

МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л.Н. Гудимова, Э.Я. Живаго

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные этапы развития технических устройств и механизмов, используемых в металлургической промышленности. Приведено несколько примеров применяемых при выплавке и обработке металлов шарнирных рычажных механизмов, работающих в условиях высоких температур и нагрузок.

Ключевые слова: шарнирные рычажные механизмы, исполнительный механизм, машины и агрегаты, загрузочные устройства, механизм кристаллизатора.

MACHINES AND MECHANISMS OF METALLURGICAL PRODUCTION

L.N. Gudimova, E.Ya. Zhivago

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper considers the main stages of development of technical devices and mechanisms used in the metallurgical industry. The work provides several examples of articulated link mechanisms operating at high temperatures and loads, used in the smelting and processing of metals.

Keywords: articulated link mechanisms, actuator, machines and assemblies, loading devices, mold mechanism.

Введение

Известные советские и российские специалисты по истории и философии науки и техники, науковедению (такие как Б.И. Козлов, Н.Я. Конфедератов, А.Н. Боголюбов и другие) объясняют трудности при изучении античной техники ограниченностью исторической базы. Ни одна книга этого периода не дошла до нашего времени в виде артефакта. Все источники многократно переписывались и переводились с одного языка на другой. С уверенностью можно утверждать лишь то, что в XII – VII тысячелетиях до нашей эры слово «механизм» уже широко употреблялось и появились первые механические устройства, имеющие источник энергии. Изобретение водяного колеса (XIV – XV вв.) существенно изменило подачу и мощность дутья, стали широко использоваться простые рычажные механизмы не только непосредственно в процессе выплавки металлов, но и в металлообработке. Начиная с XVIII в. (периода первой технической революции) существенно изменяется не только технология изготовления металлов, но и применяемые

механизмы. Появляются загрузочные машины для доменных печей, устройства для подогрева воздуха и другие, большинство из которых основаны на применении шарнирных рычажных устройств и механизмов. Научной теории синтеза механизмов в то время не существовало, но развивающаяся промышленность требовала внедрения более сложных машин и механизмов и ставила перед учеными задачу нахождения такого метода синтеза, который позволит создавать машины, обладающие высокой работоспособностью и долговечностью. Русским ученым П.Л. Чебышёвым в 1852 г. была обоснована формула для построения шарнирных параллелограммных механизмов, которая была положена в основу существующих современных методов синтеза структур шарнирных механизмов.

Восстановить сколько-нибудь системно историю возникновения и развития технических сооружений, механизмов и машин, применяемых в различных отраслях промышленности (в том числе и в металлургическом производстве) от античности до наших дней практически не-

возможно [1 – 4]. Так как античные книги не дошли до нашего времени в виде архетипа – исследователи располагают только текстами, которые неоднократно перекопировывали и переводили с одного языка на другой. С уверенностью можно только утверждать, что под словом «техника» на протяжении всего времени существования человечества понимались не только средства труда (простые и сложные устройства, механизмы, машины), но и методы, процессы и технологии производства [5]. По мере развития технологического цикла любого производства изменялась и используемая техника, усовершенствование которой было тесно связано с развитием науки. По данным, приведенным в источниках по истории техники и технологий, говорится, что «металлы появились у человечества не вдруг, не в результате какого-то революционного скачка в развитии общества, они постепенно входили в его жизнь в течение некоторого переходного периода между каменным веком и веком металлов» [6].

Первые процессы плавления железной руды в смеси с древесным углем происходили сначала в неглубоких ямах, затем в небольших глиняных горнах (горшках). Раздувку проводили ртом при помощи трубок, вставленных в отверстия горна. Позднее стали применять меха из шкур животных, которые приводили в движение ручным или ножным способом. По мере развития общества потребность в металле постоянно возрастала. Увеличивались размеры горнов, масса загружаемой шихты, что требовало увеличения мощности дутья. Эту проблему удалось решить в XI – XII вв., используя изобретение водяного колеса, которое металлурги стали применять для приведения в действие воздуходушных мехов. На иллюстрациях работ [3, 4] видно, что уже в это время в устройствах в металлургии широко использовались простые рычажные механизмы.

