

# Лабораторный прокатный стан ДУО-130

Радионова Л.В., Фаизов С.Р., Лисовский Р.А., Лисовская Т.А., Жлудов М.А., Макаров А.В.  
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)  
г. Челябинск, Российская Федерация  
[radionovalv@rambler.ru](mailto:radionovalv@rambler.ru), [sosedkova92@mail.ru](mailto:sosedkova92@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена описанию конструкции и принципа работы прокатного стана ДУО-130 производства НИИ “Учебная техника и технологии”, ЮУрГУ (НИУ). Разработанный прокатный стан предназначен для проведения лабораторных и научно-исследовательских работ. Отличительными особенностями данного лабораторного стана являются: небольшие габариты при сохранении классического построения главной линии прокатной клетки, система автоматизации станом и система сбора данных, которая не только позволяет измерять усилие прокатки и крутящий момент, но и выводить их в виде графиков и диаграмм на сенсорный экран пульта управления. В статье приведено описание системы управления станом, рассмотрены предложенные решения по построению системы сбора и анализа данных полученных при осуществлении прокатки. Уделено внимание описанию средств обеспечения безопасности при работе со станом, как в виде конструкторских решений, так и со стороны программного обеспечения. В статье даны рекомендации по использованию разработанного лабораторного оборудования как в образовательном процессе при подготовке специалистов в области машиностроения и металлургии, так и при проведении научных исследований, связанных с исследованием экспериментальных марок стали и сплавов в процессе прокатки.

**Ключевые слова:** прокатный стан, лабораторное оборудование, обработка металлов давлением, прокатка, валки, прокатная клетка, усилие прокатки.

## ВВЕДЕНИЕ

Прокатный стан – это комплекс оборудования, в котором происходит пластическая деформация металла между вращающимися валками. Прокатка является наиболее распространенным способом пластической деформации в обработке металлов давлением. До 90% всей выплавляемой стали, а также большую часть цветных металлов подвергают прокатке. Это связано в том числе с тем, что процесс прокатки наиболее производительный метод придания изделиям требуемой формы.

Современные прокатные станы позволяют осуществлять не только формоизменение, но и формировать в процессе прокатки и дополнительных операций в линии стана требуемые физико-механические свойства. Современные высокопроизводительные станы требуют сложнейшей системы автоматизации, так как скорость непрерывной прокатки, например, на мелкосортно-проволочном стане, достигает 70 м/с. Для того чтобы управлять такими станами нужно знать основные закономерности процесса прокатки. В ходе подготовки специалистов средней и высшей квалификации обслуживающих прокатные станы и разрабатывающих технологические режимы прокатки различных сплавов и профилей имеется ряд дисциплин, при изучении которых студенты выполняют лабораторные рабо-

ты связанные с изучением основных принципов прокатки и законов обработки металлов давлением.

Целью настоящей работы является разработка прокатного стана ДУО-130 с системой автоматизации и сбора данных, который бы позволял в лабораторных условиях в полном объеме физически моделировать процесс листовой и сортовой прокатки и изучать закономерности и особенности прокатки.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТКИ

Существует три основных способа прокатки: продольная, поперечная и винтовая.

Второй и третий способ используются лишь для обработки тел вращения, поэтому они значительно менее распространены, нежели продольная прокатка. Поэтому для разработки лабораторного прокатного стана выбран продольный способ прокатки. При продольной прокатке деформация заготовки происходит между вращающимися в противоположных направлениях валками (рис. 1). Валки – это рабочий инструмент для прокатки металлов. Для прокатки листового проката применяется валок так называемая “гладкая бочка”, который представляет из себя цилиндр различных диаметров и определенной длины, причем длина валка в листовых станах выносится в его название, например, “стан 2000”. При сортовой прокатке определяющим является диаметр валка. Для осуществления сортовой прокатки на валки нарезаются ручки, которые при сведении валков образуют калибры. Калибры необходимы для формирования требуемого профиля проката, например, квадрат, круг, прямоугольник и т.д. Каждый валок представляет собой цилиндр, изготовленный из прочного чугуна или стали.

