

Научный журнал

# ВЕСТНИК

Сибирского  
государственного  
индустриального  
университета

№ 3 (37), 2021

Основан в 2012 году  
Выходит 4 раза в год

## Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

### Редакционная коллегия

Н.А. Козырев  
(главный редактор)  
Е.М. Запольская  
(отв. секретарь)

Арвинд Сингх  
А.С. Водолеев  
В.Ф. Горюшкин  
В.И. Данилов  
А.В. Зимин  
С.В. Коновалов  
С.М. Кулаков  
А.Г. Никитин  
И.В. Ноздрин  
Е.Г. Оршанская  
Т.Н. Осолкова  
В.И. Пантелеев  
Т.В. Петрова  
С.В. Риб  
И.А. Рыбенко  
М.В. Темлянцев  
Ю.С. Серенков  
Си Чжан Чен  
А.Ю. Столбоушкин  
И.А. Султангузин  
Л.А. Тресвятский  
В.Н. Фрянов  
А.Н. Шиплюк  
Н.Х. Юлдашев  
А.Б. Юрьев

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Ващук Е.С., Аксенова К.В., Башенко Л.П., Будовских Е.А., Громов В.Е.** Микроструктура поверхности титанового сплава ВТ6 после электровзрывного карбоборирования и последующей электронно-пучковой обработки .....3
- Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Ознобихина Н.В.** Термодинамические аспекты восстановления оксидов металлов алюминием и титаном при термитной сварке рельсов .....13
- Кузнецов Р.В., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Аксёнова К.В., Кормышев В.Е.** Изменение структурно-фазовых состояний рельсов на разных этапах длительной эксплуатации .....20
- Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.** Анализ процесса стационарной ползучести цветных металлов .....27

### ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

- Волошин В.А., Безносов А.В.** Цифровизация производственных процессов на примере угольных шахт .....31
- Борзых Д.М., Никитина А.М., Риб С.В., Кузив Е.М.** Оценка газоносности угольного пласта в границах выемочного участка шахты .....37

### ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИКА

- Ушнов А.Н., Угольников О.А., Ежуров И.Р.** Популяризация футбола в социально-образовательном пространстве: проблемы, модели и теоретизация .....45

### ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

- Тресвятский Л.А.** Ученый мирового уровня Ю. В. Грдина: стальное сердце сибирского вуза индустриального города .....54

К сведению авторов.....71

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:  
**ПИ № ФС77-77872** от 03.03.2021 г.

**Адрес редакции:**

654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42, Сибирский государственный индустриальный университет  
каб. 433 М  
тел. 8-3843-74-86-28  
http: [www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)  
e-mail: [vestnicsibgiu@sibsiu.ru](mailto:vestnicsibgiu@sibsiu.ru)

**Адрес издателя:**

654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42, Сибирский государственный индустриальный университет  
каб. 336 Г  
тел. 8-3843-46-35-02  
e-mail: [rector@sibsiu.ru](mailto:rector@sibsiu.ru)

**Адрес типографии:**

654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, зд. 42, Сибирский государственный индустриальный университет  
каб. 280 Г  
тел. 8-3843-46-44-02

**Подписные индексы:**

Объединенный каталог «Пресса России» – 41270

Подписано в печать

30.09.2021 г.

Выход в свет

30.09.2021 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 4,3.

Уч.-изд.л. 4,6.

Тираж 300 экз.

Заказ № 218.

Цена свободная.

## МИКРОСТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT6 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО КАРБОБОРИРОВАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Е. С. Ващук<sup>1</sup>, К. В. Аксенова<sup>2</sup>, Л. П. Башенко<sup>2</sup>, Е. А. Будовских<sup>2</sup>, В. Е. Громов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в городе Прокопьевск (Россия, 653039, Кемеровская обл. – Кузбасс, Прокопьевск, ул. Ноградская, 19а)

<sup>2</sup>Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Анализ структуры образцов сплава VT6 показал, что при электровзрывном карбоборировании формируется зона упрочнения толщиной до 50 мкм с высокоразвитым рельефом. Это слой неоднородный по толщине, элементному составу и структурно-фазовому состоянию. Последующая электронно-пучковая обработка приводит к уменьшению шероховатости поверхности и к более однородному распределению легирующих элементов. Толщина зоны упрочнения увеличивается до 60 мкм.

**Ключевые слова:** титановый сплав, электровзрывное карбоборирование, электронно-пучковая обработка, микроструктура

**Для цитирования.** Ващук Е.С., Аксенова К.В., Башенко Л.П., Будовских Е.А., Громов В.Е. Микроструктура поверхности титанового сплава VT6 после электровзрывного карбоборирования и последующей электронно-пучковой обработки // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 3 – 12.

## MICROSTRUCTURE OF THE SURFACE OF THE TITANIUM ALLOY VT6 AFTER ELECTROEXPLOSIVE CARBOBORIZATION AND SUBSEQUENT ELECTRON BEAM TREATMENT

E. S. Vashchuk<sup>1</sup>, K. V. Aksenova<sup>2</sup>, L. P. Bashchenko<sup>2</sup>, E. A. Budovskikh<sup>2</sup>, V. E. Gromov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Branch of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev in Prokopyevsk (19a, Nogradskaya Str., Prokopyevsk, Kemerovo Region – Kuzbass 653039, Russian Federation)

<sup>2</sup>Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

**Abstract.** Analysis of the structure of VT6 alloy samples after electroexplosive carboborization showed the formation of a hardening zone with a highly developed relief up to 50 microns thick, heterogeneous in thickness, elemental composition and structural-phase state. Subsequent electron-beam processing leads to a decrease in surface roughness and a more uniform distribution of alloying elements. The thickness of the hardening zone increases to 60 microns.

**Keywords:** titanium alloy, electro-explosive carboborization, electron beam processing, microstructure

**For citation:** Vashchuk E.S., Aksenova K.V., Bashchenko L.P., Budovskikh E.A., Gromov V.E. Microstructure of the surface of titanium alloy VT6 after electroexplosive carboboration and subsequent electron beam treatment. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 3 (37), p. 3–12. (In Russ.).

**Введение**

В настоящее время интенсивно развиваются методы поверхностного упрочнения, основанные на использовании концентрированных потоков энергии, таких как электровзрывное легирование (ЭВЛ) и обработка поверхности низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками – электронно-пучковая обработка (ЭПО). Такие методы позволяют проводить локальное упрочнение поверхности в местах наибольшего разрушения при эксплуатации и улучшать функциональные свойства (увеличивать показатели в несколько раз). В этой связи установление закономерностей формирования структурно-фазовых состояний и природы повышения эксплуатационных свойств поверхностей при упрочняющих обработках является актуальной научной задачей.

**Материалы и методы исследования**

В качестве материала исследования был использован сплав на основе титана ВТ6. Химический состав сплава соответствовал ГОСТ 19807 – 91 (3,5 – 5,3 % V; 5,3 – 6,8 % Al; до 0,6 % Fe; до 0,1 % C; до 0,05 % N; до 0,3 % Zr; до 0,2 % O; до 0,015 % H; 0,3 % прочих примесей; остальное титан (по массе)).

Модифицирование поверхностного слоя сплава ВТ6 осуществляли методом электровзрывного легирования [1 – 3]. В качестве взрывающего проводника использовали фольгу титана толщиной 100 мкм. В область взрыва на титановую фольгу помещали навески порошка карбида бора В<sub>4</sub>С (масса навески порошка 496 мг).

Для электровзрывного легирования использовали модифицированную лабораторную электровзрывную установку типа ЭВУ 60/10 (СибГИУ) (энергоемкость 60 кДж; собственная частота разряда 10 кГц; максимальный заряд 5 кВ; максимальная производительность 10 цикл/ч; средняя потребляемая мощность 0,55 кВт) с характерными значениями поглощаемой плотности мощности при обработке поверхности материала  $\sim 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>, давления в ударно-сжатом слое плазмы вблизи облучаемой поверхности  $10^6$  –  $10^7$  Па, времени обработки примерно 100 мкс, толщины зоны легирования в ее центральной области 20 – 40 мкм [1, 2]. Условия для осуществления импульсного жидкофазного легирования задавали величиной зарядного напряжения накопителя энергии ускорителя, диаметром канала сопла и расстоянием от его среза до образца.

Покрyтия наносили на образцы титана марки ВТ6 диаметром 15 мм и высотой 5 мм. Режим термосилового воздействия на облучаемую поверхность задавали путем выбора зарядного

напряжения емкостного накопителя энергии установки, по которому рассчитывали поглощаемую плотность мощности. Поглощаемая облучаемой поверхностью плотность мощности при напылении составляла 5,5 ГВт/м<sup>2</sup>, значение заряда 2,2 кВ. Диаметр титанового сопла разрядной камеры плазменного ускорителя 20 мм, расстояние образца от среза сопла 20 мм.

Дополнительную термическую обработку модифицированного таким образом поверхностного слоя осуществляли высокоинтенсивным импульсным электронным пучком (установка «СОЛО», ИСЭ СО РАН) [4, 5]. Облучение электронным пучком проводили при следующих параметрах работы источника электронов: энергия ускоренных электронов 18 кэВ; плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса воздействия пучка электронов 100 мкс; частота следования импульсов 0,3 с<sup>-1</sup>; количество импульсов облучения 10.

Исследование структуры модифицированного материала осуществляли методами сканирующей электронной микроскопии. Элементный состав поверхностного слоя анализировали методами микрорентгеноспектрального анализа.

**Результаты и их обсуждение**

Характерные изображения структуры поверхности, формирующейся при электровзрывном легировании сплава титана ВТ6, демонстрирующие высокоразвитый рельеф, представлены на рис. 1. Масштаб элементов структуры поверхности легирования изменяется в очень широком интервале: от сотен микрометров (рис. 1, а) до десятков-сотен нанометров (рис. 1, б, в).

Таким же неоднородным является и распределение легирующих элементов в модифицируемом слое. На качественном уровне этот факт выявляется при исследовании поверхности легированного материала в обратно отраженных электронах. Выявляемый (рис. 2, а) черно-белый контраст свидетельствует о формировании областей, обогащенных относительно тяжелым элементом (титан) и относительно легкими элементами (углерод и бор). Методами микрорентгеноспектрального анализа различие элементного состава областей поверхности легирования можно охарактеризовать на количественном уровне. Анализируя результаты, представленные в таблице рис. 2, можно отметить, что коэффициент неоднородности в распределении легирующих элементов в поверхностном слое (отношение суммарного количества бора, углерода и кислорода в светлых и темных областях) достигает 2,8. Таким образом, электровзрывное легирование титана порошком карбида бора приводит к формированию в поверхностном слое объемов,

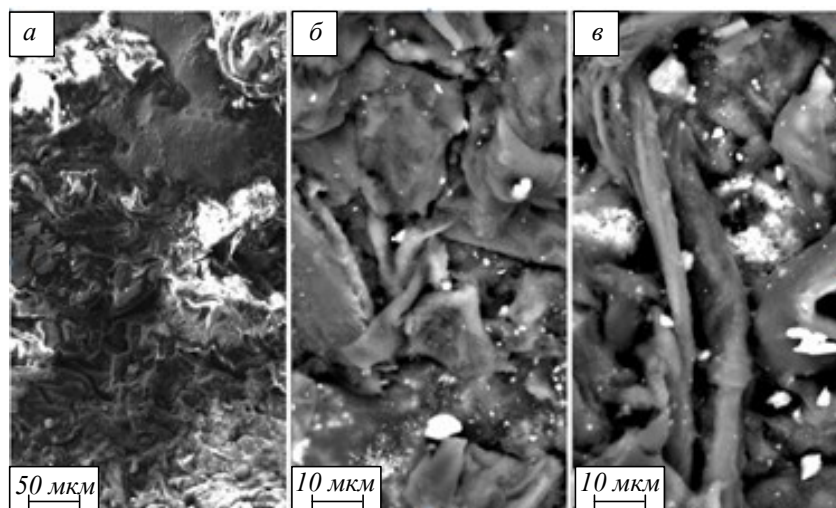
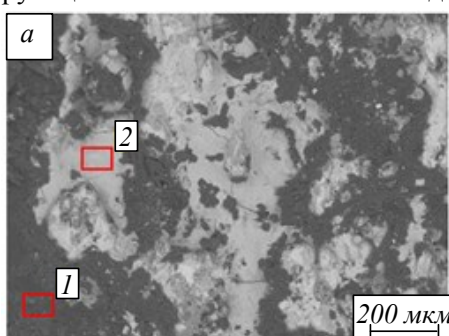


Рис. 1. Структура поверхности модификации сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию  
 Fig. 1. Surface structure of the modification of an alloy based on titanium VT6 subjected to electroexplosive alloying

концентрация легирующих элементов в которых различается более чем в 2,5 раза.

Высокий уровень неоднородности структуры модифицированного слоя по толщине и по распределению легирующих элементов более

наглядно выявляется при исследовании строения поперечных шлифов. Вследствие высоко-развитого рельефа поверхности общая толщина легированного слоя изменяется в пределах от 10 до 50 мкм (рис. 3).



Элемент	Количество, % (ат.), в спектре	
	1	2
B	7,51	5,03
C	73,87	7,97
O	18,55	22,99
Ti	0,07	59,29
Al	0	2,82
V	0	1,90

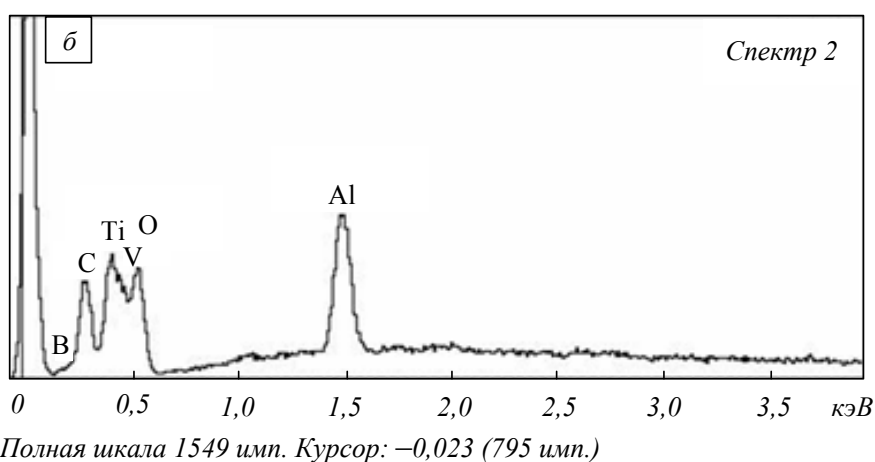


Рис. 2. Структура поверхности (а) модификации сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию и энергетический спектр (б), полученный с участка № 2. В таблице приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа участков, указанных на поз. (а)

Fig. 2. Surface structure (a) of the modification of the VT6 titanium-based alloy subjected to electroexplosive alloying and the energy spectrum (b) obtained from site No. 2. The table shows the results of the microrentgenospectral analysis of the sites indicated in pos. (a)

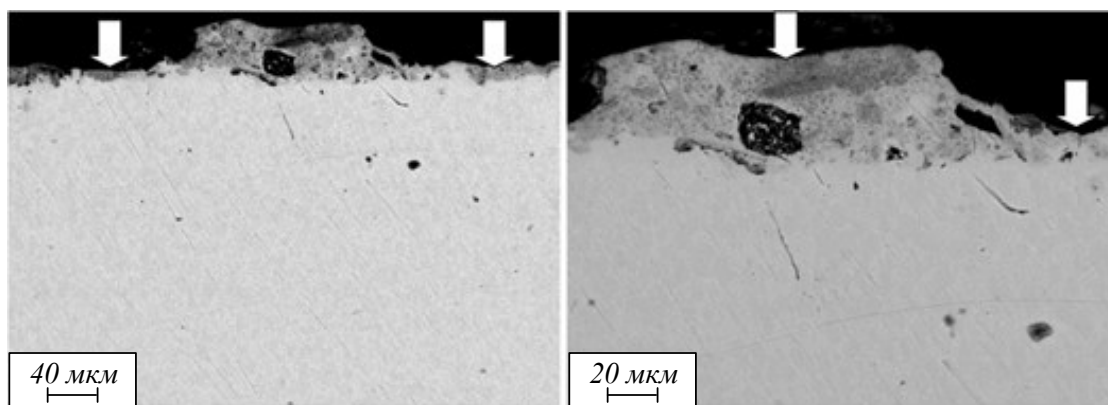


Рис. 3. Структура модифицированного слоя образца титанового сплава VT6, подвергнутого электровзрывному легированию порошком карбида бора (стрелками указана поверхность модифицирования)  
 Fig. 3. Structure of the modified layer of a sample of titanium alloy VT6 subjected to electroexplosive alloying with boron carbide powder (arrows indicate the surface of modification)

По морфологическому признаку (степени травимости) в легированном объеме можно выделить минимум четыре слоя: поверхностный (рис. 4, слой 1), промежуточный (рис. 4, слой 2), переходный (рис. 4, слой 3) и слой термического влияния, плавно переходящий в основной объем образца.

