

DOI: 10.34220/2311-8873-2025-46-52



УДК 621.789

UDC 621.789

2.5.5 – технология и оборудование  
механической и физико-технической  
обработки

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРУБНЫХ  
ЗАГОТОВОК С ПОВЫШЕННЫМ  
КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ МЕТОДОМ  
ВИНТОВОГО ОБЖАТИЯ**

**Дементьев Вячеслав Борисович,**  
д.т.н., профессор, руководитель Института  
механики, УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск.

✉<sup>1</sup> **Волков Кирилл Георгиевич,**  
к.т.н., старший научный сотрудник лаборато-  
рии термомеханических технологий, УдмФИЦ  
УрО РАН, г. Ижевск, e-mail: [vkirill@udman.ru](mailto:vkirill@udman.ru)

**Мишарин Сергей Александрович,**  
старший преподаватель кафедры «Техноло-  
гия производства систем вооружения»,  
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашни-  
кова», г. Ижевск.

**Пряхин Алексей Борисович,**  
аспирант лаборатории термомеханических  
технологий, УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск.

**Халявин Владислав Витальевич,**  
аспирант лаборатории термомеханических  
технологий, УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск.

**Аннотация.** Рассмотрена возможность изго-  
товления трубных заготовок с повышенным  
комплексом свойств методом высокотемпе-  
ратурной термомеханической обработки  
винтовым обжатием на гладкой оправке.  
Выполнены исследования точности изготов-  
ления трубных заготовок и микрострук-  
туры. Определено, что предложенная техно-  
логия позволяет получать изделия с повы-  
шенными точностными и механическими  
характеристиками.

**MANUFACTURING OF PIPE  
BLANKETS WITH AN INCREASED  
SET OF PROPERTIES BY THE METHOD  
OF SCREW COMPRESSION**

**Dementyev Vyacheslav Borisovich,**  
doctor of technical sciences, professor, head of the in-  
stitute of mechanics, UdmFRC UrB RAS, Izhevsk.

✉<sup>1</sup> **Volkov Kirill Georgievich,**  
candidate of technical sciences, senior researcher  
at the laboratory of thermomechanical technolo-  
gies, UdmFRC UrB RAS, Izhevsk,  
e-mail: [vkirill@udman.ru](mailto:vkirill@udman.ru)

**Misharin Sergej Aleksandrovich,**  
senior lecturer at the department of armament sys-  
tems production technology, Kalashnikov Izhevsk  
state technical university, Izhevsk.

**Pryahin Aleksey Borisovich,**  
postgraduate student at the laboratory of thermo-  
mechanical technologies, UdmFRC UrB RAS,  
Izhevsk.

**Halyavin Vladislav Vital'evich,**  
postgraduate student at the laboratory of thermo-  
mechanical technologies, UdmFRC UrB RAS,  
Izhevsk.

**Annotation.** The possibility of manufacturing pipe  
blanks with an increased complex of properties by  
the method of high-temperature thermomechanical  
processing by screw compression on a smooth  
mandrel is considered. Research of the accuracy of  
manufacturing pipe blanks and microstructure is  
performed. It is determined that the proposed tech-  
nology allows to obtain products with increased  
precision and mechanical characteristic.

**Ключевые слова:** ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, УПРОЧНЕНИЕ, ТРУБНЫЕ ЗАГОТОВКИ, СТАЛЬ 38Х2МЮА.

**Keywords:** THERMOMECHANICAL TREATMENT, HARDENING, PIPE BLANKS, 38H2MYuA STEEL.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Трубная продукция является основной потребностью таких стратегических секторов, как нефтегазовый комплекс, энергетика и машиностроение. От качества, надежности и экономической эффективности трубных заготовок напрямую зависят бесперебойность работы этих отраслей, безопасность эксплуатации и конечная стоимость выпускаемой продукции.

Современные технические и эксплуатационные требования к трубам постоянно ужесточаются. Необходимость работы под высоким давлением, в агрессивных средах, при экстремальных температурах или в условиях Арктики предъявляет высочайшие требования к материалу, геометрической точности и физико-механическим свойствам исходной заготовки. Таким образом, именно этап производства трубной заготовки является критически важным для формирования конечных потребительских характеристик трубы.

