 6. 2009. - p. 108-111. (in Russ.).

[6] Garber E.A., Kozhevnikova I.A., Tarasov P.A. Modeling of hot rolling wide bands considering sticking zone in the deformation // Proceedings of the Seventh Congress of distributors. M. - 2007. - p. 484-492. (in Russ.).

[7] Garber E.A., Kozhevnikova I.A., Tarasov P.A. Calculation of the efforts of hot rolling thin strips based on the stress-strain state in the deformation zone sticking // Production of steel. № 4. - 2007. - p. 7-15. (in Russ.).

[8] Garber E.A., Kozhevnikova I.A., Tarasov P.A. Increase the efficiency of rolling production, based on new methods of modeling the processes of rolling // Proceedings of IV International scientific-technical conference "Automation and energy efficiency engineering and metallurgical industries, technology and reliability of machines, devices and equipment." - Vologda: Vogt - 2008. - P. 13-15. (in Russ.).

[9] Garber E.A., Kozhevnikova I.A., Tarasov P.A. On the effect of the friction of the first and second order in the energy-power parameters of hot rolling four-high stands // Metals. № 6. - 2007. - p. 47-56. (in Russ.).

[10] Garber E.A., Kozhevnikova I.A., Tarasov P.A. Effective modes of hot rolling thin strips on broadband camps // Production of steel. № 1. - 2009. - p. 10-16. (in Russ.).

[11] Kononov Yu.V., Ostapenko A.L., Ponomarev V.I. Dimensioning sheet rolling. - М.: Metallurgy, 1986. - 430 p. (in Russ.).

[12] Machines and equipment of metallurgical plants. The 3 volumes, v.3 Machines and equipment for the production and finishing of steel. Textbook for High Schools /A.I. Pillars, PI Poluhin, VM Grebennik Mr. al. - М.: Metallurgy, 1988, 487 p. (in Russ.).

### **КӨПФУНКЦИОНАЛДЫ БОЙЛЫҚ-СЫНА ТҰРАҒЫНДА БОЛАТ ЖОЛАҚТАРЫН СУЫҚ ТЕГІСТЕУДІҢ ЭНЕРГИЯ КҮШТІ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЕСЕПТЕУ**

**С. А. Машеков, Е. П. Орлова, Б. Н. Әбсадықов, М. Е. Исаметова,  
Г. А. Смаилова, Е. З. Нугман, М. Л. Рахматулин**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,  
«Қазақстан-Британ техникалық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** тегістеу, жолақтар, тұрақ, қысым, өткізгіш.

**Аннотация.** Сапалы қаңылтыр алу және энергиякүштік шамаларды азайту мақсатында болаттар мен қорытпалардан жұқа жолақты ыстықтай және суықтай илемдеуге арналған жаңа конструкциялы көпфункционалы бойлық-үшкіл орнақ ұсынылады. Бұл жұмыста үйкеліс кернеуін есептеу әдістемесі мен жаңа орнақта жолақты илемдеу кезінде кернеулі-деформациялық күйдің ерекшелігін ескере отырып үйкеліс кернеуінің үлгісі ұсынылды. Көпфункционалы бойлық-үшкіл орнақта әртүрлі жаншу режимде болат жолақтар мен таспаларды суықтай илемдеу күші анықталды.

Алынған нәтижелер негізінде орнақ қапасында туындайтын илемдеу күші илемдеу бағытында айтарлықтай азаятыны (2 ден 10 дейін) анықталды.

Илемдеу күші мен жұмысы тек қана жанама кернеулерге байланысты пайда болатын жанама күштерге тәуелді.

Илемдеу күшінің және біліктерге әсер ететін жұмысшы моменттердің азаюы, сондай-ақ орнақтың қатандығының артуы бір жағынан жетектің қуаты мен қапас өлшемдерін азайтуға және де екінші жағынан илемделетін жолақтың дәлдігін артыруға мүмкіндік береді.

*Поступила 02.10.2015 г.*

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 07.10.2015.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
8,9 п.л. Тираж 2000. Заказ 5.