Увеличившиеся в размерах горны стали шахтными печами, а в XIII – XV вв. появились печи с мощным дутьем, названные «домницами», что дало возможность получать не только железо, но и чугун. Древнейшие домны появились в Зигерланде во второй половине XV в. [3, 4], они отличались значительной высотой и мощным воздуходушным устройством. Это позволило значительно увеличить количество выплавляемого чугуна, но развивающееся общество требовало иных свойств металла, которые были необходимы для изготовления изделий в таких развивающихся промыслах, как горное дело, кузнечное ремесло и другие.

В период XIV – XV вв. появились первые вододействующие молоты, прокатные станы и

протяжные устройства для вытягивания проволоки и выделки жести. Могли быть и другие технологические схемы, определяемые спецификой и условиями производства, но ни в описании, ни в иллюстрированном варианте до нашего времени они не дошли. В конце XVIII в. для привода прокатного стана стали применять паровые машины. Прокатка стала одним из трех основных звеньев производственного цикла металлургических заводов, постепенно вытесняя менее производительный способковки.

Развитие металлообработки и машиностроения привело к совершенствованию горно-металлургического производства, которое потребовало применения новых устройств и механизмов для увеличения объемов и улучшения качества металла, что создавало предпосылки для развития научных основ металлургии [7, 8]. Так, в 1784 г. английским металлургом Генри Кортон запатентована пудлинговая печь. В 1850 г. англичанин Парри изобрел загрузочное устройство для доменной печи, а в 1857 г. Э. Каупер изобрел способ и устройство для подогрева воздуха отходящими газами доменной печи. В 1856 г. Г. Бессемер создал новый способ передела жидкого чугуна в сталь, а в 1864 г. французские инженеры отец и сын Эмиль и Пьер Мартен создали печь, в которой можно переделывать в сталь не только чугуны, но и железный лом.

Началом расцвета механики как науки можно считать конец XVIII – начало XIX вв. – период бурного развития математического естествознания [7, 8]. Это времена первой технической революции, времена Ньюкомена, Ползунова, Уатта, когда стали создаваться паровые машины, способные заменить труд людей и животных. Эти машины были первыми сложными рычажными механизмами. Разработки перечисленных изобретателей опережали науку и часто работали с принуждением. Достаточно указать на то, что знаменитый полный параллелограмм Уатта, который был положен в основу создания серии подобных машин, широко используемых в технике того времени, не являлся механизмом. Только благодаря развитию науки теории механизмов и машин стало возможно создание работоспособных рычажных механизмов, которые и до настоящего времени используются в металлургической промышленности [9, 10].

Шарнирные рычажные механизмы металлургического производства и современные требования, предъявляемые к ним

Современная металлургия в настоящее время охватывает все стадии технологических процессов: от добычи и обогащения сырья до получения готовой продукции в виде черных и цветных

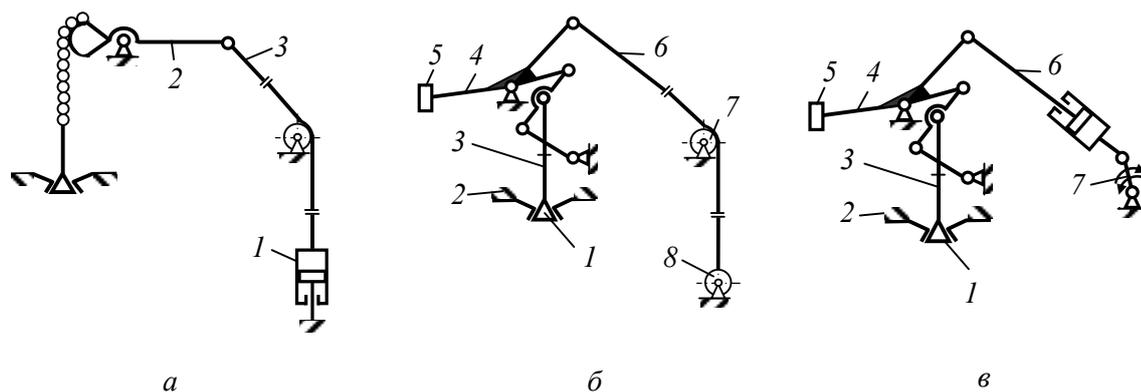


Рис. 1. Схемы приводов конусов загрузочных устройств

металлов и их сплавов. Как показал проведенный анализ по использованию машин и агрегатов [11 – 16], на металлургических заводах до 40 % от общего числа используемых составляют рычажные или кривошипно-шарнирные механизмы. Приведем несколько примеров таких механизмов. На рис. 1 показаны структурные схемы приводов загрузочных устройств, используемых для загрузки шихты в доменную печь.