Производство трубных заготовок представляет собой сложный технологический процесс, выбор которого зависит от требуемых размеров, точности, свойств материала и конечного назначения трубы. Все многообразие методов можно классифицировать по нескольким основным технологическим схемам (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение основных технологических схем [1]

Технология	Тип трубы	Диапазон диаметров	Ключевые преимущества	Основные недостатки
Центробежное литье	Бесшовная	Большие, толстостенные	Высокая плотность, крупные габариты	Ограниченная длина, шероховатость
Прессование	Бесшовная	Различные, толстостенные	Труднодеформируемые сплавы, точность	Высокая себестоимость, длина
Непрерывная прокатка	Бесшовная	Средние	Высочайшая производительность	Сложность настройки
Пилигримовая прокатка	Бесшовная	Большие, толстостенные	Крупногабаритные трубы	Низкая производительность
Электросварка	Сварная	Средние, большие	Экономичность, скорость	Наличие сварного шва

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) винтовым обжатием (ВО) позволяет решить ряд недостатков, присущих другим методам и является одной из наиболее эффективных технологий интенсивной пластической деформации. Первоначально разработанный для получения объемных мелкозернистых материалов в виде прутков, метод был адаптирован для производства трубных заготовок с уникальным комплексом механических свойств [2].

ВО является разновидностью поперечно-винтовой прокатки, но отличается от неё кинематикой процесса. На практике используются две схемы обработки цилиндрических заготовок методом винтового обжатия [2, 3]:

- 1) обжатие заготовки с винтовым протягиванием через деформирующие ролики;

2) винтовое обжатие при помощи вращающейся деформирующей головки с роликами с подпоркой заготовки;

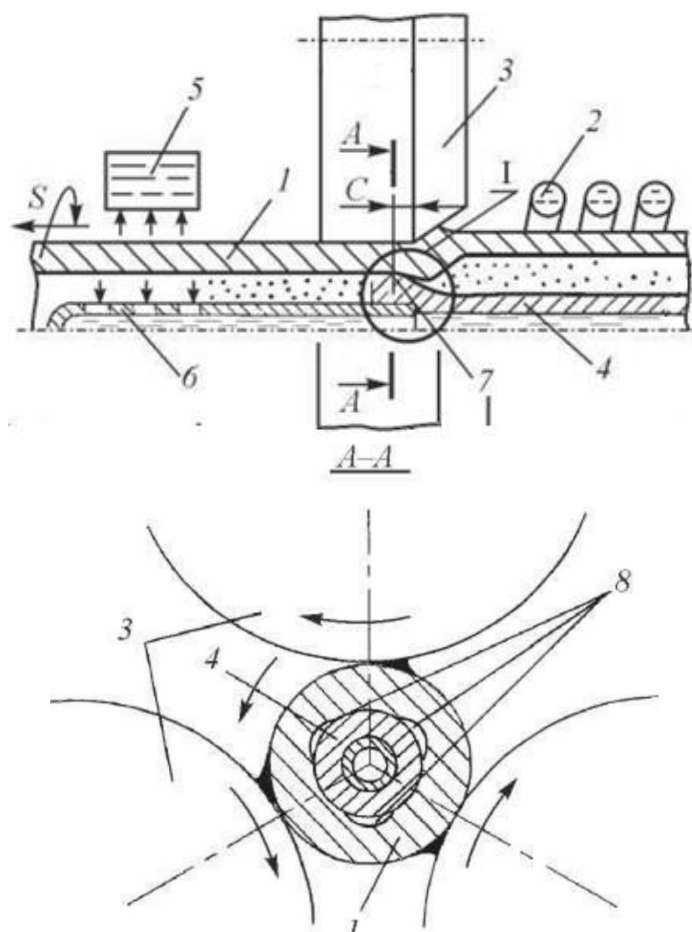
Обе эти схемы имеют общие признаки:

1) заготовка деформируется в трех неприводных гладких деформирующих роликах;

2) процесс обработки непрерывен за счет поступательного движения заготовки через индуктор, деформирующий узел и спрейер;

3) величина усилия натяжения или подача заготовки регулируется углом разворота роликов;

4) процесс деформации на водоохлаждаемой оправке с гребнем (рис. 1), установленном на расстоянии 0,2...0,3 длины калибрующей части от заборного конуса деформирующих роликов.