Следует отметить, что различие в степени травимости наблюдается не только между слоями, но и в пределах каждого слоя (рис. 4, б). Вы-

явленные слои характеризуются определенной субструктурой, размеры элементов которой изменяются в пределах 1 мкм (рис. 4, в, г).

Разный уровень травимости указанных слоев свидетельствует об их различии в фазовом и элементном составе. Элементный состав слоев изучали методами микрорентгеноспектрального анализа. Пример анализа элементного состава легированного слоя представлен на рис. 5.

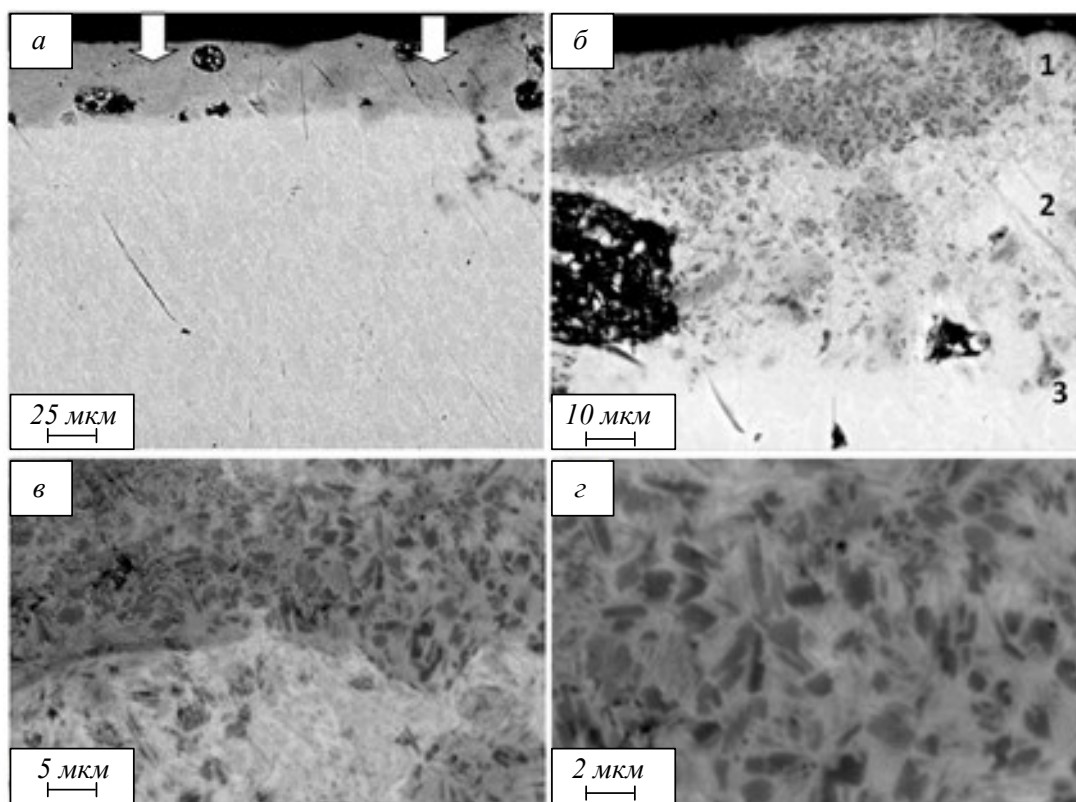
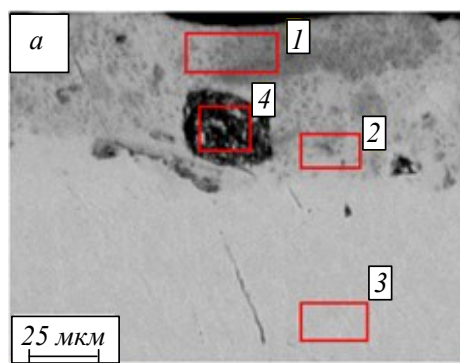


Рис. 4. Структура поперечного шлифа сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию. Поверхность легирования указана на поз. (а) стрелками. Цифрами 1 – 3 на поз. (б) обозначены поверхностный, промежуточный и переходный слои

Fig. 4. The structure of the transverse section of the VT6 titanium-based alloy subjected to electroexplosive alloying. The alloying surface is indicated in pos. (a) arrows. Numbers 1 – 3 on pos. (б) the surface, intermediate and transition layers are indicated



Элемент	Количество, % (ат.), в спектре			
	1	2	3	4
B	40,75	10,28	0	0
C	13,22	10,42	4,77	49,93
O	0	0	0	24,29
Si	0	0	0	5,30
Al	3,62	5,10	9,97	1,61
Ti	40,85	55,12	82,24	17,88
V	1,55	1,99	3,02	0,75

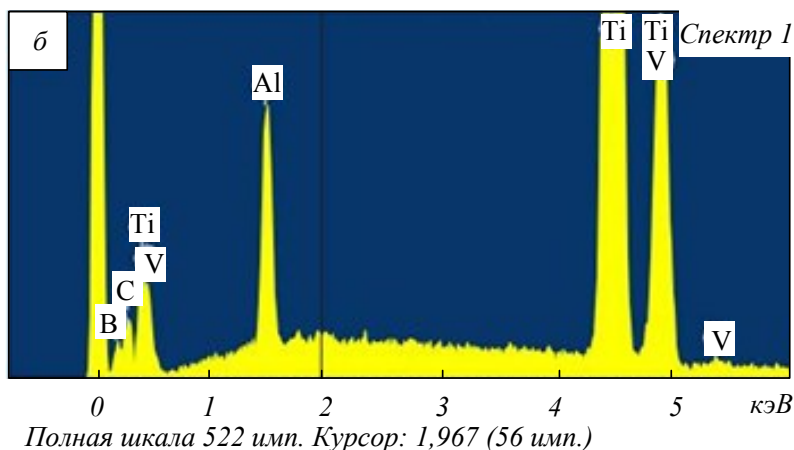


Рис. 5. Структура (а) поперечного шлифа сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию, и энергетический спектр (б), полученный с участка № 1. В таблице приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа участков, указанных на поз. (а)

Fig. 5. The structure (a) of the transverse section of the VT6 titanium-based alloy subjected to electroexplosive alloying and the energy spectrum (b) obtained from site No. 1. The table shows the results of microrentgenospectral analysis of the sites indicated in pos. (a)

Анализируя результаты, представленные в таблице к рис. 5, можно выявить определенную закономерность в расположении легирующих элементов (углерод и бор). А именно, с увеличением расстояния от поверхности легирования (спектры 1 – 3) концентрации атомов бора и углерода снижаются. В отдельных случаях в легированном слое обнаруживаются области округлой формы (рис. 5, участок 4), существенно отличающиеся от окружающего объема материала структурой и элементным составом. Основными элементами данных областей являются углерод, кислород и кремний (рис. 5, таблица, спектр 4). Можно предположить, что данные области сформировались в процессе механической шлифовки модифицированного электровзрывным методом материала в результате внедрения в поверхность шлифа частиц шлифовальной пасты и последующего травления приготовленного шлифа.

Характерной особенностью электровзрывного легирования является высокоразвитый рельеф модифицируемой поверхности материала (рис. 6).

Выявляемый методами сканирующей электронной микроскопии контраст свидетельствует

о неоднородном распределении легирующих элементов в поверхностном слое образца [6]. А именно, объемы материала, обогащенные легкими элементами (углерод и бор), выглядят более темными по сравнению с объемами материала, обогащенными металлическими атомами, имеющимися в составе исследуемого сплава.

Последующее облучение модифицированной поверхности высокоинтенсивным импульсным электронным пучком приводит к существенному преобразованию рельефа и распределению легирующих элементов в поверхностном слое. А именно, рельеф поверхности выглаживается; черно-белый контраст на изображении поверхности модифицирования замещается преимущественно серым (рис. 6, б). Последнее указывает на более равномерное распределение в плоскости шлифа легирующих элементов, инициированное облучением электронным пучком.

Высокоскоростное плавление и последующая скоростная самозакалка поверхностного слоя вследствие отвода тепла в интегрально холодный объем образца приводят не только к выглаживанию рельефа, но и к существенному преобразованию структуры материала.

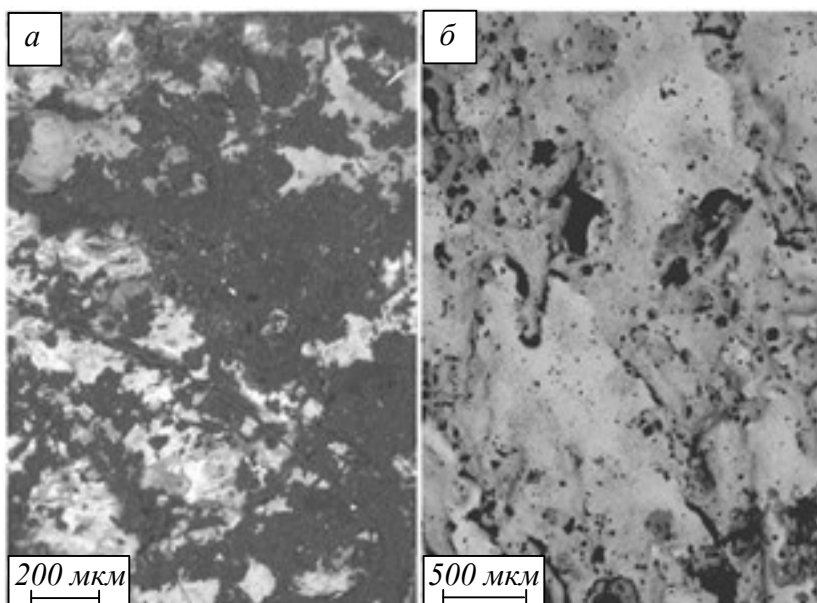


Рис. 6. Структура поверхности модификации сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию (а) и последующей обработке (б) высокоинтенсивным импульсным электронным пучком с параметрами: (плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса воздействия пучка электронов 100 мкс, количество импульсов облучения 10 имп.)

Fig. 6. Surface structure of a modification of a titanium VT6 alloy subjected to electroexplosive alloying (a) and subsequent processing (b) by a high-intensity pulsed electron beam with parameters: (electron beam energy density 50 J/cm<sup>2</sup>; electron beam pulse duration 100 microseconds, number of irradiation pulses 10 pulses)

Характерные изображения структуры слоя, формирующегося при дополнительной обработке модифицированного титана электронным пучком (с параметрами: энергия ускоренных электронов 18 кэВ; плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса

воздействия пучка электронов 100 мкс; частота следования импульсов 0,3 с<sup>-1</sup>; количество импульсов облучения 10) представлены на рис. 7. Анализ легированной поверхности, облученной электронным пучком, выявил два характерных элемента структуры, сформировавшихся исклю-

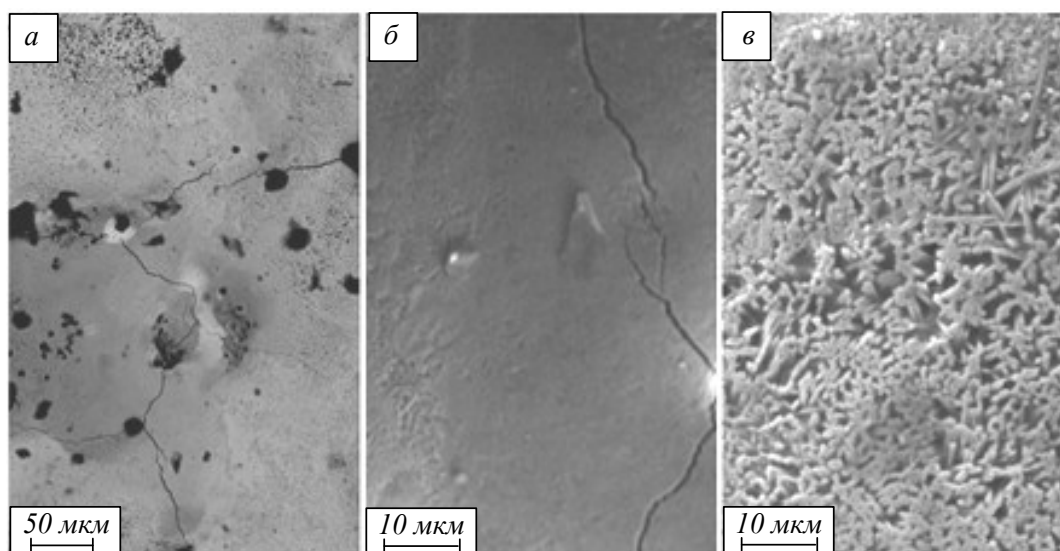


Рис. 7. Структура поверхности модификации сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию и последующей обработке высокоинтенсивным импульсным электронным пучком (плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса воздействия пучка электронов 100 мкс; количество импульсов облучения 10)

Fig. 7. Surface structure of a modification of a titanium VT6 alloy subjected to electroexplosive alloying and subsequent treatment with a high-intensity pulsed electron beam (electron beam energy density 50 J/cm<sup>2</sup>; the pulse duration of the electron beam exposure is 100 microseconds; the number of irradiation pulses is 10)



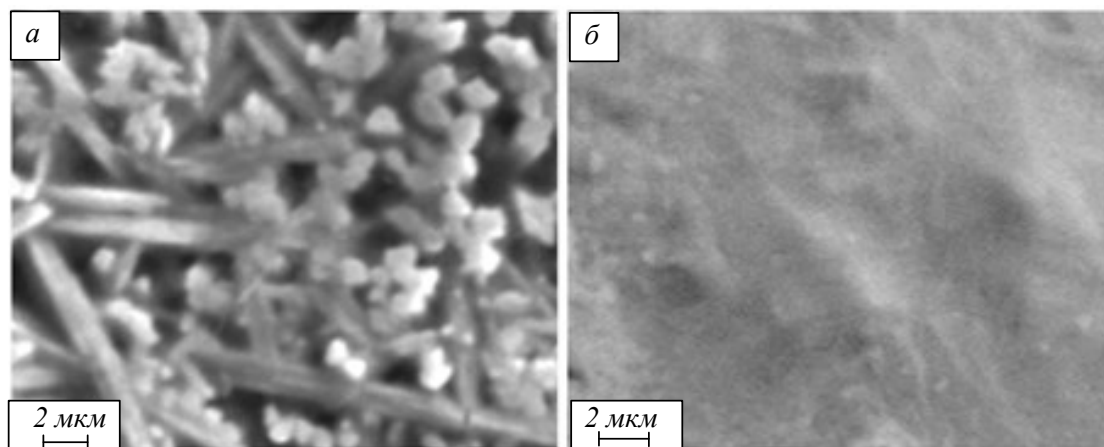


Рис. 8. Структура поверхности модификации сплава на основе титана ВТ6, подвергнутого электровзрывному легированию и последующей обработке высокоинтенсивным импульсным электронным пучком (энергия ускоренных электронов 18 кэВ; плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса воздействия пучка электронов 100 мкс; частота следования импульсов 0,3 с<sup>-1</sup>; количество импульсов облучения 10)

Fig. 8. The structure of the surface modification of the alloy based on titanium VT6 subjected to electroexplosive alloying and the subsequent processing of high-intensity pulsed electron beam (the energy of the accelerated electrons 18 keV; energy density of the electron beam of 50 j/cm<sup>2</sup>; pulse duration of exposure of the electron beam 100 μs; of the pulse repetition rate of 0.3 s<sup>-1</sup>; the number of pulses of radiation 10)

чительно в результате повторной обработки. А именно, области с игольчатой структурой (рис. 8, а). Продольные размеры игл изменяются в пределах до 10 мкм, поперечные – в пределах до 1 мкм. Иглы располагаются преимущественно перпендикулярно поверхности облучения, то есть по направлению теплоотвода. Вторым характерным типом структуры поверхности облучения являются сравнительно гладкие области, размеры элементов которых изменяются в пределах 100 нм (рис. 8, б).