Известно два типа привода конусов: свободный и принудительный. При использовании свободного привода его опускание осуществляется под действием веса шихты и конуса (рис. 1, а). Подъем производится принудительно электролебедкой или пневмоцилиндром 1, связанными через рычажный балансир 2 гибкой связью 3. Приводы второго типа (рис. 1, б, в) могут быть балансирными и безбалансирными. Существуют балансирные приводы канатные, от электролебедки (рис. 1, б) и бесканатные, гидравлические (рис. 1, в). В обоих случаях в структурах привода присутствует кривошипно-шатунный механизм.

Современные машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) состоят из большого числа элементов и узлов, таких как сталеразливочный стенд, промежуточный ковш, тележка или стенд для промежуточного ковша, кристаллизатор, механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора, опорные элементы и устройства зоны вторичного охлаждения, устройства для транспортировки слитка, механизм для ввода и уборки заправки и др.

Кристаллизатор является важной частью МНЛЗ, он обеспечивает интенсивный отвод тепла кристаллизирующейся стали. Для создания условий отсутствия зависания и прилипания тонкой корочки жидкого металла используются следующие типы механизмов качения кристаллизатора: рычажно-кулачковые, рычажно-кулисные, рычажно-шарнирные [17 – 20]. Особым требова-

нием к конструкции механизма качения является высокая частота качения, это обеспечивает усреднение теплоотвода и снижение неравномерности при нарастании толщины корочки металла. Высокая частота качения вызывает быстрый износ шарнирных соединений и деформацию звеньев (деталей) механизма качения. На рис. 2 показана структурная схема механизма качения кристаллизатора, являющегося рычажно-шарнирным механизмом. Механизм качения состоит из двух соединенных между собой четырехзвенных механизмов 1 и 2. Расположение точек *A, B, C, D* обеспечивает высокую точность движения кристаллизатора при вытягивании слитка. Достигается это повышенной точностью изготовления звеньев четырехзвенных механизмов и соблюдением параллельности шатунов, образующих четырехугольник *ABCD*.

Вакуумные дуговые электропечи используются для получения высококачественных стальных слитков. Дуга в таких печах поддерживается в вакууме между ванной слитка, который формируется в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе, и расходуемым электродом. Кристаллизатор прижимается к опорному кольцу вакуум-камеры четырьмя одинаковыми механизмами. Структурная схема механизма приведена (в рабочем положении) на рис. 3, а.

Рычажный механизм *ABCD* соединен с захватом 1 шарниром 5 с ограниченной подвижностью. Шатун 4, шарнир 5 и ползун 3 обеспечивают отклонение захвата и его вертикальное перемещение. Пружина 2 обеспечивает постоянную силу прижатия и самозапирание механизма после перехода через верхнее «мертвое» положение. Приводом механизма является качающийся гидроцилиндр 7.

Несмотря на то, что основным рабочим органом (технологическим инструментом) прокатного стана являются валки, машины и механизмы главной линии должны содержать большое

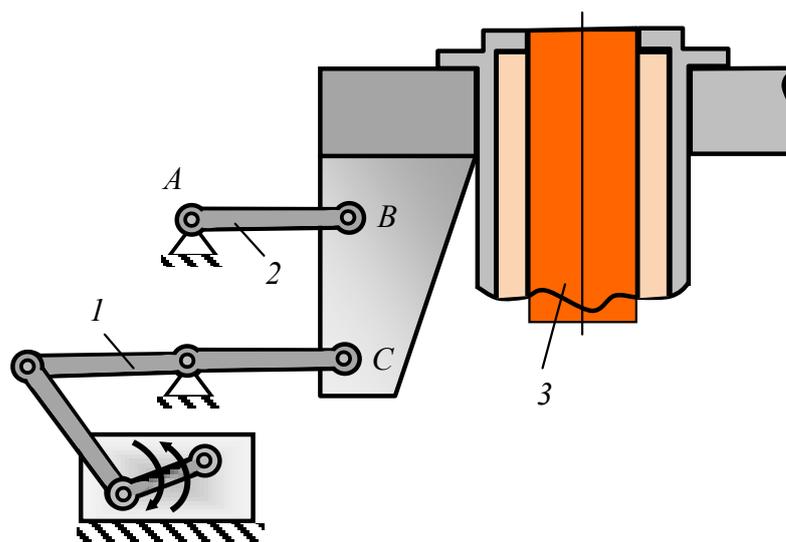


Рис. 2. Кинематическая схема механизма качения кристаллизатора

количество различных по назначению передаточных механизмов [21 – 26], среди которых значительное место занимают кривошипно-рычажные. В качестве примера показана кинематическая схема устройства подъемно-качающихся столов трехвалковой клетки (рис. 4, а).