$S$  – подача, мм/об; 1 – заготовка; 2 – индуктор; 3 – ролик; 4 – оправка; 5 – наружный спрейер;  
6 – внутренний спрейер; 7 – гребень оправки; 8 – зазоры

Рисунок 1 – Схема ВТМО ВО трубной заготовки

Сущность процесса заключается в том, что заготовку нагревают токами высокой частоты до температуры аустенизации, деформируют ее в трех неприводных гладких роликах до заданного размера путем принудительного перемещения протягиванием. Процесс расширяет технологические возможности и повышает качество внутренней поверхности труб при упрочнении и калибровке без применения дополнительных средств зачистки [4].

В связи с этим, целью работы является разработка технологического процесса производства трубных заготовок методом ВТМО ВО с обеспечением повышенного комплекса свойств.

## 2 Материалы и методы

В качестве материала для получения трубных бесшовных изделий использовался прокат сортовой горячекатаный круглый ГОСТ 2590-2006 из жаропрочной релаксационностойкой стали 38Х2МЮА. Химический состав используемой стали определялся на эмиссионном оптическом спектрометре «Belec Compact Port».

Для обработки проката круглого сечения с целью получения бесшовной трубы с повышенным комплексом свойств был разработан технологический процесс на основе данных [5-9], состоящий из следующих операций: отрезная, токарная, глубокое сверление, ВТМО ВО, отпуск, отрезная, контроль.

На этапе отрезной операции производилась обрезка проката на мерные заготовки. Затем прутки подвергались глубокому сверлению канала диаметром 12 мм, после чего производились токарные работы для подготовки заготовки к ВТМО ВО. После этого выполнялась высокотемпературная термомеханическая обработка винтовым обжатием по режимам, представленным в табл. 2, в процессе которой заготовка подвергалась горячей пластической деформации с последующей закалкой в спрейерном устройстве. После ВТМО ВО трубы подвергались отпуску при температуре 480-520 °С с выдержкой 1 ч. Затем, на этапе отрезной операции, удалялся участок трубы, к которой производилось закрепление тянущего устройства установки ВО. На этапе контрольной операции выполнялась проверка соответствия размеров, а также параметров формы и поверхностей требованиям к трубной заготовке.

Таблица 2 – Режимы ВТМО ВО и размеры образца

$D_n$ , мм	$d_n$ , мм	$D_k$ , мм	$d_k$ , мм	Режимы ВТМО				
				$\lambda$ , %	$S$ , мм/об	$T_{\text{деф}}$ , °С	$T_{\text{нагр}}$ , °С	$V_{\text{охл}}$ , °С/с
25,0	12,0	22,0	10,0	22,5	5,0	960-980	980-1000	70-100
$D_n, d_n$ – начальные наружный и внутренний диаметры соответственно; $D_k, d_k$ – конечные наружный и внутренний диаметры соответственно; $\lambda$ – степень обжатия; $S$ – продольная подача заготовки; $T_{\text{деф}}$ – температура заготовки при деформации; $T_{\text{нагр}}$ – температура нагрева поверхности заготовки в индукторе; $V_{\text{охл}}$ – скорость охлаждения в спрейерном устройстве								

Для оценки свойств получаемых трубных заготовок были выполнены лабораторные исследования по определению точностных показателей, твердости и микроструктуры стали.

Исследования отклонений формы и профиля поверхностей, разностенности трубной заготовки после ВТМО ВО выполнялось с использованием системы «Talyscenta system» фирмы «Taylor Hobson». Определение твердости образцов выполнялось на комбинированном твердомере МЕТ-УДА с ультразвуковым датчиком. Для оценки микроструктуры стали до и после обработки винтовым обжатием подготавливались образцы в соответствии с ГОСТ 5640-2020. Микрошлифы травились 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты. Снимки микроструктуры были получены на оптическом микроскопе Neophot-21, анализ выполнялся в соответствии с ГОСТ 5639-82 и ГОСТ 8233-56.