Представленные на рис. 7 и 8 области различаются элементарным составом. Результаты микрорентгеноспектрального анализа свидетельствуют о том, что области, имеющие ярко выраженный темный контраст, сформированы исключительно легирующими элементами и кислородом (рис. 9, спектр 3). Следовательно, можно предположить, что они сформированы частицами исходного порошка, не растворившимися при электровзрывном легировании и последующем облучении электронным пучком.

Области с наноразмерной субструктурой сформированы исключительно атомами исходного материала с небольшой добавкой углерода (рис. 9, спектр 1). Можно ожидать, что данные области содержат частицы карбидной фазы.

Области с игольчатой структурой (рис. 9, спектр 2) содержат элементы легирующего порошка и сплава титана ВТ6: следовательно, они были сформированы в результате жидкофазного легирования титана бором, углеродом и кислородом, то есть должны иметь относительно сложный фазовый состав.

Микрорентгеноспектральный анализ областей с игольчатой структурой выявил присутствие как легирующих элементов, так и элементов исходного сплава (рис. 9, спектр 1). Данный факт свидетельствует об увеличении степени растворения порошка карбида бора в титане с ростом плотности энергии пучка электронов, то есть об увеличении уровня гомогенности модифицируемого поверхностного слоя.

Преобразование структуры объема поверхностного слоя анализировали, исследуя травленные поперечные шлифы. На рис. 10 представлено характерное изображение структуры поперечного шлифа легированного слоя, обработанного электронным пучком при плотности энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>. Отчетливо видно, что дополнительная обработка электронным пучком при данной плотности энергии не приводит к формированию однородной структуры. Поверхностный слой толщиной до 30 мкм имеет игольчатое строение (рис. 10, б, в); субструктура нижележащего слоя подобна субструктуре, формирующейся в материале при электровзрывном легировании. Следовательно, электронно-пучковая обработка при указанных параметрах позволяет модифицировать слой толщиной не более 30 мкм.

### **Выводы**

Комплексное электровзрывное легирование поверхности титанового сплава ВТ6 с использованием карбида бора приводит к формированию зоны упрочнения толщиной до 50 мкм с высоко-развитым рельефом, неоднородного по толщине,

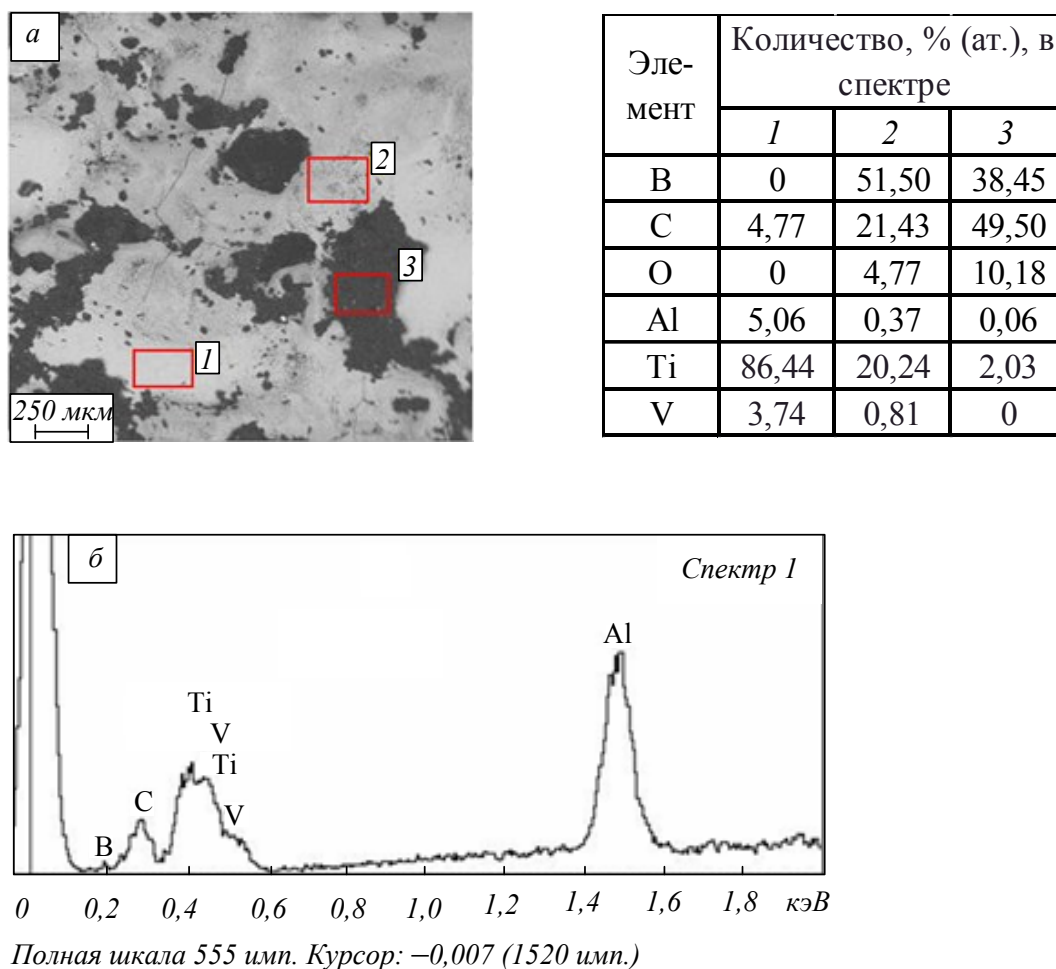


Рис. 9. Структура (а) поверхности модификации сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию и последующей обработке высокоинтенсивным импульсным электронным пучком (плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса воздействия пучка электронов 100 мкс; количество импульсов облучения 10) и энергетический спектр (б), полученный с участка № 1. В таблице приведены результаты микрорентгено-спектрального анализа участков, указанных на поз. (а)

Fig. 9. The structure of (a) surface modification of the alloy based on titanium VT6 subjected to electroexplosive alloying and the subsequent processing of high-intensity pulsed electron beam (energy density of the electron beam of 50 j/cm<sup>2</sup>; pulse duration of exposure of the electron beam 100 μs; number of pulses of radiation 10) and energy spectrum (б) obtained from site No. 1. The table shows the results of the microrentgenospectral analysis of the sites indicated in pos. (a)

элементному составу и структурно-фазовому состоянию. Электронно-пучковая обработка приводит к уменьшению шероховатости поверхности и более однородному распределению легирующих элементов. Толщина зоны упрочнения возрастает до 60 мкм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2007. 304 с.
2. Формирование структурно-фазовых состояний и свойств поверхности титановых сплавов при электровзрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке / С.В. Райков, Е.А. Будовских, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, Е.С. Ващук. Новокузнецк: Интер-Кузбасс, 2014. 267 с.
3. Карпий С.В., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф. и др. Формирование поверхностных слоев титановых сплавов при электровзрывном легировании алюминием // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2009. Т. 6. № 1. С. 46–48.
4. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams / V.E. Gromov, Yu.F. Ivanov, S.V. Vorobiev, S.V. Kononov. Cambridge: Cambridge International Science Publishing Ltd, 2015. 272 p.
5. Стрижало В.А. Циклическая прочность и ползучесть металлов при малоцикловом усталостном нагружении в условиях низких и высоких температур. Киев: Наукова думка, 1978. 241 с.
6. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2006. 384 с.

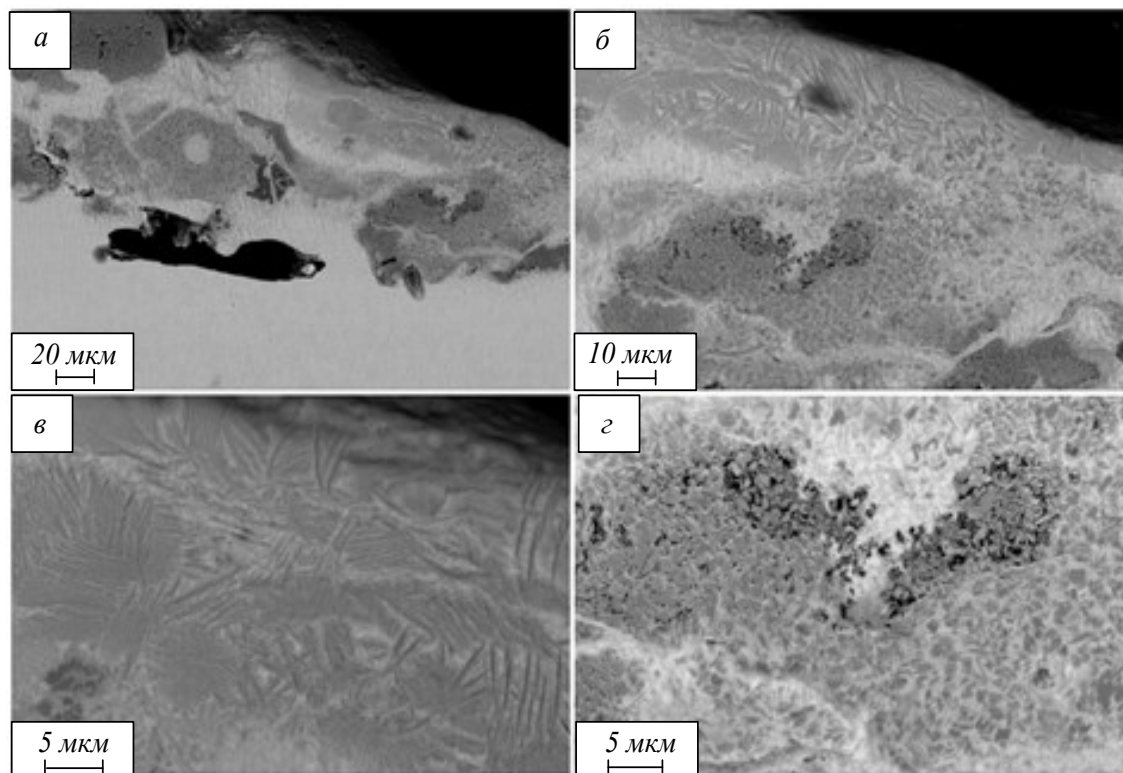


Рис. 10. Структура поперечного шлифа сплава на основе титана VT6, подвергнутого электровзрывному легированию и последующему облучению электронным пучком (энергия ускоренных электронов 16 кэВ; плотность энергии пучка электронов 50 Дж/см<sup>2</sup>; длительность импульса воздействия пучка электронов 100 мкс; частота следования импульсов 0,3 с<sup>-1</sup>; количество импульсов облучения 10)

Fig. 10. The structure of the transverse section of an alloy based on titanium VT6, subjected to electroexplosive alloying and subsequent irradiation with an electron beam (the energy of accelerated electrons is 16 keV; the energy density of the electron beam is 50 J/cm<sup>2</sup>; the pulse duration of the electron beam is 100 microseconds; the pulse repetition rate is 0.3 s<sup>-1</sup>; the number of irradiation pulses is 10)

## REFERENCES

1. Bagautdinov A.Ya., Budovskikh E.A., Ivanov Yu.F., Gromov V.E. Physical bases of electroexplosive alloying of metals and alloys. Novokuznetsk: izd. SibGIU, 2007, 304 p. (In Russ.).
2. Raikov S.V., Budovskikh E.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Vashchuk E.S. Formation of structural-phase states and surface properties of titanium alloys during electroexplosive alloying and subsequent electron beam processing. Novokuznetsk: Inter-Kuzbass, 2014, 267 p. (In Russ.).
3. Karpil S.V., Budovskikh E.A., Ivanov Yu.F., etc. Formation of surface layers of titanium alloys during electroexplosive alloying with aluminum. *Fundamental'nye problemy sovremennoy materialovedeniya*. 2009. vol. 6, no. 1, pp. 46–48. (In Russ.).
4. Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Vorobiev S.V., Kononov S.V. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams. Cambridge: Cambridge International Science Publishing Ltd, 2015, 272 p.
5. Strizhalo V.A. Cyclic strength and creep of metals under low-cycle fatigue loading at low and high temperatures. Kiev: Naukova dumka, 1978, 241 p. (In Russ.).
6. Brandon D., Kaplan U. Microstructure of materials. Methods of research and control. Moscow: Tekhnosfera, 2006, 384 p. (In Russ.).

## Сведения об авторах

**Екатерина Степановна Ващук**, кандидат технических наук, доцент кафедры естественных дисциплин, филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в городе Прокопьевск  
**ORCID:** 0000-0002-1345-7419  
**E-mail:** vaschuk@bk.ru

**Кристина Владимировна Аксенова**, кандидат технических наук, доцент кафедры естественных дисциплин, Сибирский государственный индустриальный университет  
**ORCID:** 0000-0003-4908-6776  
**E-mail:** 19krestik91@mail.ru

**Людмила Петровна Бащенко**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет  
**ORCID:** 0000-0003-1878-909X  
**E-mail:** Luda.baschenko@gmail.com

**Евгений Александрович Будовских**, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник Управления научных исследований, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** budovskikh@mail.ru

**Виктор Евгеньевич Громов**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин, Сибирский государственный индустриальный университет  
**ORCID:** 0000-0002-5147-5343  
**E-mail:** gromov@physics.sibsiu.ru

#### **Information about the authors**

**Ekaterina S. Vashchuk**, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the Department of Natural Sciences, Branch of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev in Prokopyevsk  
**ORCID:** 0000-0002-1345-7419

**Email:** vashchuk@bk.ru

**Krestina V. Aksenova**, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the Department of Natural Sciences, Siberian State Industrial University  
**ORCID:** 0000-0003-4908-6776  
**Email:** 19krestik91@mail.ru

**Lyudmila P. Bashchenko**, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the Department of Heat Power Engineering and Ecology, Siberian State Industrial University  
**ORCID:** 0000-0003-1878-909X  
**Email:** Luda.baschenko@gmail.com

**Evgeny A. Budovskikh**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Senior Researcher of the Department of Scientific Research, Siberian State Industrial University,  
**Email:** budovskikh@mail.ru

**Viktor E. Gromov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Head of the Department of Natural Sciences, Siberian State Industrial University  
**ORCID:** 0000-0002-5147-5343  
**Email:** gromov@physics.sibsiu.ru

© 2021 г. Е.С. Ващук, К.В. Аксенова,  
Л.П. Бащенко, Е.А. Будовских, В.Е. Громов  
Поступила в редакцию 30.06.2021 г.