Такое устройство столов применяется в среднесортных и крупносортных станах. Стол 1 приводится в движение от электродвигателя через редуктор 2. Подъем и поворот относительно оси 3 происходит при помощи вертикальной тяги 4 и кривошипно-рычажной передачи 5. Подъем и опускание стола осуществляется в результате поворота кривошипного вала редуктора на 180°.

Для уравновешивания стола используют контргрузы 6. Для разгрузки кривошипного вала редуктора контргрузы устанавливаются на отдельном рычаге 7, который поворачивается вокруг подшипника 8, дополнительного кривошипа 9. Синхронная работа случаев, если подъемно-

качающиеся столы устанавливаются с двух сторон, осуществляется соединением тяги 10 приводов переднего и заднего стола. В этом случае столы приводятся в движение одним электродвигателем через редуктор 2 и кривошипную передачу 5.

Для поперечной резки горячего проката различных сечений после прокатки на различных сортовых станах (слябингах, блюмингах) применяются ножницы с параллельными ножами. На ножницы поступает металл, температура которого обычно находится в интервале 800 – 1000 °С. Легучие ножницы для резки горячей заготовки с радиальным ступенчатым выравниванием скорости ножей устанавливаются за последней клетью непрерывного заготовочного стана 850/700/500 для резки заготовок сечением от 60×60 до 100×100 мм. Скорость движения заготовки составляет 5,2 – 1,8 м/с, длина заготовок соответствует определенному ряду длин (минимальная 2,5 м, а максимальная 12,0 м).

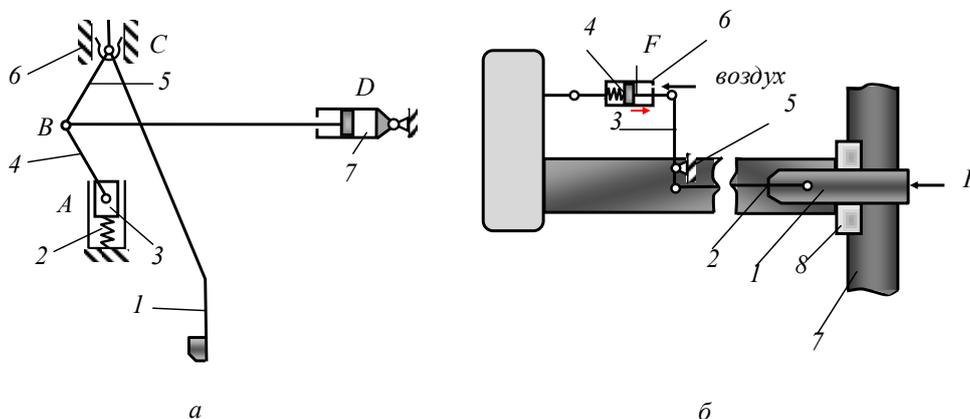


Рис. 3. Структура рычажного механизма прижима кристаллизатора (а) и зажима электрода (б)

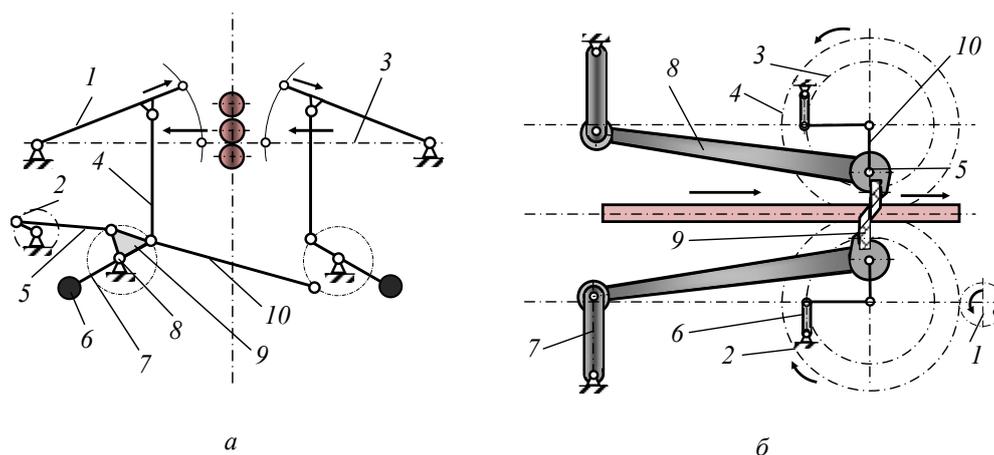


Рис. 4. Рычажное устройство перемещения столов среднесортного и крупносортного станов (а), кинематическая схема рычажно-кривошипных летучих ножей (б)