### 3 Результаты исследований

Полученные данные при анализе состава обрабатываемой стали и данные для стали 38Х2МЮА по ГОСТ 4543-2016 представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Фактический и нормативный состав стали 38Х2МЮА, %

Состав	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	S	P
Факт.	0,45	0,43	0,37	0,03	1,45	0,223	0,97	0,20	0,013	0,016
ГОСТ	0,35-0,42	0,20-0,45	0,30-0,60	< 0,3	1,35-1,65	< 0,3	0,70-1,10	0,15-0,25	< 0,025	< 0,025

Исследования точности размеров изделий после ВТМО ВО показали, что среднее значение наружного диаметра составило 21,92 мм, а диаметра канала – 10,07 мм. Непрямолинейность оси канала не превысила 0,1 мм на длине 300 мм. Разностенность в среднем составила не более 0,2 мм.

Твердость образцов, вырезанных из полученных трубных изделий, составила в среднем по пяти повторным измерениям в разных точках 56-58 HRC после закалки и 35-38 HRC после отпуска.

В ходе металлографических исследований были получены снимки микроструктуры, представленные на рис. 2.

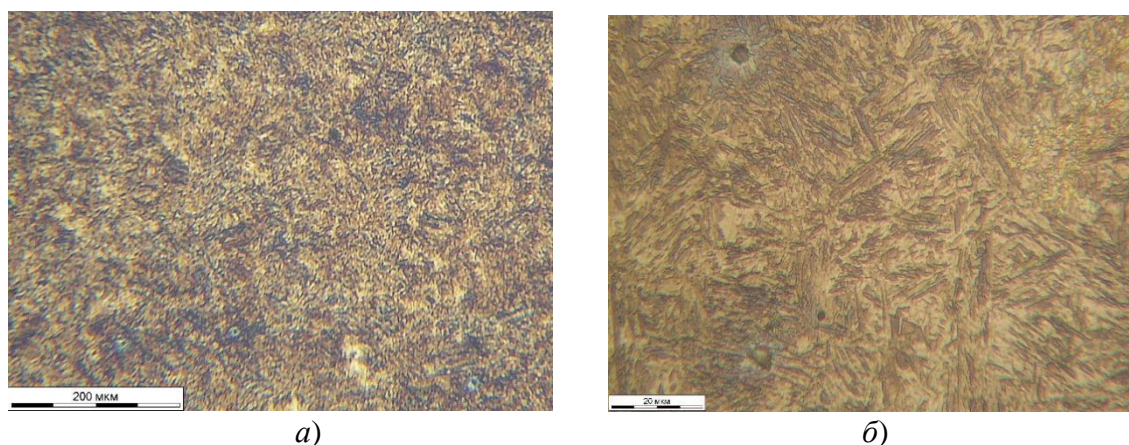


Рисунок 2 – Микроструктура стали 38Х2МЮА после ВТМО ВО при увеличении (а)  $\times 100$ , (б)  $\times 1000$

Согласно данным по изотермическому распаду аустенита для стали 38Х2МЮА, при скорости охлаждения в пределе 100 °С/с, формируется мартенситная структура, которая наблюдается на рис. 2. Оценка размера зерна по эталонам, приведенным в ГОСТ 5639-82, при увеличении  $\times 100$  (рис. 2, а) показала соответствие 8-му баллу. Исследование размера игл мартенсита по ГОСТ 8233-56 при увеличении  $\times 1000$  (рис. 2, б) показало соответствие 7-му баллу.

### 4 Обсуждение и заключение

Сравнение состава фактического и определенного нормативным документом показало, что используемый при исследованиях материал является сталью 38Х2МЮА. Отклонение по углероду может объясняться как погрешностью прибора, так и отклонениями при плавке.