УДК 621.791:624

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ АЛЮМИНИЕМ И ТИТАНОМ ПРИ ТЕРМИТНОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВ

Ю. В. Бендре, В. Ф. Горюшкин, Н. А. Козырев, Р. А. Шевченко, Н. В. Ознобихина

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Приведена сравнительная оценка термодинамических свойств ( $\Delta_r H^\circ(T)$ ,  $\Delta_r G^\circ(T)$ ) термитных реакций с алюминием и титаном в системах оксид металла – алюминий и оксид металла – титан в стандартных условиях. В качестве компонентов реакций для расчета термодинамических свойств взяты оксиды железа, марганца, кремния и хрома. Проведен термодинамический анализ шести реакций с алюминием и 30 реакций с титаном. Наибольшей вероятностью протекания и наибольшим выделением теплоты отличаются реакции взаимодействия алюминия и титана с оксидами железа, наименьшая вероятность протекания и выделения теплоты наблюдаются при восстановлении оксида кремния. Реакции с оксидами марганца и хрома занимают промежуточное место. По восстановительной способности титан не уступает алюминию, а в случае реакции с оксидами железа даже превосходит, особенно в области температур более 2000 К. Энтальпии реакций восстановления оксидов железа титаном находятся в той же области значений, что и энтальпии реакций восстановления алюминием (от –450 до –400 кДж). Проведенный термодинамический анализ показал, что использование титана в качестве восстановителя при термитной сварке вполне приемлемо наряду с алюминием.

**Ключевые слова:** алюминий, титан, сварка рельсов, термодинамические свойства

**Для цитирования:** Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Ознобихина Н.В. Термодинамические аспекты восстановления оксидов металлов алюминием и титаном при термитной сварке рельсов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 13 – 19.

## THERMODYNAMIC ASPECTS OF METAL OXIDES RECOVERY BY ALUMINUM AND TITANIUM IN THERMIT WELDING OF RAILS

Yu. V. Bendre, V. F. Goryushkin, N. A. Kozyrev, R. A. Shevchenko, N. V. Oznobikhina

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

**Abstract.** The paper presents a comparative assessment of the thermodynamic properties ( $\Delta_r H^\circ(T)$ ,  $\Delta_r G^\circ(T)$ ) of thermite reactions with aluminum and titanium in the metal oxide – aluminum and metal oxide – titanium systems under standard conditions. Iron, manganese, silicon and chromium oxides were taken as components of the reactions for calculating the thermodynamic properties. The thermodynamic analysis of 6 reactions with aluminum and 30 reactions with titanium was carried out. It follows from the calculations that all the reactions considered are thermodynamically probable. However, the reactions of both aluminum and titanium with iron oxides are the most likely to occur and, accordingly, the greatest heat release, the least likely to occur and, accordingly, heat release are observed during the reduction of silicon oxide. Reactions with manganese and chromium oxides occupy an intermediate place. In terms of reducing ability, titanium is not inferior to aluminum, and in the case of a reaction with iron oxides, it even surpasses it, especially in the temperature range of more than 2000 K. The enthalpy of reactions of reduction of iron oxides by titanium are in the same range of values as the enthalpy of reactions of reduction by aluminum (from –450 to –400 kJ). The thermodynamic analysis has shown that the use of titanium as a reducing agent in thermite welding is quite acceptable along with aluminum.

**Keywords:** aluminum, titanium, rail welding, thermodynamic properties

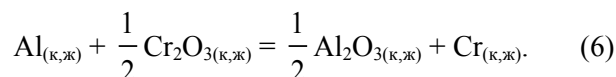
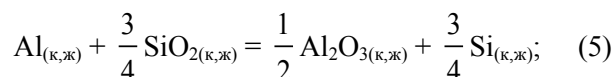
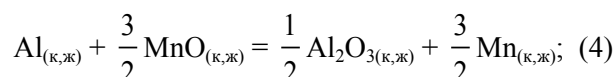
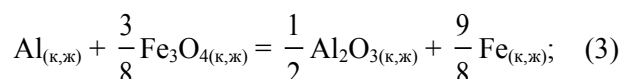
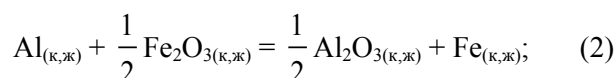
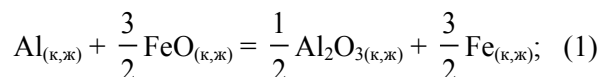
**For citation:** Bendre Yu.V., Goryushkin V.F., Kozyrev N.A., Shevchenko R.A., Oznobikhina N.V. Thermodynamic aspects of metal oxides reduction by aluminum and titanium during thermite welding of rails. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 3 (37), p. 13–19. (In Russ.).

Сварочные термиты, используемые для сварки рельсов, могут отличаться по химическому составу компонентов, что, в свою очередь, предопределяет качественные характеристики сварки и физико-химические свойства получаемого из жидкого металла сварного шва. Наиболее распространена алюмотермитная сварка. Сущность термитной реакции при алюмотермитной сварке рельсов заключается в экзотермических реакциях восстановления алюминием различных оксидов металлов. Теплота, выделяемая при термитной реакции, длительное время сохраняет металл в жидком перегретом состоянии, дает возможность использовать его при заливке зазоров соединяемых торцов рельсов, а также получать прочное соединение при последующей кристаллизации. Однако при использовании алюминия возможно образование вредных (с точки зрения прочности) оксидов алюминия, являющихся после кристаллизации наиболее опасными центрами формирования остаточных напряжений, приводящих к образованию трещин с последующими изломами и разрушением сварного стыка [1]. При замене алюминия на титан при формировании расплава возможно исключение образования оксидов алюминия и формирование оксидов титана, обеспечивающих более высокую сопротивляемость образованию трещин. Стоимость титана значительно выше алюминия, что затрудняет его использование в качестве термита при сварке рельсов. При этом следует отметить, что широкое применение титановых сплавов началось с середины прошлого века, а с 1952 г. он стал использоваться в США при изготовлении авиационных газовых турбин [2]. Далее области использования и номенклатура сплавов значительно расширились [3]. Поскольку от начала использования прошло около 80 лет, можно с уверенностью говорить о наличии титанового лома и о необходимости развивать пути его применения и переработки. Введение измельченного титанового лома в состав сварочных термитов в виде произведенных предварительно порошков – реальный путь его применения.

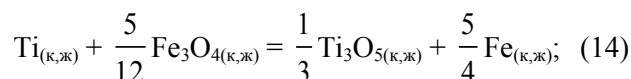
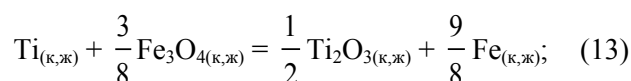
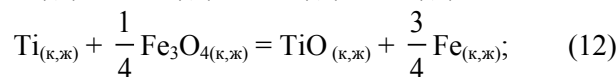
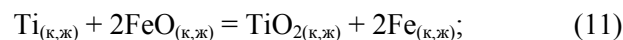
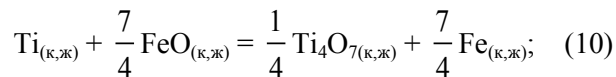
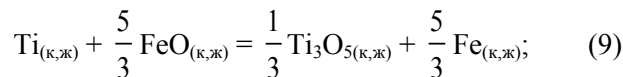
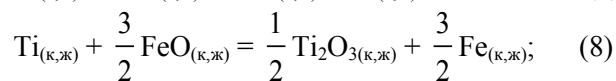
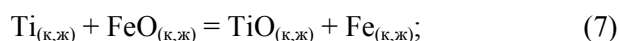
В настоящей работе проведена сравнительная оценка термодинамических свойств ( $\Delta_r H^\circ(T)$ ,  $\Delta_r G^\circ(T)$ ) термитных реакций с алюминием и титаном в системах оксид металла – алюминий и оксид металла – титан в стандартных условиях. В качестве компонентов реакций для расчета термодинамических свойств взяты оксиды желе-

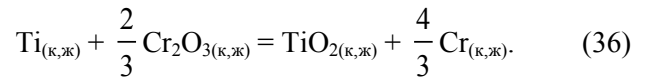
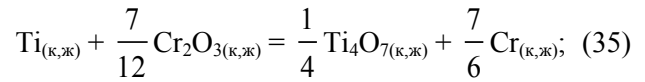
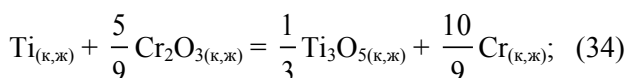
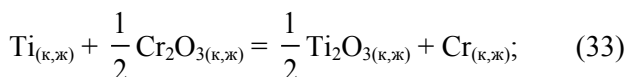
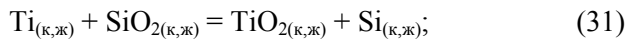
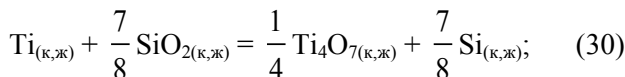
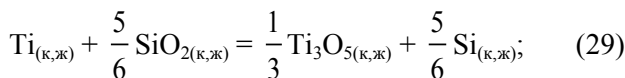
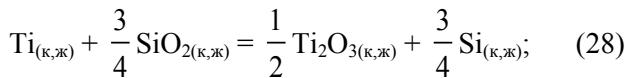
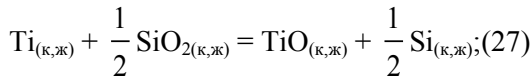
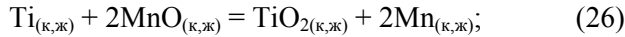
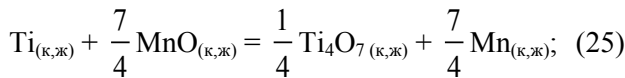
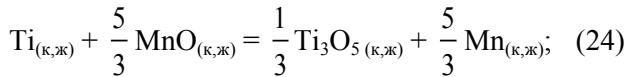
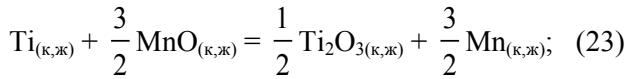
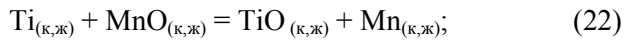
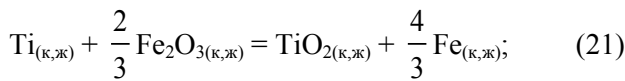
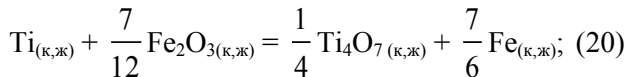
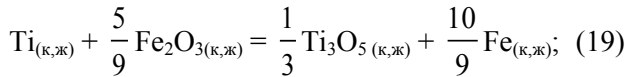
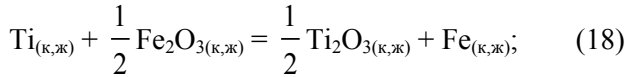
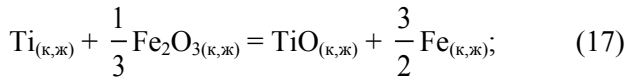
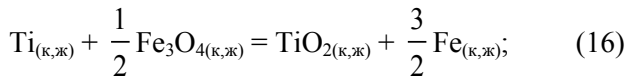
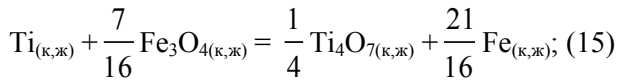
за, марганца, кремния и хрома как составляющие окалины.

Для алюминия в кристаллическом и жидком состояниях известен только оксид  $Al_2O_3$ . Оксиды  $AlO$ ,  $AlO_2$ ,  $Al_2O$ ,  $Al_2O_2$  устойчивы только в газообразном состоянии [4, 5]. Поэтому для термодинамических расчетов, учитывая поставленные задачи, использовали следующие реакции:



Что же касается титана, то в жидком и твердом состояниях для него имеются пять ( $TiO$ ,  $Ti_2O_3$ ,  $Ti_3O_5$ ,  $Ti_4O_7$ ,  $TiO_2$ ) оксидов, термодинамические свойства для которых известны (в порядке увеличения содержания кислорода) [5]. Поэтому количество возможных реакций для титана значительно больше:





Все реакции записывали на 1 моль металла. Термодинамические характеристики реакций (1) – (36) для стандартных условий  $[\Delta_r H^\circ(T), \Delta_r S^\circ(T), \Delta_r G^\circ(T)]$  рассчитывали известными методами [6] в интервале температур 1500 – 3000 К по термодинамическим свойствам ( $[H^\circ(T) - H^\circ(298,15 \text{ K})], S^\circ(T), \Delta_r H^\circ(298,15 \text{ K})$ ) реагентов Fe, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, MnO, Si, SiO<sub>2</sub>, Cr, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ti, TiO, Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, Ti<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, TiO<sub>2</sub> [5, 7].

В качестве стандартных состояний для веществ-реагентов в интервале температур 1500 – 3000 К были использованы: Al<sub>(к,ж)</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3(к,ж)</sub>, Fe<sub>(к,ж)</sub>, FeO<sub>(к,ж)</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3(к,ж)</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4(к,ж)</sub>, Mn<sub>(к,ж)</sub>, MnO<sub>(к,ж)</sub>, Si<sub>(к,ж)</sub>, SiO<sub>2(к,ж)</sub>, Cr<sub>(к,ж)</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3(к,ж)</sub>, Ti<sub>(к,ж)</sub>, TiO<sub>(к,ж)</sub>, Ti<sub>2</sub>O<sub>3(к,ж)</sub>, Ti<sub>3</sub>O<sub>5(к,ж)</sub>, Ti<sub>4</sub>O<sub>7(к,ж)</sub>, TiO<sub>2(к,ж)</sub>.

Стандартная энергия Гиббса и энтальпия для рассматриваемых реакций (1) – (6) в зависимости от температуры приведены в табл. 1, 2.

Стандартная энергия Гиббса и энтальпия реакций (7) – (36) приведены в табл. 3, 4.

По степени вероятности протекания и по количеству выделяемой теплоты можно выделить три зоны. Наибольшими вероятностью протекания и выделением теплоты отличаются реакции взаимодействия алюминия и титана с оксидами железа. Наименьшие вероятность протекания и выделение теплоты наблюдаются при восстановлении оксида кремния. Реакции с оксидами марганца и хрома занимают промежуточное место.

По восстановительной способности титан не уступает алюминию, в случае реакции с оксидами железа даже превосходит (особенно в области высоких (более 2000 К) температур), поэтому было решено использовать титан в качестве восстановителя при термитной сварке.

Энтальпии реакций восстановления оксидов железа титаном находятся в той же области значений, что и энтальпии реакций восстановления алюминием (от –450 до –400 кДж), для всех же остальных оксидов выделение теплоты в реакциях с алюминием на 50 – 100 кДж больше.

Расчет стандартной энергии Гиббса и энтальпии для реакций (7) – (36) показал, что для каждого восстанавливаемого титаном оксида (FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, SiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в реакциях на 1 моль тита на изменяется оксид титана в качестве наиболее-вероятного продукта. Для оксидов железа это высшие

Т а б л и ц а 1

**Стандартная энергия Гиббса для реакций (1) – (6) в зависимости от температуры**  
**Standard Gibbs energy for reactions (1) – (6) as a function of temperature**

Реакция	Значение $\Delta_r G^\circ(T)$ , кДж, при температуре, К					
	1500	1800	2100	2400	2700	3000
1	-335,188	-310,680	-286,290	-263,932	-247,854	-232,819
2	-379,659	-367,386	-350,547	-335,277	-326,169	-317,996
3	-357,426	-341,610	-322,235	-302,885	-289,771	-277,661
4	-189,180	-179,348	-170,442	-155,809	-146,957	-139,202
5	-115,548	-107,252	-102,118	-98,459	-100,674	-103,579
6	-226,594	-215,659	-205,501	-200,361	-199,428	-194,344

Т а б л и ц а 2

**Стандартная энтальпия для реакций (1) – (6) в зависимости от температуры**  
**Standard enthalpy for reactions (1) – (6) depending on temperature**

Реакция	Значение $\Delta_r H^\circ(T)$ , кДж, при температуре, К					
	1500	1800	2100	2400	2700	3000
1	-441,054	-477,380	-455,785	-397,042	-387,676	-378,311
2	-441,246	-440,283	-469,952	-412,174	-403,772	-395,371
3	-437,065	-435,336	-470,489	-412,111	-403,108	-394,105
4	-257,262	-234,641	-230,795	-231,395	-221,490	-211,583
5	-168,021	-136,940	-139,208	-83,668	-77,502	-71,338
6	-282,884	-279,108	-273,488	-193,061	-248,857	-241,249

оксиды ( $TiO_2$  и  $Ti_4O_7$ ), для оксида кремния это низшие оксиды ( $TiO$  и  $Ti_2O_3$ ), для оксидов марганца и хрома – промежуточные оксиды ( $Ti_2O_5$  и  $Ti_4O_7$ ).