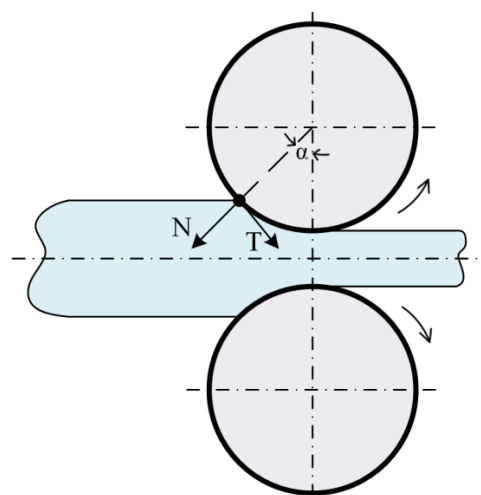


Рис. 1. Схема сил, действующих при прокатке

В процессе прокатки заготовка обжимается, проходя в зазор между валками за счет чего заготовка уменьшается в поперечном сечении и увеличивается в длину. Такая деформация происходит за счет сил трения между валками и заготовкой, которые способствуют перемещению последней и непосредственно самой деформации. В момент захвата на заготовку действуют нормальная сила  $N$  и касательная сила трения  $T$  (рис. 1).

Угол  $\alpha$  – это угол захвата, который соответствует дуге по которой валок соприкасается с металлом. Объем металла заготовки между дугами захвата называется очагом деформации.

Для того, чтобы произошел захват, т.е. начался сам процесс прокатки металла, необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата  $\alpha$ .

На величину угла захвата оказывает влияние не только коэффициент трения, но и диаметр валка, наличие или отсутствие подпирающих сил и конечно обжатие, которое определяется толщиной заготовки на входе в валки и на выходе из них.

Для осуществления процесса непрерывной прокатки на многоклетевых станах необходимо знать опережение и отставание. Зона опережения – участок очага деформации, в котором средняя скорость металла выше горизонтальной составляющей окружной скорости валков. Зона отставания соответственно входная часть очага деформации при прокатке, в которой скорость металла ниже окружной скорости валков. На величину опережения и отставания наибольшим образом влияет коэффициент трения и уширение.

Уширение – это разность между шириной сечения до и после прокатки. Правильный учет уширения при сортовой прокатке и прокатке фасонных профилей определяет степень заполнения калибра металлом и точность получаемого профиля, а также устойчивость полосы в калибре.

Выше приведены только самые основные факторы, влияющие на стабильность процесса прокатки и качество прокатной продукции. На самом деле их значительно больше, а их взаимодействие еще существеннее усложняют как сам процесс прокатки, так и требования к оборудованию, необходимому для его реализации.

#### ПРОКАТНЫЙ СТАН

Для изучения влияния технологических факторов (обжатия, диаметра валков, коэффициента трения, скорости прокатки, и т.п.) на процесс прокатки необходимо иметь простой в обслуживании, но позволяющий достаточно точно фиксировать энергосиловые характеристики прокатного стан. Система автоматизации и программное обеспечение должно позволять не только видеть величину усилия прокатки и момент, но и сохранять их в базу для возможности дальнейшего использования и анализа. Именно стан с такими характеристиками и был спроектирован и произведен нами в рамках выполнения проектной работы в НИИ “Учебная техника и технологии”.

Лабораторный прокатный стан ДУО-130 приведен на рис. 2. Габаритные размеры стана составляют (Д×Ш×В): 2100×600×1300 мм. Вес не превышает 800 кг.

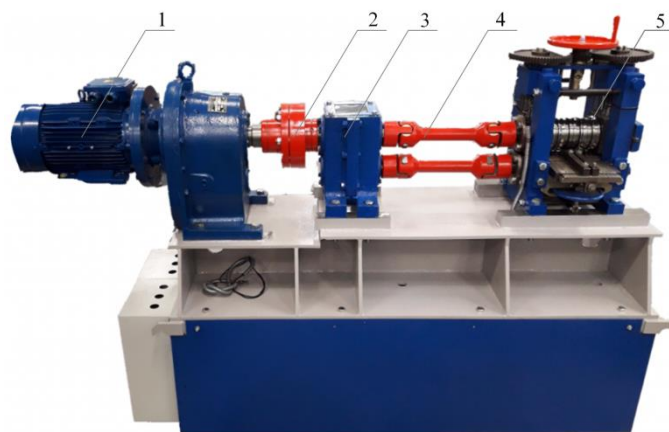


Рис.2. Лабораторный прокатный стан ДУО-130: 1 – мотор-редуктор; 2 – втулочно-пальцевая муфта; 3 – шестеренная клеть; 4 – универсальные шпиндели; 5 – рабочая клеть