Согласно ГОСТ 32678-2014 для бесшовных холоднодеформированных труб определено три класса точности изготовления: обычная, повышенная и высокая. Сравнение полученных при исследованиях результатов с требованиями нормативного документа показало, что по наружному диаметру труба после ВТМО ВО соответствует повышенному классу точности

и подпадает под 10 квалитет, толщина стенки и разностенность – высокому классу точности. Диаметр канала обеспечивается в пределах 11 квалитета. Непрямолинейность оси канала также соответствует требованиям стандарта.

Выбранная скорость охлаждения при закалке обеспечила твердость образцов на уровне 58 HRC после закалки, что на 3-4 единицы выше, чем при закалке с нагревом в печи [10, 11]. Однако, при ВТМО ВО возможно получение твердости в достаточно широком диапазоне за счет регулирования расхода жидкости в спрейерном устройстве и последующего отпуска [12].

Исследования микроструктуры показали, что закалка стали 38Х2МЮА в напряженном состоянии при ВТМО ВО позволяет значительно снизить размер зерна по сравнению с объемной закалкой в печи. Закалка при винтовом обжати в режиме высокотемпературной термомеханической обработки обеспечивает размер зерна в пределах 8-го балла (средний диаметр зерна 0,022 мм), а при печной закалке – в пределах 5-го балла (средний диаметр зерна 0,062 мм). Также особенности структуры оказывают значительное влияние на механические свойства материала. Согласно исследованиям [2] после ВТМО ВО наблюдается повышение прочностных, пластических и эксплуатационных характеристик сталей. В среднем, предел прочности, условный предел текучести, относительное удлинение для сталей после высокотемпературной термомеханической обработки винтовым обжатием на 8-12 % выше аналогичных показателей для стали после термообработки с печным нагревом.

#### Список литературы

- 1 Килов, А. С. Производство заготовок. Трубы / А.С. Килов, Р.Ш. Мансуров. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 350 с.
- 2 Contribution to improving of machine parts mechanical properties by thermomechanical hardening / V. B. Dementyev, Z. Sagova, A. I. Korshunov [et al.] // MM Science Journal. – 2024. – Vol. 2024, No. 5. – P. 7800-7804. – DOI: 10.17973/mmsj.2024\_11\_2024058.
- 3 Дудырев, М.Д. Компьютерное моделирование способа винтовой прокатки с осевым натяжением / М.Д. Дудырев, А.С. Будников // Наука, технологии, образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей V Международной научно-практической конференции, 25 апреля 2025 г. – Пенза, 2025. – С. 20-27.
- 4 Липанов, А. М. К вопросу применения полых пальцев в траках военно - гусеничных машин / А. М. Липанов, В. Б. Дементьев, А. Д. Засыпкин // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2022. – № 4(124). – С. 86-91.
- 5 Development and computer simulation of a new technology for forming and strengthening screw fittings / S. Lezhnev, E. Panin, A. Tolkushkin [et al.] // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2023. – Vol. 58. – No. 5. – P. 955-960.
- 6 Uranga, P. Thermomechanical Processing of Steels / P. Uranga, H.M. Rodriguez-Ibabe // Metals. – 2020. – No. 10(5). – P. 641. – <https://doi.org/10.3390/met10050641>
- 7 Томило, В.А. Утилизация бывших в употреблении труб холодной прокаткой / В.А. Томило, С.В. Пилипенко, А.В. Дудан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. - № 8. – С. 118-125.
- 8 Прокатка труб из стали марки 08Х18Н10Т на ТПА 70-270 с двухвалковым станом для прошивки и раскатки / А.Р. Шапилов, А.В. Король, Е.Н. Обыденнов [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2024. – Т. 24. – № 2. – С. 49-60. – DOI: 10.145291met240206.
- 9 Яцун, Е.И. Исследование процесса глубокого сверления нержавеющей стали / Е.И. Яцун, О.С. Зубкова, С.Н. Могилов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2021. – Т. 25. - № 4. – С. 19-28. – <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-19-28>
- 10 Влияние режима термической обработки высококачественной легированной стали на структуру, механические, акустические и магнитные характеристики. Часть 1. Объемная закалка и отпуск / Н.В. Абабков, А.А. Пашков, М.В. Пимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – № 4. – С.58-69. – DOI:10.26730/1999-4125-2024-4-58-69
- 11 Исследование микротвердости бинарных термодиффузионных систем сталь-покрытие / А.И. Блесман, Д.А. Полонянкин, Д.В. Постников, Е.А. Рогачев // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – №3. – С. 52-54.