### **Выводы**

Проведена оценка термодинамических свойств ( $\Delta_r H^\circ(T)$ ,  $\Delta_r G^\circ(T)$ ) термитных реакций с алюминием (шесть реакций) и титаном (30 реакций) в системах оксид металла – алюминий и оксид металла – титан в стандартных условиях. В качестве компонентов реакций для расчета термодинамических свойств взяты оксиды железа, марганца, кремния и хрома. Показано, что наибольшими вероятностью протекания и выделением теплоты отличаются реакции алюминия и титана с оксидами железа, наименьшие вероятность протекания и выделение теплоты наблюдаются при восстановлении оксида кремния. Протекание реакций с оксидами марганца и хрома занимает промежуточное место. По восстановительной способности титан не уступает алюминию, а в случае реакции с оксидами железа даже превосходит, особенно в области

температур более 2000 К. Энтальпии реакций восстановления оксидов железа титаном находятся в той же области значений, что и энтальпии реакций восстановления алюминием (от -450 до -400 кДж). Расчет термодинамических величин реакций показал, что использование титана наряду с алюминием в качестве восстановителя возможно при термитной сварке.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Поляков В.В., Великанов А.В. Основы технологии производства железнодорожных рельсов. М.: Металлургия, 1990. 416 с.
2. Полмеар Я. Легкие сплавы: от традиционных до нанокристаллов. М.: Техносфера, 2008. 464 с.
3. Глазунов С.Г., Клачев Б.А. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. М.: Металлургия, 1980. 464 с.
4. Термические константы веществ. Вып. V / Под ред. В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1971. 529 с.



**Стандартная энергия Гиббса для реакций (7) – (36) в зависимости от температуры**  
**Standard Gibbs energy for reactions (7) – (36) as a function of temperature**

Реакция	Значение $\Delta_r G^\circ(T)$ , кДж, при температуре, К					
	1500	1800	2100	2400	2700	3000
7	-225,684	-216,464	-208,372	-204,004	-199,550	-195,009
8	-293,267	-280,095	-266,052	-258,061	-250,369	-242,605
9	-308,118	-294,230	-281,023	-274,100	-267,370	-260,807
10	-312,857	-297,229	-284,981	-276,410	-268,069	-259,926
11	-322,970	-302,689	-281,084	-266,941	-254,072	-241,495
12	-240,509	-237,085	-232,335	-229,973	-227,495	-224,904
13	-315,505	-311,026	-301,996	-297,014	-292,287	-287,447
14	-332,826	-328,598	-320,961	-317,381	-313,945	-310,632
15	-338,802	-333,315	-326,916	-321,855	-316,973	-312,242
16	-352,620	-343,930	-329,010	-318,879	-309,962	-301,286
17	-255,331	-254,268	-251,210	-251,568	-251,760	-251,794
18	-337,737	-336,801	-330,308	-329,406	-328,684	-327,782
19	-357,529	-357,238	-352,419	-353,372	-354,387	-355,448
20	-364,740	-363,386	-359,947	-359,646	-359,436	-359,300
21	-382,264	-378,298	-366,759	-362,068	-358,492	-355,065
22	-128,345	-128,910	-131,140	-131,923	-132,285	-132,598
23	-147,259	-148,763	-150,204	-149,939	-149,473	-148,988
24	-145,887	-148,306	-152,303	-153,964	-155,263	-156,788
25	-142,515	-144,009	-149,825	-150,267	-150,357	-150,707
26	-128,293	-127,581	-126,620	-122,778	-119,543	-116,673
27	-79,257	-80,846	-85,590	-93,689	-101,430	-108,850
28	-73,627	-76,667	-81,880	-92,588	-103,189	-113,365
29	-64,074	-68,200	-76,387	-90,241	-103,837	-117,208
30	-56,611	-59,896	-70,113	-83,358	-96,360	-109,147
31	-30,117	-31,452	-35,521	-46,311	-57,833	-69,176
32	-153,287	-153,117	-154,513	-161,624	-167,266	-169,359
33	-184,672	-185,074	-185,263	-194,490	-201,943	-204,130
34	-187,457	-188,652	-191,257	-203,465	-213,564	-218,057
35	-186,164	-186,372	-190,727	-202,244	-211,572	-215,038
36	-178,177	-175,996	-173,365	-182,180	-189,504	-190,195

5. NIST-JANAF Thermochemical Tables 1985. Version 1.0 [Электронный ресурс]: data compiled and evaluated by M.W. Chase, Jr., C.A. Davies, J.R. Dawney, Jr., D.J. Frurip, R.A. Mc Donald, and A.N. Syvernd. – Режим доступа: <http://kinetics.nist.gov/janaf>. (Дата обращения: 16.09.2021).
6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Т. 1. Кн. 1 / Под ред. В.П.

Глушко, Л.В. Гурвича и др. М.: Наука, 1978. С. 22.

7. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Т. 5, 6 / Под ред. В.С. Иориса. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chem.msu.ru/rus/tsiv/>. (Дата обращения: 16.09.2021).

**Стандартная энтальпия реакций (7) – (36) в зависимости от температуры**  
**Standard enthalpy of reactions (7) – (36) depending on temperature**

Реакция	Значение $\Delta_r H^\circ(T)$ , кДж, при температуре, К					
	1500	1800	2100	2400	2700	3000
7	-262,579	-282,677	-238,568	-239,306	-240,047	-240,789
8	-343,528	-377,784	-370,988	-319,323	-319,939	-320,555
9	-360,126	-398,152	-330,198	-328,676	-327,158	-325,641
10	-372,066	-413,538	-345,819	-344,015	-342,215	-340,415
11	-401,850	-451,130	-440,132	-371,173	-368,525	-365,878
12	-259,920	-254,648	-248,371	-249,352	-250,335	-251,319
13	-339,540	-335,740	-385,693	-334,392	-335,370	-336,349
14	-355,694	-351,437	-346,536	-345,420	-344,304	-343,190
15	-367,413	-364,487	-362,975	-361,596	-360,218	-358,842
16	-396,533	-395,072	-459,738	-391,265	-389,101	-386,937
17	-262,707	-257,946	-248,013	-249,394	-250,778	-252,162
18	-343,720	-340,687	-385,155	-334,456	-336,035	-337,615
19	-360,339	-356,933	-345,939	-345,490	-345,042	-344,596
20	-372,290	-370,258	-362,347	-361,670	-360,993	-360,318
21	-402,106	-401,667	-459,021	-391,350	-389,986	-388,624
22	-140,051	-120,851	-88,575	-128,875	-129,256	-129,637
23	-159,736	-135,045	-145,999	-153,677	-153,752	-153,827
24	-155,912	-128,442	-80,209	-144,625	-142,506	-140,387
25	-157,642	-130,342	-83,332	-150,761	-148,330	-145,899
26	-156,794	-127,478	-140,146	-150,311	-146,943	-143,574
27	-80,558	-55,718	-27,517	-30,391	-33,265	-36,140
28	-70,496	-37,344	-54,412	-5,950	-9,765	-13,582
29	-56,757	-19,886	21,554	19,516	17,480	15,441
30	-53,528	-16,358	23,520	21,587	19,655	17,721
31	-37,807	2,789	-18,030	46,658	45,040	43,420
32	-157,133	-150,496	-117,037	-103,319	-147,501	-149,414
33	-185,359	-179,512	-188,691	-115,343	-181,120	-183,493
34	-184,382	-177,849	-127,645	-102,031	-172,915	-173,349
35	-187,535	-182,220	-133,139	-106,038	-180,259	-180,509
36	-190,957	-186,767	-197,069	-99,199	-183,433	-183,128

**REFERENCES**

1. Polyakov V.V., Velikanov A.V. *Fundamentals of technology for the production of railway rails*. Moscow: Metallurgiya, 1990, 416 p. (In Russ.).
2. Polmear Ya. *Light alloys: from traditional to nanocrystals*. Moscow: Tekhnocfera, 2008, 464 p. (In Russ.).
3. Glazunov C.G., Klachev B.A. *Titanium alloys. Metallography of titanium alloys*. Moscow: Metallurgiya, 1980, 464 p. (In Russ.).
4. Glushko V.P., Medvedev V.A. at al. ed. *Thermal constants of substances. Issue V*. Moscow: Nauka, 1971, 529 p. (In Russ.).
5. *NIST-JANAF Thermochemical Tables 1985. Version 1.0* [Electronic resource]: data compiled and evaluated by M.W. Chase, Jr., C.A. Davies, J.R. Dawney, Jr., D.J. Frurip, R.A. Mc Donald, and

A.N. Syvernd. Available at URL: <http://kinetics.nist.gov/janaf>. (Accessed: 16.09.2021).

6. Glushko V.P., Gurvich L.V. at al. ed. *Thermodynamic properties of individual substances. Vol. 1. Book 1*. Moscow: Nauka, 1978, pp. 22. (In Russ.).
7. Iorish V.C. ed. *Thermodynamic properties of individual substances. Vol. 5, 6*. [Electronic resource]. Available at URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/tsiv/>. (Accessed: 16.09.2021). (In Russ.).

#### Сведения об авторах:

**Юлия Владимировна Бендре**, к.х.м., доцент кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет

**Владимир Федорович Горюшкин**, д.х.м., профессор кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет

**Николай Анатольевич Козырев**, д.т.н., заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет  
**ORCID:** 0000-0002-7391-6816  
**E-mail:** kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru

**Роман Алексеевич Шевченко**, ассистент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** shefn1200@mail.ru

**Наталья Валерьевна Ознобихина**, ведущий специалист по информационному обеспечению и государственной регистрации НИР (ИО и ГР НИР), Сибирский государственный индустриальный университет

#### Information about the authors

**Yulia V. Bendre**, Cand Sci Chem, Associate Professor of the Chair of Natural Sciences named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University

**Vladimir F. Goryushkin**, Dr Sci Chem, Professor of the Chair of Natural Sciences named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University

**Nikolai A. Kozyrev**, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University  
**ORCID:** 0000-0002-7391-6816  
**E-mail:** kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru

**Roman A. Shevchenko**, Assistant of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production", Siberian State Industrial University  
**E-mail:** shefn1200@mail.ru

**Natalya V. Oznobikhina**, Leading specialist in information support and state registration of research and development (IS and SR R&D), Siberian State Industrial University

© 2021 г. Ю.В. Бендре, В.Ф. Горюшкин,  
Н.А. Козырев, Р.А. Шевченко,  
Н.В. Ознобихина  
Поступила в редакцию 09.09.2021 г.

УДК 669.539.382:669.17

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Р. В. Кузнецов<sup>1</sup>, Ю. Ф. Иванов<sup>2</sup>, Ю. А. Шлярова<sup>1</sup>, К. В. Аксёнова<sup>1</sup>, В. Е. Кормышев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН (Россия, 634055, Томск, пр. Академический, 2/3)

**Аннотация.** Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии исследовано изменение структурно-фазовых состояний дифференцированно закаленных 100-м рельсов на различной (до 10 мм) глубине в головке рельсов по центральной оси и по выкружке в исходном состоянии и после разных сроков длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 691,8, 1411 и 1770 млн т брутто). Отмечено значительное преобразование структурно-фазового состояния зерен пластинчатого перлита: происходит разрушение пластин цементита путем их разрезания движущимися дислокациями и путем растворения с выходом углерода из решетки цементита на линии дислокаций, малоугловые и большеугловые границы. Выявлено формирование субзеренной структуры, содержащей наноразмерные частицы цементита, расположенные в стыках и вдоль границ субзерен. Выявлен градиентный характер изменения скалярной и избыточной плотности дислокаций по сечению головки рельсов.

**Ключевые слова:** структура, рельсы, длительная эксплуатация, разрушение, дислокации

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 19-32-60001) и стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов (проект СП-4517.2021.1).

**Для цитирования.** Кузнецов Р.В., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Аксёнова К.В., Кормышев В.Е. Изменение структурно-фазовых состояний рельсов на разных этапах длительной эксплуатации // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 20 – 26.

## CHANGE OF STRUCTURAL-PHASE STATES OF RAILS AT DIFFERENT STAGES OF LONG-TERM OPERATION

R. V. Kuznetsov<sup>1</sup>, Yu. F. Ivanov<sup>2</sup>, Yu. A. Shlyarova<sup>1</sup>, K. V. Aksenova<sup>1</sup>, V. E. Kormyshev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

<sup>2</sup>Institute of High-Current Electronics, SB RAS (2/3 Akademicheskij Str., Tomsk 634055, Russian Federation)

**Abstract.** Structure-phase state of 100-meter differentially quenched rails at different depth up to 10 mm in rail head along the central axis and fillet symmetry axis in initial state and after different time periods of extreme long-term operation (passed tonnage of 691.8; 1411 and 1770 million. gross tons) has been studied using methods of transmission electron diffraction microscopy. Significant transformation of structural-phase state of lamellar pearlite grains is noted, accompanied by destruction of cementite plates by cutting them with moving dislocations and by dissolving with carbon withdrawal from the cementite lattice at dislocation lines, low-angle and high-angle boundaries. Formation of a subgrain structure containing nanosize cementite particles located at joints and along the boundaries of subgrains was revealed. Gradient character of scalar and excess density of dislocations along the section of the rail head is revealed.

**Keywords:** structure, rails, long-term operation, destruction, dislocation

**Funding.** This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-32-60001) and scholarship of the President of the Russian Federation for young scientists and graduate students (project SP-4517.2021.1).

**For citation:** Kuznetsov R.V., Ivanov Yu.F., Shlyarova Yu.A., Aksenova K.V., Kormyshev V.E. The process of stationary creep of aluminum A85, titanium VT1-0, lead C2. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 3 (37), p. 20–26. (In Russ.).

### **Введение**

В связи со значительным увеличением интенсивности железнодорожных перевозок и грузонапряженности в последние годы в научной литературе подробно обсуждаются вопросы, касающиеся упрочнения и износа рельсов, обеспечения их высокой эксплуатационной стойкости. Дефекты износа формируются в поверхностных слоях, при этом начало постоянного износа совпадает с накоплением определенного уровня пластической деформации [1–5].

Анализ износа рельсов и причин деградации их структуры в процессе длительной эксплуатации с последующим изъятием вызывают значительный научный и практический интерес. Изучение закономерностей и природы формирования структурно-фазовых состояний, дефектной субструктуры и свойств поверхностных слоев в головке рельсов по выкружке и по центральной оси после различных этапов (времени) наработки необходимо для создания рельсов премиум класса [6].

Ранее в российских объемно закаленных 25-м рельсах производства АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК») после пропущенного тоннажа 500 и 1000 млн т было выявлено формирование наноразмерной многофазной структуры в слое металла, прилегающем к рабочей поверхности (поверхности выкружки и поверхности катания). Эта структура характеризуется полным разрушением колоний пластинчатого перлита (поверхностный слой), протеканием начальной стадии динамической рекристаллизации зерен структурно свободного феррита (слой толщиной не менее 2 мм), фрагментацией зерен феррито-карбидной смеси. В результате шло образование структуры, в которой частицы карбидной фазы расположены преимущественно по границам субзерен [7].