В качестве инструмента для прокатки в разработанном стане применяются комбинированные валки (рис. 3), сочетающие в себе одновременно и гладкий и калиброванный валок, что позволяет избежать перевалки валков. Это крайне полезно для учебного оборудования, так как позволяет проводить лабораторные работы различного типа без лишних затрат, в том числе и временных. На сортовых валках нарезаны калибры по системе круг-овал-круг, которые позволяют получить готовый круглый прокат диаметром 6 мм.

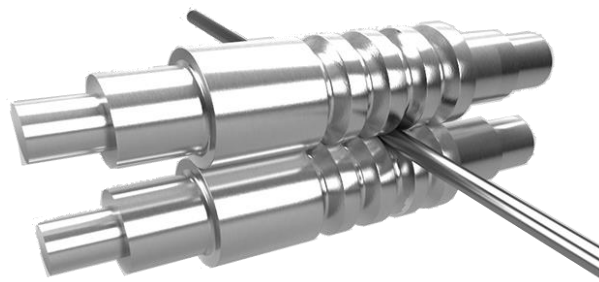


Рис.3. Комбинированные валки: 1 – гладкая бочка; 2 – калибр; 3 – прокатанный профиль

На рис. 4 приведена рабочая клеть стана. Универсальные валки 8 с длиной бочки 200 мм размещаются в подушках 9 посредством подшипников 5. Уравновешивающее устройство 6 позволяет прижимать верхний валок к нажимным винтам 3.

Подушки 9 с валками 8 размещаются в станине 7. В качестве нажимных устройств использованы нажимной винт 3 с ручным приводом 1. Шестерни 2 входят в зацепление и равномерно опускают или поднимают верхний валок, показывая на индикаторе величину зазора между валками.

Для определения усилия прокатки между нажимным винтом и подушкой установлена мессдоза 4 типа шайба с максимальным давлением 20000 Н.

Для передачи крутящего момента от шестеренной клетки к валкам применяется шпindel универсального типа. Применение такого типа шпинделя позволяет поднимать верхний валок с углом до 12°.

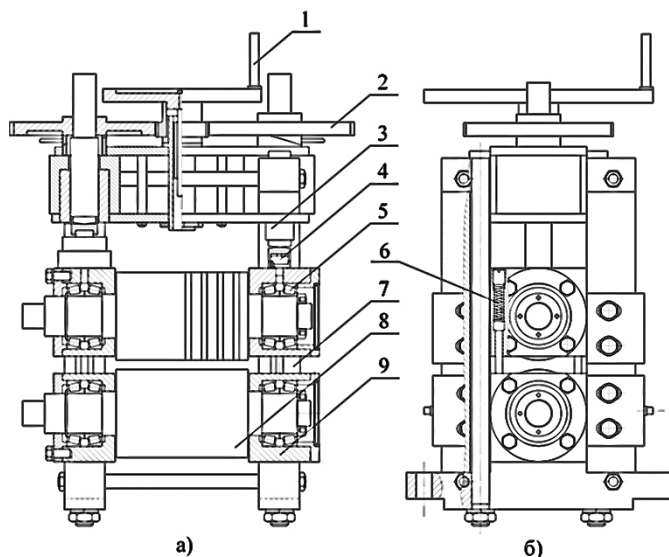


Рис. 4. Прокатная клетка стана ДУО-130  
(а – вид спереди, б – вид сбоку):

1 – ручной привод, 2 – шестерни, 3 – нажимной винт, 4 – месдоза, 5 – подшипники, 6 – уравнивающее устройство, 7 – станина, 8 – валки, 9 – подушки

Для раздачи крутящего момента от мотор-редуктора к шпинделям применена шестеренная клетка с передаточным числом равным 1.