12 Макаров, С. С. Математическое моделирование процесса охлаждения металлических изделий при термомеханической обработке / С. С. Макаров // Динамика технических систем "ДТС-2025" : сборник трудов XIX международной научно-технической конференции, Ростов-на-Дону, 09–10 апреля 2025 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2025. – С. 48-53.

#### References

- 1 Kilov, A.S. Production of blanks. Pipes / A.S. Kilov, R.Sh. Mansurov. – Orenburg: GOU OGU, 2007. – 350 p.
- 2 Contribution to improving of machine parts mechanical properties by thermomechanical hardening / V. B. Dementyev, Z. Sagova, A. I. Korshunov [et al.] // MM Science Journal. – 2024. – Vol. 2024, No. 5. – P. 7800-7804. – DOI: 10.17973/mmsj.2024\_11\_2024058.
- 3 Dudyrev, M.D. Computer Simulation of a Screw Rolling Method with Axial Tension / M.D. Dudyrev, A.S. Budnikov // Science, Technology, Education: Current Issues, Achievements and Innovations: Collection of Articles from the V International Scientific and Practical Conference, 25 April 2025 – Penza, 2025. – P. 20-27.
- 4 Lipanov, A.M. To the Question of the Application of Hollow Fingers in Tracks Military Tracked Vehicles / A.M. Lipanov, V.B. Dementyev, A.D. Zasyplin // Bulletin of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. – 2022. – No. 4(124). – P. 86-91.
- 5 Development and computer simulation of a new technology for forming and strengthening screw fittings / S. Lezhnev, E. Panin, A. Tolkushkin [et al.] // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2023. – Vol. 58. – No. 5. – P. 955-960.
- 6 Uranga, P. Thermomechanical Processing of Steels / P. Uranga, H.M. Rodriguez-Ibabe // Metals. – 2020. – No. 10(5). – P. 641. – <https://doi.org/10.3390/met10050641>
- 7 Tomilo, V.A. Cold Rolling of Used Pipes / V.A. Tomilo, S.V. Pilipenko, A.V. Dudan // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2022. Vol. 333. – No. 8. – P. 118-125.
- 8 Rolling of Pipe from Steel Grade 08X18H10T on a TPA 70-270 with a Two-Roll Mill for Squashing and Rolling / A.R. Shamilov, A.V. Korol, E.N. Obyedennov [et al.] // Metal Forming. Technology and Equipment of Metal Forming. – 2024. – Vol. 24. – No. 2. – P. 49-60. – DOI: 10.145291/met240206.
- 9 Yatsun, E.I. Investigation of the Process of Deep Drilling of Stainless Steel / E.I. Yatsun, O.S. Zubkova, S.N. Mogilev // Proceedings of the Southwest State University. – 2021. – Vol. 25. – No. 4. – P. 19-28. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-4-19-28>
- 10 Influence of Hardening Mode of High-quality Alloy Steel on Structure, Mechanical, Acoustic and Magnetic Characteristics. Part 1. Volume Hardening and Tempering / N.V. Ababkov, A.A. Pashkov, M.V. Pimonov // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2024. – No. 4. – P. 58-69. – DOI:10.26730/1999-4125-2024-4-58-69
- 11 Microhardness Study of Binary Thermal Diffusion Coating Steel Systems / A.I. Blesman, D.A. Polonyankin, D.V. Postnikov, E.A. Rogachev // Dynamics of systems, mechanisms and machines. – 2014. – No. 3. – P. 52-54.
- 12 Makarov, S.S. Mathematical Modeling of the Cooling Process of Metal Products During Thermomechanical Treatment / S.S. Makarov // Dynamics of Technical Systems "DTS-2025": Proceedings of the XIX International Scientific and Technical Conference, Rostov-on-Don, 9-10 April 2025. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2025. – P.48-53.

© Дементьев В. Б., Волков К. Г., Мишарин С. А., Пряхин А. Б., Халявин В. В., 2025