Партия дифференцированно закаленных 100-м рельсов категории ДТ350, выпущенных на этом комбинате в 2013 г., достигла беспрецедентной в практике наработки 1,77 млрд т брутто пропущенного тоннажа. Такая величина наработки более чем в два раза превышает ресурс рельсов до капитального ремонта пути с полной сменой рельсов.

Целью настоящей работы является анализ изменения структурно-фазовых состояний и де-

фектной субструктуры дифференцированно закаленных рельсов на разных стадиях длительной эксплуатации.

### **Материал и методика исследования**

В качестве материала исследования использовали четыре партии образцов дифференцированно термоупрочненных рельсов типа Р65 категории ДТ350 из электростали марки Э76ХФ, изготовленных в мае 2013 г. на АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Первую партию составляли образцы в исходном состоянии (перед установкой на полигоне), вторую, третью и четвертую партии – образцы после пропущенного тоннажа 691,8, 1411 и 1770 млн т брутто в процессе полигонных испытаний.

Химический состав стали марки Э76ХФ (ТУ 0921-276-01124323 – 2012) следующий: 0,73 % С; 0,75 % Mn; 0,58 % Si; 0,012 % P; 0,007 % S; 0,42 % Cr; 0,07 % Ni; 0,13 % Cu; 0,002 % Al; 0,003 % Ti; 0,006 % Mo; 0,04 % V.

Исследования структуры стали осуществляли с использованием просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ) [8, 9]. Объекты исследования для ПЭМ (фольги толщиной 150 – 200 нм) изготавливали методом электролитического утонения пластинок, вырезанных методом электроискровой эрозии металла и расположенных у поверхностей катания и выкружки на расстоянии 2 и 10 мм от поверхности.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Дифференцированная закалка рельсов сопровождается формированием поликристаллической структуры, представленной зернами перлита пластинчатой морфологии, зернами перлита вырожденного (феррито-карбидная смесь) и зернами структурно-свободного феррита (зерна феррита, не содержащие частицы цементита). Основной структурной составляющей стали является перлит пластинчатый, относительное содержание зерен структурно-свободного феррита незначительно и изменяется в пределах от 0,01 до 0,05 структуры стали. Относительное содержание зерен пластинчатого перлита вдоль центральной оси рельсов изменяется от 0,70 до 0,84. Вдоль оси симметрии выкружки относительное содержание зерен пластинчатого перлита изменяется в пределах от 0,61 до 0,73, достигая максимального значения на глубине 10 мм. Соответственно

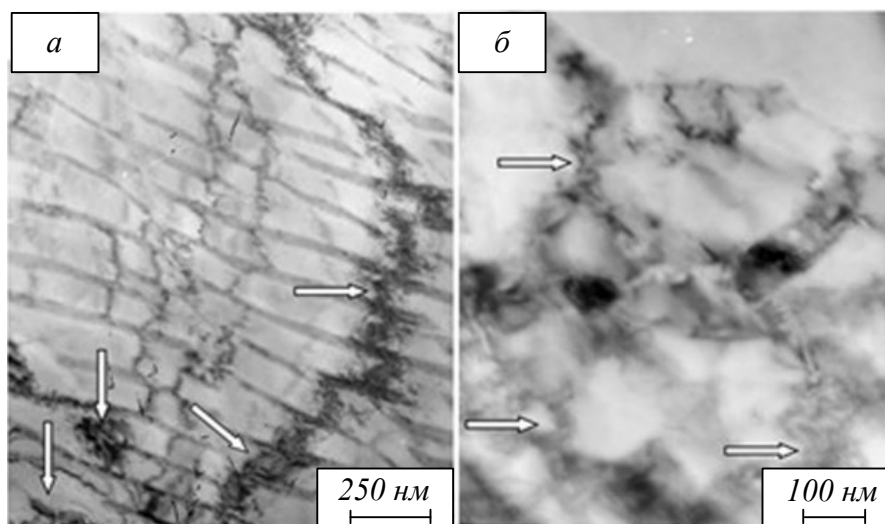


Рис. 1. Изгибные экстинкционные контуры (указаны стрелками), выявленные в структуре пластинчатого перлита (а) и зернах феррито-карбидной смеси (б)

Fig. 1. Flexural extinction contours (indicated by arrows) revealed in structure of lamellar pearlite (a) and grains of ferrite-carbide mixture (b)

этому изменяется относительное содержание зерен вырожденного перлита.

Дисперсность (межпластинчатое расстояние) пластинчатого перлита зависит от расстояния до поверхности. На глубине 2 и 10 мм средняя величина межпластинчатого расстояния практически не зависит от направления исследования (вдоль оси симметрии выкружки или вдоль центральной оси) и составляет 130 – 140 нм. В слое, формирующем поверхность катания, средняя величина межпластинчатого расстояния 160 нм, а в слое, формирующем поверхность выкружки, – 185 нм.

Скалярная плотность дислокаций практически не зависит от расстояния до поверхности головки рельса и изменяется в пределах  $(4,0 \div 4,6) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  в зернах перлита пластинчатого и  $(5,0 \div 6,0) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  – в зернах вырожденного перлита. Избыточная плотность дислокаций в зернах пластинчатого перлита изменяется в пределах  $(2,7 \div 3,4) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ , в зернах перлита вырожденного изменяется в пределах  $(3,8 \div 5,2) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  и убывает при удалении от поверхности головки.

После длительной эксплуатации в поверхностном слое рельсов формируется градиентная структура, проявляющаяся в существенной ее деградации вдоль центральной оси и вдоль оси симметрии рабочей выкружки головки рельсов.

Уже при пропущенном тоннаже 691,8 млн т по всему сечению головки рельсов наблюдается образование изгибных контуров экстинкции (рис. 1), свидетельствующих об упругопластическом деформировании кристаллической решетки [10]. Эти процессы происходят не только на поверхности катания, но и в глубине, поэтому

напряженно-деформированное состояние наблюдается по всему сечению головки рельса.

Эксплуатация рельсов сопровождается одновременным протеканием ряда процессов, основные из которых представлены ниже.

1. При пропущенном тоннаже 691,8 млн т происходит небольшой рост скалярной плотности дислокаций от  $2,9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  (в слое, расположенном на расстоянии 10 мм от поверхности) до  $3,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  (около поверхности катания). При этом тип дислокационной субструктуры (сетчатые и хаотически распределенные дислокации) не изменяется. Примерное равенство этой характеристики вблизи поверхности катания и значительном удалении от нее свидетельствует о преимущественно упругом характере деформирования материала.

2. Разрушение структуры пластинчатого перлита путем перерезания пластин цементита с последующим «растаскиванием» их фрагментов. Разрушение пластин цементита приводит к формированию частиц глобулярной формы, поперечные и продольные размеры которых в поверхностном слое составляют 30 и 50 нм. При удалении от поверхности катания размеры наблюдаемых частиц увеличиваются и составляют  $30 \times 215$  нм на расстоянии 10 мм от поверхности катания (что близко к размерам частиц стали в недеформированном материале). Рефлексы карбидной фазы на микроэлектронограмме, полученной с таких пластин, имеют как радиальное, так и азимутальное размытие, что может свидетельствовать о высоком уровне дефектности кристаллической решетки цементита, а также об изменении параметра кристаллической решетки вследствие ухода атомов углерода.

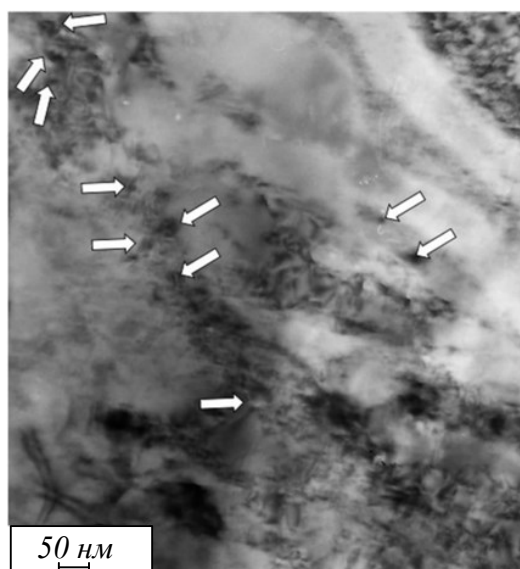


Рис. 2. ПЭМ изображение третьей стадии процесса преобразования пластин цементита перлитной колонии, реализующейся по механизму растворения на месте (стрелками указаны наноразмерные частицы карбидной фазы, формирующиеся в структуре пластин цементита)

Fig. 2. TEM image of the third stage of the process of pearlite colony cementite plates transformation, by onsite dissolution (arrows indicate nanosize particles of the carbide phase formed in structure of cementite plates)

Второй механизм разрушения пластин цементита заключается в вытягивании в процессе пластической деформации дислокациями атомов углерода из решетки карбидной фазы с образованием атмосфер Коттрелла вследствие заметной разницы средней энергии связи атомов углерода с дислокациями (0,6 эВ) и с атомами железа в решетке цементита (0,4 эВ). Диффузия углерода протекает в поле напряжений, создаваемом дислокационной субструктурой, которая формируется вокруг пластины цементита. При этом степень распада цементита должна определяться

типом субструктуры и величиной плотности дислокаций.

На начальной стадии преобразования цементитные пластины окружаются скользящими дислокациями, после чего происходит разбиение пластин на отдельные слабоориентированные фрагменты. Далее вследствие вытягивания атомов углерода из решетки цементита может наблюдаться изменение структуры карбида, что обусловлено проникновением скользящих дислокаций из кристаллической решетки феррита в кристаллическую решетку цементита. На следующем этапе растворения цементита весь ранее занимаемый цементитной пластиной объем заполняется наноразмерными частицами (рис. 2).

Наибольшее преобразование структуры наблюдается в поверхностном слое головки рельсов. Структура поверхностного слоя рабочей выкружки после пропущенного тоннажа 1411 млн т брутто приведена на рис. 3, а, б, поверхности катания – на рис. 3, в. В обоих случаях на поверхности формируется субмикро- и нанокристаллическая субзеренная (фрагментированная) структура, относительное содержание которой в поверхностном слое рабочей выкружки составляет 0,25, в поверхностном слое поверхности катания – 0,15. Размеры фрагментов на поверхности выкружки изменяются в пределах 30 – 40 нм (рис. 3, б), а на поверхности катания – 150 – 300 нм (рис. 3, в).

После 1770 млн т пропущенного тоннажа выявлено формирование субзеренной структуры, которая формируется исключительно в поверхностном слое металла рельсов, при этом ее относительное содержание в поверхностном слое выкружки значительно выше, чем в поверхностном слое поверхности катания. Субзеренная структура содержит расположенные в стыках и вдоль

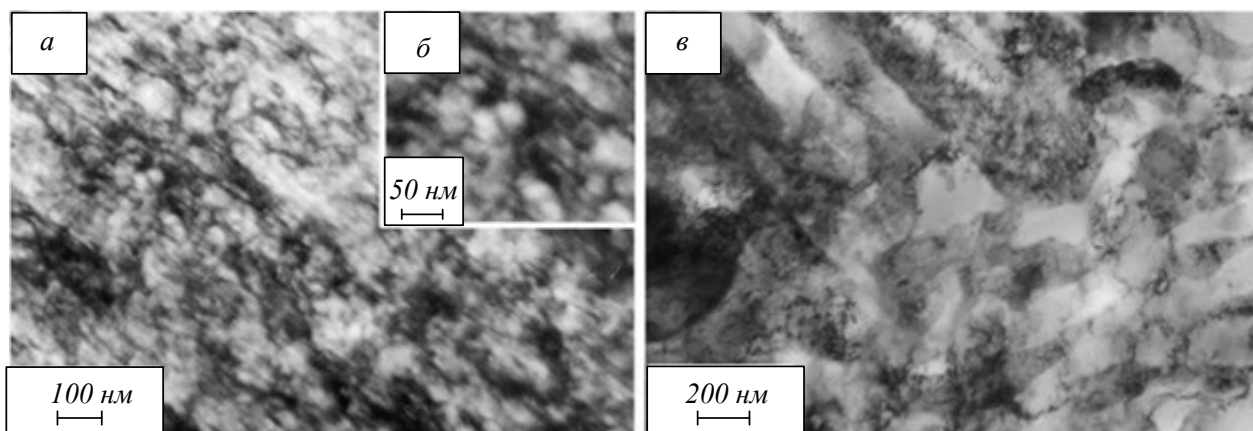


Рис. 3. ПЭМ изображения структуры, формирующейся после пропущенного тоннажа 1411 млн т брутто в поверхностном слое рабочей выкружки (а, б) и поверхности катания (в)

Fig. 3. TEM images of the structure formed after passed tonnage of 1411 million gross tons in the surface layer of working fillet (a, б) and in rolling surface (в)

границ субзерен наноразмерные частицы цементита. Размеры субзерен изменяются от 110 до 200 нм, размеры частиц цементита – от 25 до 60 нм. Преобразование при эксплуатации структуры перлита пластинчатой морфологии относительно центральной оси протекает медленнее по сравнению с изменением структуры рабочей выкружки.

3. Установлено одновременное с разрушением колоний перлита (при пропущенном тоннаже 691, 8 млн т) снижение объемной доли цементита от 4,9 % (в поверхностном слое) до 11,2 % (в слое, расположенном на глубине 10 мм).

Увеличение пропущенного тоннажа до 1411 и 1770 млн т усиливает процессы изменения структурно-фазовых состояний металла рельсов. По центральной оси растут микроискажения и параметр кристаллической решетки твердого раствора на основе  $\alpha$ -Fe. Деформационный наклеп металла поверхностного слоя на глубину до 200 мкм при пропущенном тоннаже 1411 млн т приводит к увеличению в 1,5 раза относительно исходного состояния скалярной и избыточной плотностей дислокаций [6].

Проведенное исследование градиентного характера изменения структуры металла рельсов показало, что эксплуатация рельсов сопровождается закономерным снижением количества пластинчатого перлита (по мере приближения к поверхности) и увеличением относительного содержания разрушенного перлита. При пропущенном тоннаже 1770 млн т в поверхностном слое весь пластинчатый перлит практически разрушен.

4. После длительной эксплуатации рельсов местами расположения углерода наряду с частицами цементита становятся дефекты кристаллической структуры стали (дислокации, границы зерен и субзерен), а в поверхностном слое углерод обнаруживается и в кристаллической решетке  $\alpha$ -железа. Процессы деградации карбидной фазы и перераспределения атомов углерода наиболее интенсивно реализуются в поверхностных слоях глубиной до 2 мм. Увеличение пропущенного тоннажа в интервале 691,8 ÷ 1411 ÷ 1770 млн т также сопровождается заметным перемещением атомов углерода на дефекты структуры стали в рабочей выкружке по сравнению с поверхностью катания.

Исходя из представленных результатов, можно предположить, что разрушение металла рельсов в первую очередь будет протекать именно в поверхностном слое рабочей выкружки, где уже после 1411 млн т пропущенного тоннажа наблюдается формирование наноразмерной субзеренной структуры.

Значительное фрагментирование структуры зерен после пропущенного тоннажа 1411 – 1770 млн т при-

водит к формированию локальных участков, не способных далее обеспечивать развитие релаксационных процессов (формируется так называемая «критическая» структура [11]). Формирование такой «критической» структуры будет завершаться зарождением микротрещин по усталостному механизму и выходу рельсов из строя. Поэтому увеличение ресурса работы рельсов может быть достигнуто за счет как можно более длительного сохранения структуры, способной к развитию обратимых деформационных процессов, исключая разрушение цементитных пластин, перемещение атомов углерода на дефекты решетки  $\alpha$ -железа.

### **Выводы**

Методами современного физического материаловедения выполнен анализ изменения структурно-фазового состояния и дефектной субструктуры по различным направлениям на глубине до 10 мм в головке длинномерных дифференцированно закаленных рельсов после различных сроков длительной эксплуатации (пропущенный тоннаж 691,8, 1411 и 1770 млн т брутто).