Прокатные валки приводятся в движение от мотор-редуктора с асинхронным двигателем мощностью 5,5 кВт с числом оборотов 950 об/мин.

Для удобства задачи заготовки и приема готового проката на стане использованы задающий и приемный столы с передвигаемой по столу проводковой арматурой.

Стан представленной конструкции позволяет осуществлять прокатку с усилием не более 60 кН. В качестве заготовки для проведения лабораторных работ рекомендуется использовать свинец. Для моделирования листовой прокатки заготовки типа “сляб” шириной от 30 до 50 мм и толщиной от 8 до 15 мм. Для моделирования сортовой прокатки круглая литая заготовка диаметром 9 мм или заготовка типа “блюм” размером 10×10 мм. Для отливки требуемых заготовок в комплекте со станом предусмотрены изложницы указанных типоразмеров.

Для управления станом, сбора и обработки информации в состав стана входит пульт управления и шкаф автоматики.

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОКАТНОГО СТАНА

Для автоматизации стана используется следующее оборудование: тензодатчики, для измерения усилия прокатки, энкодер для измерения реальной скорости асинхронного электродвигателя, векторный преобразователь частоты для управления асинхронным двигателем, программируемый логический контроллер для централизованного управления, сбора, обработки и хранения технологических параметров процесса.

Два тензодатчика установлены на подушках верхнего вала под нажимными винтами. Они позволяют определить усилия прокатки. Установка двух датчиков объясняется тем, что необходимо усреднять измерения, так как прокатка происходит не по середине валков.

Вращение валков обеспечивает мотор-редуктором на основе асинхронного электродвигателя мощностью 5,5 кВт. Управление двигателем осуществляется векторным преобразователем частоты с обратной связью по скорости. В качестве датчика скорости используется инкрементальный оптический энкодер, установленный на валу двигателя.

Векторный преобразователь частоты российского производителя ОВЕН установлен в пульте управления станом (рис. 5). Сигналы задания на него поступают с программируемого логического контроллера ПЛК 160, также производства фирмы ОВЕН. На контроллер поступают сигналы с тензодатчиков через весовые преобразователи. ПЛК связывается с компьютером и передает информацию о всех технологических переменных процесса в программное обеспечение.

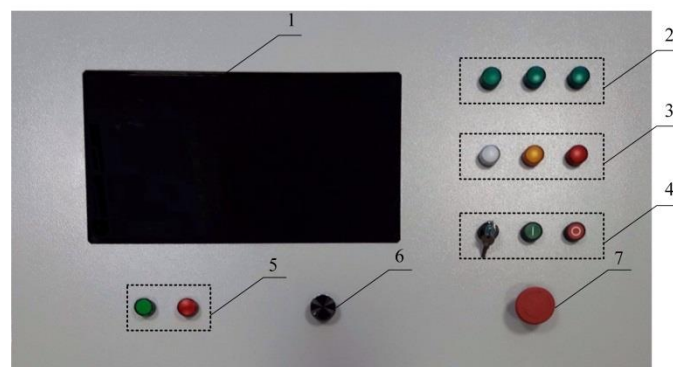


Рис. 5. Панель пульта управления оператора

Человеко-машинный интерфейс позволяет оператору управлять процессом через пульт управления. На лицевой панели пульта (см. рис. 5) располагаются сенсорный экран, кнопки управления, ручки регулировки скорости и сигнальные лампы. На сенсорном мониторе 1 через специальное программное обеспечение отображаются основные параметры процесса: общее усилие прокатки и скорость вращения валков. Сигнальные лампы на лицевой панели разделены на два логических блока: лампы питания стана 2 и лампы состояния 3. В блок питания входят лампы: сеть, питание пульта и питание шкафа. К лампам состояния относятся: связь, критическая нагрузка и авария. Блок управления питанием 4 включает в себя ключ-бирку для блокировки стана и кнопки включения/выключения стана. Блок управления приводом 5 включает в себя кнопки пуска и останова привода валков стана. Скорость вращения валков изменяется ручкой регулировки 6. Кнопка аварийного отключения 7 мгновенно останавливает привод стана.