На рис. 4, б показана часть кинематической схемы, то есть устройство шестизвенного рычажного шарнирного механизма, при помощи которого непосредственно происходит резание металла. Ножи 9 закреплены на концах в головках (суппортах) шатунов 8, второй конец которых шарнирно соединен с качающимся шатуном 7, закрепленным на станине ножей. Головки ножей свободно устанавливаются в пальцах 5 двух кривошипов 10. Кривошипы получают движение от водил (на рисунке не показаны) при помощи звена 6. Звенья 6 необходимы потому, что оси вращения водил и кривошипов не совпадают. Водила приводятся в движение шестернями 1 и 2 от электродвигателя.

Проведенный анализ устройств и механизмов [27 – 29] современной металлургической промышленности показал, что на всех стадиях металлургического цикла в большей или меньшей степени в машинах и агрегатах присутствуют рычажные системы и шарнирные рычажные механизмы. Особенности металлургического производства являются непрерывность работы металлургических агрегатов [30], тесная связь между смежными цехами, тяжелые условия работы оборудования, связанные с высокими температурами, скоростями, запыленностью и динамическими нагрузками. Существенным недостатком шарнирных рычажных механизмов является наличие в них избыточных связей, устранение которых решает основные проблемы, связанные с температурными деформациями деталей механизмов и точностью их изготовления. Отсутствие избыточных связей позволит повысить износостойкость, работоспособность деталей и, как следствие, приведет к увеличению коэффициента полезного действия механизма и долговечности машины в целом [31 – 33].

Создание методики синтеза структур шарнирных рычажных механизмов без избыточных

связей позволит находить все их многообразие, а последующие исследования (кинематическое и силовое) дадут возможность уже на первых этапах проектирования рекомендовать структуру механизма, наиболее удовлетворяющую определенному технологическому циклу.

Выводы

На всех стадиях металлургического цикла в большей или меньшей степени в машинах и агрегатах присутствуют рычажные системы и шарнирные рычажные механизмы. Существенным недостатком шарнирных рычажных механизмов является наличие в них избыточных связей, их устранение решает основные проблемы, связанные с температурными деформациями деталей механизмов и точностью их изготовления. Отсутствие избыточных связей позволит повысить износостойкость, работоспособность деталей и приведет к увеличению коэффициента полезного действия механизма и долговечности машины в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козлов Б.И. Опыт историко-теоретического исследования. Возникновение и развитие технических наук. – Л.: Наука, 1987. – 248 с.
2. Запарий В.В. История черной металлургии Урала. 90-е годы XX века. – М.: Наука, 2017. – 264 с.
3. Дятчин Н.И. История развития техники. – Ростов на Дону: Феникс, 2001. – 320 с.
4. Машиностроение. Энциклопедия / К.В. Фролов и др. – М.: Машиностроение, 1994. – 534 с.
5. Боголюбов А.Н. Развитие теории механизмов и машин в трудах ученых XVIII – 1-ой половины XIX века: автореф. канд. техн. наук: 10.02.2011: Киев, 1961. – 23 с.