Выявлено существенное преобразование структурно-фазового состояния зерен пластинчатого перлита, сопровождающееся разрушением пластин цементита путем их разрезания движущимися дислокациями и растворением с уходом углерода из решетки цементита на линии дислокаций, малоугловые и большеугловые границы. Установлено, что преобразование структуры пластинчатого перлита протекает более интенсивно в поверхности выкружки по сравнению с поверхностью катания. В наибольшей степени это наблюдается в поверхностном слое, где формируется фрагментированная структура и выделяются наноразмерные частицы цементита.

При наработке 1411 млн т пропущенного тоннажа размеры фрагментов феррита в поверхностном слое выкружки изменяются в пределах 30 – 40 нм, а в поверхностном слое поверхности катания – 150 – 300 нм. Относительное содержание зерен с фрагментами составляет 25 % (в поверхностном слое выкружки) и 15 % (в поверхностном слое поверхности катания). При пропущенном тоннаже 1770 млн т в поверхностном слое пластинчатый перлит практически разрушается.

Показано, что длительная эксплуатация рельсов сопровождается существенным перераспределением атомов углерода, наиболее интенсивно происходящем в поверхностных слоях толщиной до 2 мм. В исходном состоянии основное количество атомов углерода сосредоточено в частицах цементита. После длительной эксплуа-



тации рельсов атомы углерода располагаются (наряду с частицами цементита) в дефектах кристаллической структуры стали (в дислокациях, границах зерен и субзерен). При увеличении пропущенного тоннажа атомы углерода перемещаются преимущественно в места скопления дефектов структуры в рабочей выкружке по сравнению с поверхностью катания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanisenko Yu., Maclaren I., Souvage X., Valiev R.Z., Fecht H.J. Shear-induced  $\alpha \rightarrow \gamma$  transformation in nanoscale Fe–C composite // *Acta Materialia*. 2006. Vol. 54. P. 1659–1669.
2. Seo J.-W., Jun H.-K., Kwon S.-J., Lee D.-H. Rolling contact fatigue and wear of two different rail steels under rolling – sliding contact // *International Journal of Fatigue*. 2016. Vol. 83. P. 184–194.
3. Lewis R., Christoforou P., Wang W.J., Beagles A., Burstow M., Lewis S.R. Investigation of the influence of rail hardness on the wear of rail and wheel materials under dry conditions (ICRI wear mapping project) // *Wear*. 2019. Vol. 430–431. P. 383–392.
4. Skrypnyk R., Ekh M., Nielsen J.C.O., Pålsson B.A. Prediction of plastic deformation and wear in railway crossings – comparing the performance of two rail steel grades // *Wear*. 2019. Vol. 428–429. P. 302–314.
5. Kim D., Quagliato L., Park D., Kim N. Lifetime prediction of linear slide rails based on surface abrasion and rolling contact fatigue-induced damage // *Wear*. 2019. Vol. 420–421. P. 184–194.
6. Yuriev A.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Rubannikova Yu.A., Starostenkov M.D., Tabakov P.Y. Structure and properties of lengthy rails after extreme long-term operation. In book: *Materials Research Forum LLC*, 2021. 193 p.
7. Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Glezer A.M., Peregudov O.A., Morozov K.V. Nature of the structural degradation of rail surfaces during operation // *Bulletin of Russian Academy of Science: Physics*. 2016. No. 80 (12). P. 1483–1488.
8. Zuo J.M., Spence J.C.H. *Advanced Transmission Electron Microscopy*. New York: Springer, 2017. 729 p.
9. Egerton F.R. *Physical principles of electron microscopy*. Basel: Springer International Publishing, 2016. 196 p.
10. Конева Н.А., Козлов Э.В. Природа субструктурного упрочнения // *Известия вузов. Физика*. 1982. Т. 8. № 3. С. 13, 14.
11. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М.: Металлургия, 1986. 224 с.

#### REFERENCES

1. Ivanisenko Yu., Maclaren I., Souvage X., Valiev R.Z., Fecht H.J. Shear-induced  $\alpha \rightarrow \gamma$  transformation in nanoscale Fe–C composite. *Acta Materialia*. 2006, vol. 54, pp. 1659–1669.
2. Seo J.-W., Jun H.-K., Kwon S.-J., Lee D.-H. Rolling contact fatigue and wear of two different rail steels under rolling – sliding contact. *International Journal of Fatigue*. 2016, vol. 83, pp. 184–194.
3. Lewis R., Christoforou P., Wang W.J., Beagles A., Burstow M., Lewis S.R. Investigation of the influence of rail hardness on the wear of rail and wheel materials under dry conditions (ICRI wear mapping project). *Wear*. 2019, vol. 430–431, pp. 383–392.
4. Skrypnyk R., Ekh M., Nielsen J.C.O., Pålsson B.A. Prediction of plastic deformation and wear in railway crossings – comparing the performance of two rail steel grades. *Wear*. 2019, vol. 428–429, pp. 302–314.
5. Kim D., Quagliato L., Park D., Kim N. Lifetime prediction of linear slide rails based on surface abrasion and rolling contact fatigue-induced damage. *Wear*. 2019, vol. 420–421, pp. 184–194.
6. Yuriev A.A., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Rubannikova Yu.A., Starostenkov M.D., Tabakov P.Y. Structure and properties of lengthy rails after extreme long-term operation. In: *Materials Research Forum LLC*, 2021, 193 p.
7. Ivanov Yu.F., Gromov V.E., Glezer A.M., Peregudov O.A., Morozov K.V. Nature of the structural degradation of rail surfaces during operation. *Bulletin of Russian Academy of Science: Physics*. 2016, no. 80 (12), pp. 1483–1488.
8. Zuo J.M., Spence J.C.H. *Advanced Transmission Electron Microscopy*. New York: Springer, 2017, 729 p.
9. Egerton F.R. *Physical principles of electron microscopy*. Basel: Springer International Publishing, 2016, 196 p.
10. Koneva N.A., Kozlov Je.V. The nature of substructural hardening. *Izvestija vuzov. Fizika*. 1982, vol. 8, no. 3, pp. 13, 14. (In Russ.).
11. Rybin V.V. *Large plastic deformation and destruction of metals*. Moscow: Metallurgija, 1986, 224 c.

**Сведения об авторах**

**Роман Вадимович Кузнецов**, соискатель кафедры естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** mail@kuzmash.com

**Юрий Федорович Иванов**, д.ф.-м. н., профессор, главный научный сотрудник, Институт Сильноточной электроники СО РАН  
**E-mail:** yufi55@mail.ru

**Юлия Андреевна Шлярова**, аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** rubannikova96@mail.ru

**Крестина Владимировна Аксёнова**, к.т.н., доцент кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** 19krestik91@mail.ru

**Василий Евгеньевич Кормышев**, к.т.н., старший научный сотрудник УНИ, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** 89239230000@mail.ru

**Information about the authors**

**Roman V. Kuznetsov**, External doctorate student of the Chair of Natural Sciences. Named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University  
**E-mail:** mail@kuzmash.com

**Yurii F. Ivanov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Chief Researcher, Institute of High-Current Electronics SB RAS  
**E-mail:** yufi55@mail.ru

**Yuliya A. Shlyarova**, doctorate student of the Chair of Natural Sciences. Named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University  
**E-mail:** rubannikova96@mail.ru

**Krestina V. Aksenova**, Cand. Sci. (Eng.), Cand. Sci. Eng., Associate Professor of the Chair of Natural Sciences. Named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University  
**E-mail:** 19krestik91@mail.ru

**Vasilii E. Kormyshev**, Cand. Sci. (Eng.), Cand. Sci. Eng., Senior researcher of the Research department, Siberian State Industrial University  
**E-mail:** 89239230000@mail.ru

© 2021 г. *Р.В. Кузнецов, Ю.Ф. Иванов, Ю.А. Шлярова, К.В. Аксёнова, В.Е. Кормышев*  
Поступила в редакцию 30.06.2021 г.

УДК 669.713.017:538.9

## ПРОЦЕСС СТАЦИОНАРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ АЛЮМИНИЯ А85, ТИТАНА ВТ1-0, СВИНЦА С2

А. А. Серебрякова, Д. В. Загуляев, В. В. Шляров

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Рассмотрены цветные металлы: алюминий марки А85, титан марки ВТ1-0, свинец марки С2. Проведены механические испытания, исследованы процессы ползучести, получены характерные кривые процесса для каждого из этих цветных металлов. Проведен анализ скоростей ползучести алюминия, титана, свинца.

**Ключевые слова:** свинец С2, титан ВТ1-0, алюминий А85, стационарная ползучесть, пластическая деформация, скорость ползучести, механические свойства цветных металлов

**Для цитирования.** Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В. Процесс стационарной ползучести алюминия А85, титана ВТ1-0, свинца С2. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 27 – 30.

## THE PROCESS OF STATIONARY CREEP FLOW OF A85 ALUMINUM, VT1-0 TITANIUM, C2 LEAD

A. A. Serebryakova, D.V. Zagulyaev, V. V. Shlyarov

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

**Abstract.** Mechanical tests of non-ferrous metals were carried out: aluminum (Al) of the A85 grade, titanium (Ti) of the VT1-0 grade, lead (Pb) of the C2 grade. The creep flow processes of these metals are investigated. The characteristic curves of the process for each non-ferrous metal are obtained. The creep rates of aluminum, titanium, and lead were analyzed.

**Keywords:** lead C2, titanium VT1-0, aluminum A85, stationary creep, plastic deformation, mechanical properties of non-ferrous metals

**For citation:** Serebryakova A.A., Zagulyaev D.V., Shlyarov V.V. The process of stationary creep flow of A85 aluminum, VT1-0 titanium, C2 lead. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 3 (37), p. 27–30. (In Russ.).

### **Введение**

Цветные металлы широко распространены во многих сферах промышленности [1]. В настоящей работе рассмотрены такие цветные металлы, как алюминий марки А85, титан марки ВТ1-0, свинец марки С2.

Использование алюминия весьма разнообразно и по своим масштабам занимает второе место после железа и его сплавов. Алюминий широко применяется в бытовой, ракетно- и автомобилестроительной промышленности, что обусловлено его небольшой плотностью, коррозионной стойкостью и пластичностью в сравнении с другими металлическими материалами [2]. Ти-

тан является металлом «будущего» и находит применение в космической, авиационной, судостроительной, машиностроительной и нефтегазовой отраслях благодаря своим прочностным характеристикам [3]. Свинец из-за своих радиационных свойств, высокой плотности и пластичности используется в атомной, военной, строительной отраслях [4]. Таким образом, рассматриваемые металлы являются широко применяемыми во многих отраслях промышленности и нуждаются в подробном изучении пластических и механических свойств для их дальнейшей модификации. Цель исследования процесса ползучести свинца, титана и алюминия, прове-

денного в настоящей работе, состоит в наборе данных по процессу ползучести, необходимых для дальнейшего изучения поведения этих материалов при воздействии на них внешнего магнитного поля [5].

### **Методы и принципы исследования**

В качестве исследуемых материалов использовали поликристаллические технически чистые свинец С2, титан ВТ1-0 и алюминий А85. Образцы свинца изготовлены из свинцовой проволоки марки С2 диам. 2 мм по ТУ 48-21-792 – 85. В исследуемых образцах содержание свинца составляло 99,88 %, содержание примесей не превышало 0,12 %. Материал для исследования алюминия А85 и титана ВТ1-0 представлял собой образцы цилиндрической формы, диаметром 1,8 мм. В исследуемых образцах содержание алюминия составляло 99,85 %, содержание титана – 99,70 %. Содержание примесей в образцах алюминия и титана находилось в пределах 0,15 и 0,30 % соответственно. Для приведения структуры свинца, алюминия и титана в равновесное состояние образцы подвергали предварительной пробоподготовке методом рекристаллизационного отжига при температуре  $0,7T_{пл}$  в течение 2 ч, затем их охлаждали в течение 24 ч до комнатной температуры.

Изучение процесса ползучести проводили на испытательной установке для растяжения, разработанной и изготовленной в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» [6]. Установка состоит из жесткого металлического каркаса, измерительной аппаратуры, датчика движения. Датчик движения позволяет зафиксировать удлинение образца во время испытания. Значения времени и удлинения передаются на ПК в виде текстового документа, далее по полученным данным с использованием средств программы Microsoft Excel строятся кривые ползучести и выполняется анализ линейной стадии процесса, в частности, определяется скорость ползучести. Растягивающее напряжение в процессе испытаний на ползучесть было подобрано экспериментальным путем, исходя из индивидуальных свойств металлов.

Процесс ползучести в структуре свинца при прочих равных условиях наступает при меньших значениях приложенного растягивающего напряжения, чем в алюминии и титане, в связи с большей пластичностью этого металла. В процессе испытаний технически чистого поликристаллического свинца постоянное растягивающее напряжение  $\sigma_{рб}$  составляло 5,57 МПа (предел прочности на растяжение  $\sigma_{в}$  составляет 12 МПа). Титан имеет наиболее прочную струк-

туру, поэтому процесс ползучести наступает при самом большом растягивающем напряжении:  $\sigma_{Тi} = 217$  МПа ( $\sigma_{в} = 420$  МПа). Для технически чистого поликристаллического алюминия  $\sigma_{Al} = 65$  МПа ( $\sigma_{в} = 70$  МПа). Дифференцированные кривые скорости процесса получены в программе OriginPro 8. Испытания всех материалов проводили при комнатной температуре.

### **Основные результаты**

В ходе исследований стационарной ползучести получены характерные кривые процесса для титана ВТ0-1, алюминия А85 и свинца С2 (рис. 1).

Полученные кривые отражают процесс пластической деформации в трех стадиях: логарифмической, установившейся, ускоренной. Выявление установившейся стадии ползучести позволило вычислить скорость ползучести поликристаллических технически чистых цветных металлов. Расчет скорости ползучести осуществляли на линейном участке установившейся стадии путем отнесения значения деформации к времени на участке. Выявлены скорости ползучести для титана, алюминия и свинца, которые составляют порядка 2,4, 3,8 и 0,8 %/ч соответственно. Дифференцирование кривых ползучести показывает зависимость скорости ползучести от времени эксперимента. Кривые процесса ползучести цветных металлов представлены на рис. 2.

По представленным графикам дифференцированных кривых можно сделать вывод о том, что наибольшая длительность линейной (установившейся) стадии ползучести наблюдается при исследовании на ползучесть титана (1) и составляет 10 ч. Наименьшее время пребывания образца в стадии установившейся ползучести обнаружено при исследовании алюминия (2) и составляет 3 ч. Согласно кривым (рис. 2) свинец (3) пребывает в линейной стадии 3,3 ч. Данные особенности процесса связаны с разностью структурных характеристик материалов и различной способностью материалов к пластической деформации.