Таким образом, система автоматизации позволяет осуществлять управление станом путем изменения скорости вращения валков, а система сбора данных фиксировать посредством месдоз усилие прокатки и определять крутящий момент по сигналу с контроллера.

На экран сенсорного монитора выводится информация о технологических режимах прокатки, введенная оператором стана и энергосиловые характеристики, полученные с датчиков, установленных на стане.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный и изготовленный прокатный стан ДУО-130 предназначен для проведения лабораторных и научно-исследовательских работ. Конструктивная стана простота и позволяет задействовать его в образовательных учреждениях разного уровня, поскольку его обслуживание не требует специальных навыков. Вместе с тем он сохранил в своей конструкции классическое расположение оборудования в главной линии прокатной клетки, что очень ценно для учебного процесса. Система автоматизации и сбора данных позволит не только проводить основные лабораторные работы по таким дисциплинам, как “Обработка металлов давлением”, “Технологические основы прокатки”, “Теория обработки металлов давлением” и др., но и выполнять научно-исследовательские работы по изучению особенностей пластической деформации новых видов сталей и сплавов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Радионова Л.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / Л.В. Радионова, Е.В. Шекунов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 217 с.
2. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высш. шк., 2001. – 638 с.
3. Сарапулов О.А. Система автоматического управления процессом охлаждения на сортовом стане горячей прокатки / О.А. Сарапулов, Л.В. Радионова // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2009. – С. 94-98.
4. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод совмещенного прокатно-волочильного стана: основные

задачи и направления разработки // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2006. – С. 55-58.

5. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. – М.: Metallurgy, 1972. – 408 с.

6. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник. – М.: Metallurgy, 1987. – 440 с

7. Харитонов В.А. Сравнительный анализ напряженного состояния металла при продолжной прокатке и прокатке-прессовании / В.А. Харитонов, И.В. Таранин // Сталь. – 2014. – С. 28-61.

8. Калачев М.И. Деформационное упрочнение металлов. – Минск: Наука и техника, 1980. – 256 с.

9. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgy, 1987. – 480 с.

10. Кроха В.А. Кривые упрочнения металлов при холодной деформации. – М.: Машиностроение, 1968. – 131 с.

11. Лукашкин Н.Д. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учеб. для вузов. / Н.Д. Лукашкин, Л.С. Кохан, А.М. Якушев – М.: Академкнига, 2003. – 456 с.

12. Математическое моделирование взаимосвязанных электромеханических систем непрерывной подгруппы клеток прокатного стана. Часть 1. Разработка математической модели. / А.А. Радионов, А.С. Карандаев, А.С. Евдокимов и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Энергетика. – 2015. – Т. 15, №1. – С. 59-73.

DOI: 10.24892/RIIE/20170406

## Automated Laboratory Drawing Mill DUO-130

Radionova L.V., Faizov S.R., Lisovskiy R.A., Lisovskaya T.A., Zhlyudov M.A., Makarov A.V.

South Ural State University (national research university)

Chelyabinsk, Russian Federation

[radionovalv@rambler.ru](mailto:radionovalv@rambler.ru), [sosedkova92@mail.ru](mailto:sosedkova92@mail.ru)

**Abstract.** The article is devoted to the description of the design and operation principle of the rolling mill DUO-130 which produces by the Scientific Production Enterprise «Educational Technology». Rolling mill is designed for laboratory and scientific research. The distinctive features of this laboratory mill are small dimensions while maintaining the classical construction of the main line of the rolling stand, the automation system of the mill and the data collection which can measuring the rolling force and torque and can display them on touch screen of the console management in the form of graphs and diagrams. Article describes control system of the mill, also it propose solutions for the construction of the system for collecting and analyzing data obtained during the rolling operation are considered. Attention is paid to the description of the means of ensuring safety during the work of the mill. This is both design decisions and software. The article gives recommendations on the use of the developed laboratory equipment both in the educational process in the training of

specialists in the field of engineering and metallurgy, as well as in conducting research related to the study of experimental steel grades and alloys in the rolling process.