6. Конфедератов Н.Я. Джеймс Уатт. Изобретатель паровой машины. – М.: Наука, 1969. – 224 с.
7. Цирульников Е.В. История отечественной металлургии в лицах (памятные даты III квартала 2014 г.) // Черные металлы. 2014. № 9. С. 86 – 88.
8. Машины и агрегаты металлургического производства. Т. IV – 5 / Н.В. Пасечник, В.М. Синицкий, В.Г. Дрозд и др. – М.: Машиностроение-1, 2000. – 912 с.
9. Сортовые машины непрерывного литья заготовок. – Краматорск: ЗАО "НКМЗ", 2009. – 16 с.
10. Ульчицкий О.А., Казанева Е.К., Булатова Е.К., Хисматуллина Д.Д. История мартеновских цехов корпорации «Юнайтед Стейтс Стил» в городах Гэри и Магнитогорск // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 1 (54). С. 41 – 47.
11. Дукмасов В.Г., Агеев Л.М. Состояние и развитие технологии оборудования в мировой металлургии. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 187 с.
12. Цирульников Е.В. Новый металлургический завод ООО «НЛМК-Калуга» // Черные металлы. 2013. № 9. С. 33 – 35.
13. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1987. – 440 с.
14. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. Т. 2. Машины и агрегаты сталеплавильных цехов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1987. – 432 с.
15. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
16. Кузнечно-штамповочное оборудование / А.Н. Банкетов, Н.С. Добринский и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
17. Kalker J.J. Three-dimensional elastic bodies in rolling contact. – London: Kluwer Academic Publisher, 1990. – 314 p.
18. Kim J.H. A new computational approach to contact mechanics using variable-node finite elements // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2007. Vol. 73. No. 13. P. 1966 – 1988.
19. Garcia de Jalon J., Bayo E. Kinematic and dynamic simulation of multibody systems. The realtime challenge. – New-York: Springer-Verlag. 1994. – 449 p.
20. Goncharov K.A., Fedorov A.A., Chechulin Y.B. Using finite element method for the strength calculation of tube rolling equipment. – In book: 18-th CAD-FEM User's Meeting 2000. Internationale FEM-Technologietage. – Friedrichshafen. Lake Constance. 2000. P. 323 – 326.
21. Goncharov K.A., Chechulin Y.B. Stress-strain state of mill for cold rolling of tubes. – In book: Proceedings of 13th International Symposium «Materials, methods and technologies». – Sunny Beach. Bulgaria, 2011. P. 222 – 229.
22. Goncharov K.A., Chechulin Y.B. Stress state of a tool for stamping tubes. – In book: Proceedings of 13th International Symposium «Materials, methods and technologies». – Sunny Beach. Bulgaria, 2011. P. 212 – 221.
23. Смирнов А.Н., Подкорытов А.Л. Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2010. № 2 (260). С. 61 – 65.
24. Goncharov K.A., Chechulin Y.B. Algorithm to find technical solutions for the modernization of the cold rolling mill of large diameter pipes. – In book: Proceedings of 13th International Conference on Applied Mathematics and Computational Methods (AMCM '13). – Venice, Italy. 2013. P. 64 – 68.
25. Shinkin V.N. Calculation of technological parameters of O-forming press for manufacture of large-diameter steel pipes // CIS Iron and Steel Review. 2017. Vol. 13. P. 33 – 37.
26. Lakshmi Shamvardhini Sydanna T.R. Manufacturing with design and analysis of rotor shaft of hammer mill crusher // International Journal of Science. Engineering and Technology Research (IJSETR). 2017. No. 5. P. 877 – 881.
27. Fomin A., Glazunov V., Terekhova A. Development of a Novel Rotary Hexapod with Single Drive. – In book: Proceedings of the 22nd CISM IFToMM Symposium ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics and Control. 2019. P. 141 – 146.
28. Jelali M. Performance assessment of control systems in rolling mills-application to strip thickness and flatness control // Journal of Process Control. 2007. No. 17. P. 805 – 816.
29. Gad J. Analiza i ocena sytuacji finansowej przedsiębiorstwa. – In book: Ekonomia finansów i prawo gospodarcze. Podręcznik dla sędziów i prokuratorów. – Łódź – Lublin: Uniwersytet Łódzki Wydział Zarządzania, 2015. P. 69 – 77.
30. Zakrzewska-Bielawska A. The strategic dilemmas of innovative enterprises: proposals for high-technology sectors // R&D Management. 2012. Vol. 42. No. 5. P. 514 – 514.
31. Thome R., Ostheimer V., Ney G., Rüpell F., Girgensohn A., Plociennik U., Schmitz W., Geerkens Ch., Becker M. Soft reduction in the continuous casting of billets. – In book: Millennium Steel. 2007. P. 112 – 118.
32. Белитченко А.К., Ротенберг А.М., Форин А.И., Целиков А.А. Тянуще-правильные машины шестиручьевых радиальных МНЛЗ Молдавского металлургического завода // Сталь. 1990. № 7. С. 32 – 34.
33. Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т. Проблемы исключения избыточных связей в плоских шарнирных механизмах // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-1. С. 24 – 32.