**Keywords:** rolling mill, laboratory equipment, metal forming, rolling, rolls, rolling stand rolling force.

#### REFERENCES

1. Radionova L.V., Shekunov E.V. *Materialovedenie. Tekhnologiya konstrukcionnyh materialov* [Materials Science. Technology of constructional materials], Magnitogorsk, MGTU, 2010, 217 p. (in Russ.)
2. Fetisov G.P., Karpman M.G., Matyunin V.M. et al., Fetisova G.P. (Ed.) *Materialovedenie i tekhnologiya metallov* [Material Science and Technology of Metals: A Textbook for Universities], Moscow, Higher education school, 2001, 638 p. (in Russ.)

3. Sarapulov O.A., Radionova L.V. Automatic control system for the cooling process on a hot-rolled mill [Sistema avtomaticheskogo upravleniya protsessom okhlazhdeniya na sortovom stane goryachey prokatki], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika [Scientific and Technical Journal. Russian Electromechanics]*, 2009, pp. 94-98. (in Russ.)

4. Radionov A.A. Avtomatizirovannyj ehlektroprivod sovmeshchennogo prokatno-volochil'nogo stana: osnovnye zadachi i napravleniya razrabotki [Automated electric drive of a combined rolling mill: the main tasks and directions of development], *Vestnik magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova [MGTU]*, 2006, pp. 55-58. (in Russ.)

5. Tomlenov A.D. *Teoriya plasticheskogo deformirovaniya metallov* [Theory of plastic deformation of metals], Moscow, Metallurgy, 1972, 408 p. (in Russ.)

6. Tselikov A.I., Polukhin P.I., Grebenik V.M. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov* [Machines and units of metallurgical plants], Moscow, Metallurgy, 1987, 440 p. (in Russ.)

7. Kharitonov V.A., Taranin I.V. Comparative analysis of stress state of metal during continuous rolling and rolling-pressing [Srvnitel'nyj analiz napryazhennogo sostoyaniya metalla pri prodol'noj prokatke i prokatke-pressovanii], *Stal' [Steel]*, 2014, pp. 28-61. (in Russ.)

8. Kalachev M.I. *Deformacionnoe uprochnenie metallov* [Deformation hardening of metals], Minsk, Science and Technology, 1980, 256 p. (in Russ.)

9. Korolev A.A. *Mekhanicheskoye oborudovaniye prokatnykh i trubnykh tsekhov* [Mechanical equipment rolling and pipe shops], Moscow, Metallurgy, 1987, 480 p. (in Russ.)

10. Krokha V.A. *Krivyye uprochneniya metallov pri kholodnoy deformatsii* [Curves of hardening of metals by cold deformation], Moscow, Mashinostroyeniye, 1968, 131 p. (in Russ.)

11. Lukashkin N.D., Kokhan L.S., Yakushev A.M. *Konstruktziya i raschet mashin i agregatov metallurgicheskikh zavodov* [Design and calculation of machines and units of metallurgical plants], Moscow, Akademkniga, 2003, 456 p. (in Russ.)

12. Radionov A.A., Karandaev A.S., Evdokimov A.S. et al. Mathematical Modelling of the Interrelated Electric and Mechanical Systems of Continuous Sub-Group of the Rolling Mill Stands. Part 1. Development of the Mathematical Model, *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2015, vol.15, no.1, pp. 59-73. (in Russ.) DOI: 10.14529/power150108

#### Библиографическое описание статьи

Радионова Л.В. Лабораторный прокатный стан ДУО-130 / Л.В. Радионова, С.Р. Фаизов, Р.А. Лисовский, Т.А. Лисовская, М.А. Жлудов, А.В. Макаров // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2017. – Т.5, №4. – С. 46-50. DOI: 10.24892/RIJE/20170406

#### Reference to article

Radionova L.V., Faizov S.R., Lisovskiy R.A., Lisovskaya T.A., Zhudov M.A., Makarov A.V. Automated laboratory drawing mill DUO-130, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2017, vol.5, no.4, pp. 46-50. DOI: 10.24892/RIJE/20170406