### **Выводы**

Исследованы процессы пластической деформации поликристаллических технически чистых цветных металлов: алюминия марки А85, титана марки ВТ1-0, свинца марки С2. Получены характерные кривые процесса ползучести, отражающие все стадии процесса: логарифмическую, установившуюся и ускоренную. Проведено дифференцирование кривых ползучести, что позволило получить зависимости скорости ползучести от времени эксперимента. Скорости пол-

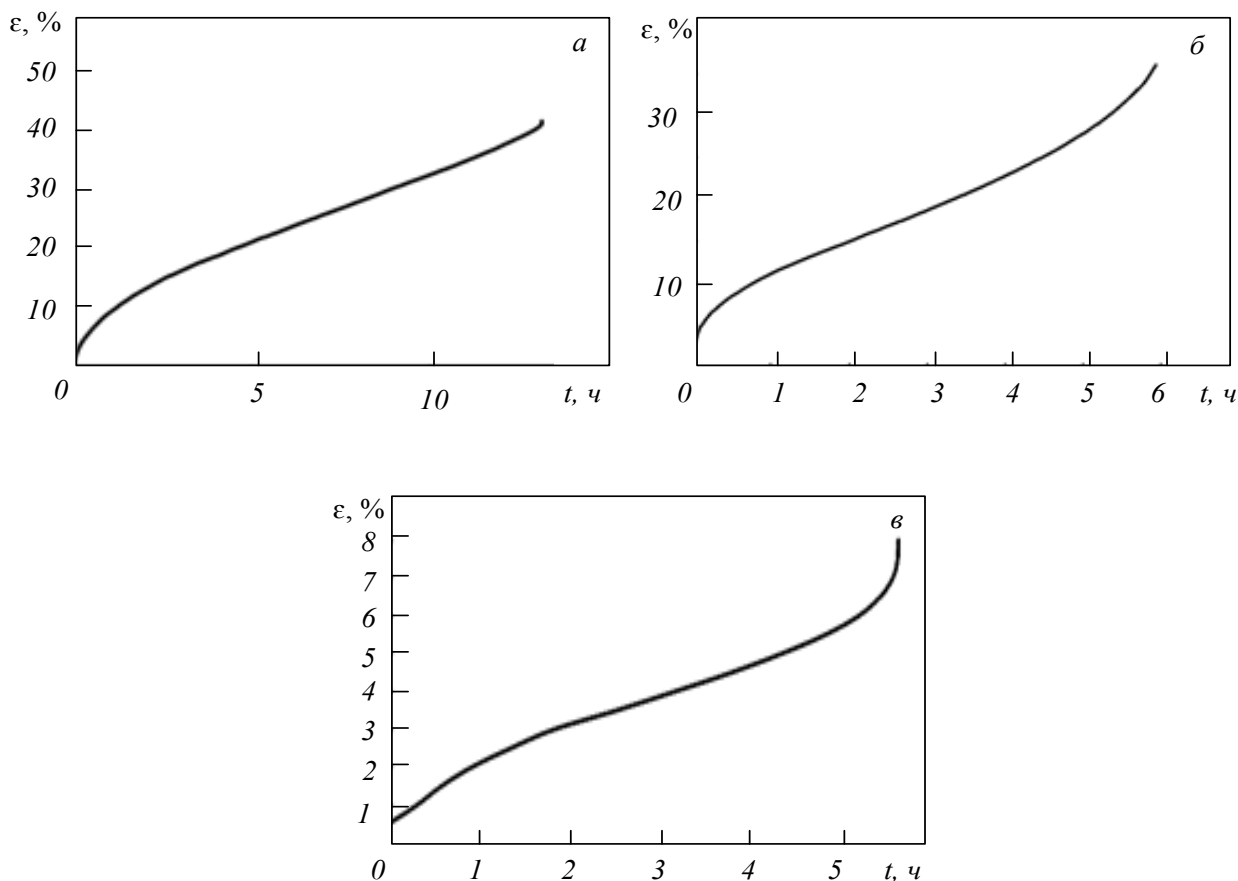


Рис. 1. Кривые ползучести поликристаллических технически чистых титана (а), алюминия (б), и свинца (в)  
 Fig. 1. Creep curves of polycrystalline technically pure titanium (a), aluminum (b), and lead (c)

зучести титана, алюминия и свинца составили порядка 2,4, 3,8 и 0,8 %/ч соответственно. Выполненные исследования позволили набрать данные о характере пластической деформации цветных металлов (титан, алюминий, свинец) в исходном состоянии, что составит фундамент для исследований металлов в дальнейшем при воздействии на них внешнего магнитного поля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галевский Г.В., Руднева В.В. Производство цветных металлов. М.: Флинта, 2017. 258 с.
2. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение). Справочник. КОМИНТЕХ, 2005.
3. Тарасов А.В. Металлургия титана. М.: Академкнига, 2003. 328 с.
4. Романтеев Ю.П., Быстров В.П. Металлургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. М.: изд. МИСИС, 2010. 374 с.
5. Ковешников С.С., Балахнина Е.Е. Явление ползучести и релаксации. В кн.: Сборник

научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции. Смоленск: Изд-во МНИЦ «Наукосфера», 2019. С. 54–57.

6. Коновалов С.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. и др. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести металлов и сплавов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. С. 64–66.

#### REFERENCES

1. Galevskii G.V., Rudneva V.V. *Production of non-ferrous metals*. Moscow: Flinta, 2017, 258 p. (In Russ.).
2. Beletskii V.M., Krivov G.A. *Aluminum alloys (composition, properties, technology, application). Guide*. KOMINTEKh, 2005. (In Russ.).
3. Tarasov A.V. *Titanium metallurgy*. Moscow: 2003, 328 p. (In Russ.).
4. Romanteev Yu.P., Bystrov V.P. *Metallurgy of heavy non-ferrous metals. Lead. Zinc. Cadmium*. Moscow: izd. MISIS, 2010, 374 p. (In Russ.).

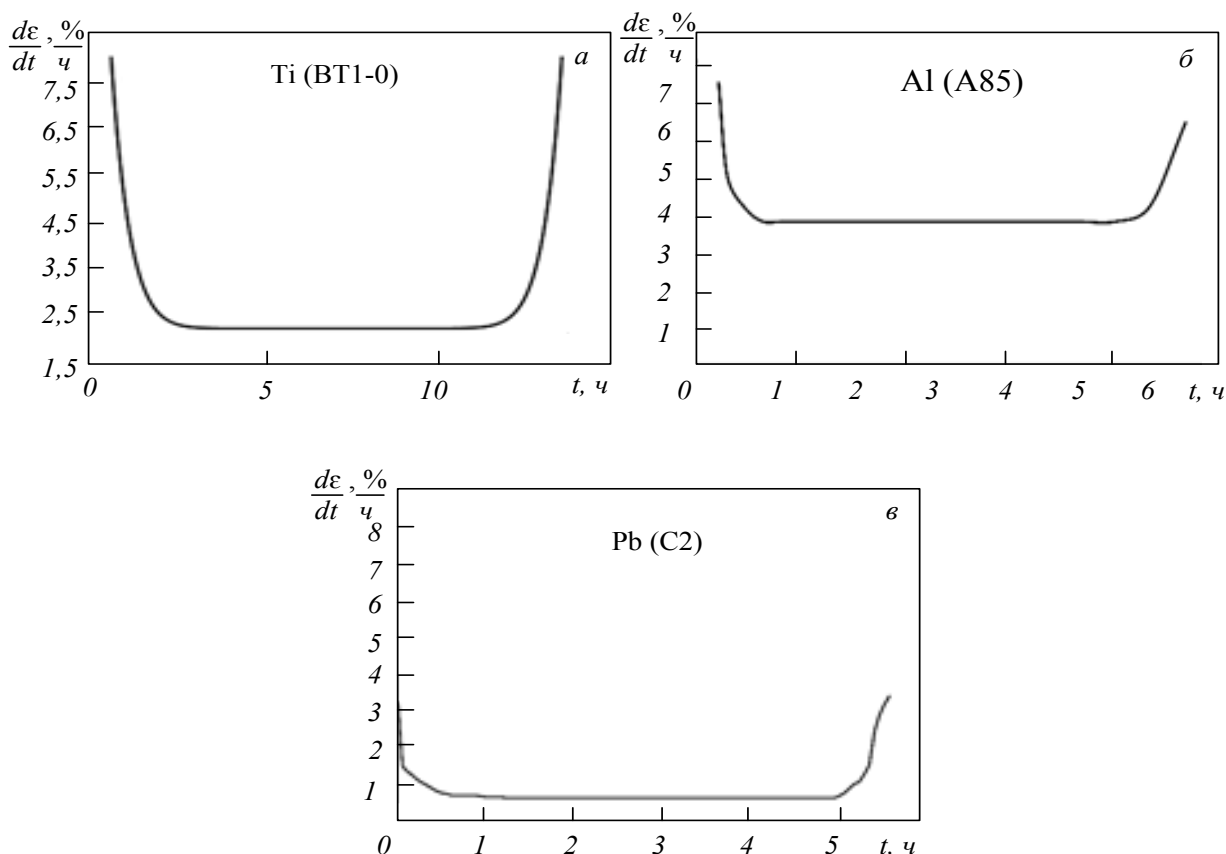


Рис. 2. Зависимости скорости ползучести от времени испытания для металлов:

1 – титан BT1-0; 2 – алюминий A85; 3 – свинец C2

Fig. 2. Dependences of the creep rate on the test time for metals:

1 – titanium BT1-0; 2 – aluminum A85; 3 – lead C2

5. Koveshnikov S.S., Balakhnina E.E. *The phenomenon of creep and relaxation*. In: *Collection of scientific papers based on the materials of the II International Scientific and Practical Conference*. Smolensk: Izd-vo MNITs «Naukosfera», 2019, pp. 54–57. (In Russ.).
6. Kononov S.V., Danilov V.I., Zuev L.B. etc. Automated installation for recording and analyzing the creep of metals and alloys. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2007, vol. 73, pp. 64– 66. (In Russ.).

#### Сведения об авторах

**Серебрякова Анна Александровна**, аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** aserebrakova87@gmail.com

**Загуляев Дмитрий Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** zagulyaev\_dv@physics.sibsiu.ru

**Шляров Виталий Владиславович**, аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет  
**E-mail:** ShlyarovVitaly@yandex.ru

#### Information about the authors

**Anna A. Serebryakova**, Postgraduate of the Chair of Science named after V.M. Finkel', Siberian State Industrial University  
**E-mail:** aserebrakova87@gmail.com

**Dmitry V. Zagulyaev**, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair of Science named after V.M. Finkel', Siberian State Industrial University  
**E-mail:** zagulyaev\_dv@physics.sibsiu.ru

**Vitaly V. Shlyarov**, Postgraduate of the Chair of Science named after V.M. Finkel', Siberian State Industrial University  
**E-mail:** ShlyarovVitaly@yandex.ru

© 2021 г. А.А. Серебрякова, Д.В. Загуляев, В.В. Шляров  
 Поступила в редакцию 30.06.2021 г.

УДК 622.831

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

**В. А. Волошин, А. В. Безносков**

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Обозначена необходимость создания «Цифрового двойника» на угольных шахтах для формирования стандартных параметров подготовительного забоя. Представлены предварительные результаты анализа работоспособности системы на основе когнитивного моделирования с целью повышения безопасности работ, сокращения внеплановых простоев. Предложена к использованию автоматизированная система расчета «дерева» отказов и событий с определением возможных рисков с использованием пакета компьютерных программ и оценки качества системы по коэффициенту вероятности аварии.

**Ключевые слова:** цифровая модель, информационные системы, оптимизация работы предприятия, технологическая схема

**Для цитирования:** Волошин В.А., Безносков А.В. Цифровизация производственных процессов на примере угольных шахт // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2021. № 3 (37). С. 31 – 36.

## PRODUCTION PROCESSES DIGITALIZATION BY THE EXAMPLE OF COAL MINES

**V. A. Voloshin, A. V. Beznosov**

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

**Abstract.** Relevance of a coal mine digital twin development for estimation of standard parameters of the development face is indicated. Preliminary results of system performance analysis based on cognitive modeling have been presented in order to improve work safety, reduce unscheduled downtime. An automated system for calculating the "tree" of failures and events with identification of possible risks using computer programs package and assessing system quality by the coefficient of accident probability has been proposed.

**Keywords:** digital model, information systems, optimization of the enterprise, technological scheme

**For citation:** Voloshin V.A., Beznosov A.V. Production processes digitalization by the example of coal mines // *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 3 (37), p. 31–36. (In Russ.).

Внедрение цифровых технологий не только увеличивает эффективность производства, но и повышает его безопасность; роботизация отдельных процессов позволяет сократить количество работников в опасных зонах.

По подсчетам экспертов создание полностью безлюдного рудника приводит к сокращению

штата всего на 35 %, но зато объем требуемых компетенций для оставшихся сотрудников увеличивается на 80 %. Автоматизация – это, прежде всего, не про сокращение рабочей силы, а про ее переквалификацию. Беспилотный транспорт превращает водителя грузовика в оператора, который управляет техникой удаленно при помо-

щи дистанционного пульта управления. Экспансия «цифры» снижает потребность в людях, отвечающих за рутинные операции, повышается потребность в специалистах, которые способны взаимодействовать с автономной техникой и настраивать алгоритмы ее работы [1].

Разработка цифрового двойника (копии), который создается и развивается одновременно с реальным объектом, – это одно из направлений цифровизации.

С помощью «Цифрового двойника» можно управлять ключевыми технологическими и производственными процессами, эксплуатационными режимами и рассматривать сценарии «что, если» без негативного вмешательства в реальное производство.

Использование программного обеспечения для управления производственным процессом может помочь оптимизировать работу отдельных участков путем проектирования и разработки смоделированных прототипов в виртуальном мире [2].

На одной из шахт города Новокузнецк начата работа по созданию математической модели прогноза работы проходческих забоев и всего предприятия в целом. Целью настоящей работы является определение возможности прогнозирования эффективности принятия технических решений без вмешательства в рабочий процесс подготовительных участков и шахты. Руководством предприятия были поставлены задачи: 1 – выполнить анализ эффективности базы ресурсов (существующего на шахте оборудования и оценки квалификации персонала); 2 – определить направления оптимизации расходов на материалы, оборудование, кадровые ресурсы; 3 – определить причины сбоев в работе оборудования и невыполнения нарядных заданий; 4 – повысить эффективность существующих технологических схем работы подготовительных забоев и транспортных сообщений; 5 – создать электронную базу данных фактической производительности труда в реальном времени, предусмотреть возможность сопоставления с планом.

Подготовительный забой как один из элементов производственного процесса в угольной шахте представляет собой сложно структурированную геотехническую систему, которую можно представить в виде вариационной математической модели с применением когнитивного подхода для обеспечения рационального сценария развития участка в ходе моделирования в постоянно изменяющихся горно-геологических условиях.

На первом этапе работы на основании утвержденного плана развития горных работ на пери-

од один год была составлена карта движения каждого забоя трех участков. Запланированные показатели темпов проведения выработки, сроков монтажных работ горно-шахтного оборудования (ГШО), усиления крепи выработок на сопряжении, выполнения мероприятий по приведению рабочего места в безопасное состояние приняты за «стандарт забоя». Программное обеспечение позволило на любом этапе работы в каждом из трех участков определить плановый расход материалов по сменам и с начала отчетного периода, трудоемкость основных и вспомогательных процессов запланированных работ, длительность выполняемых монтажных работ и мероприятий, обеспечивающих безопасность рабочего места (рис. 1).

Предложенная комплексная диагностика работоспособности горно-шахтного оборудования в режиме реального времени, ежесменный мониторинг рабочих процессов с внедрением карты нормирования труда, создание постоянно пополняемой базы данных эффективности мероприятий по обеспечению безопасности рабочего места способствовали лучшему планированию, а также обеспечили сокращение незапланированных простоев, снизили затраты на техническое обслуживание (табл. 1).

По полученным данным автоматически формируется сводная таблица ошибок, обнаруженных программой по результатам ежесменного мониторинга.

По разработанным «чек-листам», заполняемым горными мастерами и систематизированным диспетчером, создана постоянно пополняемая электронная база данных плановых и фактических показателей работы подготовительных участков с указанием количества суток, смен отказа системы и причин невыполнения нарядных заданий (тип ошибки) (табл. 2).

В течение трех месяцев разработанная программа автоматически подсчитывала количество смен и тип ошибки, в режиме «онлайн» составляла визуальный график со всеми зафиксированными отказами и ошибками.

По полученным значениям построено графическое изображение (рис. 2) для более наглядного понимания и дальнейшего анализа сложившейся ситуации.

Анализ результатов работы подготовительных забоев при сравнении запланированных и фактических показателей позволил определить основные направления решения поставленных задач. Основные отказы системы можно условно разделить на четыре группы:

– квалификационный потенциал персонала; нормирование труда по представленным процессам; хронометраж операций по всем участкам; определение стандарта (норм выработки с фактическими паспортами крепления анкерной крепью) [3];



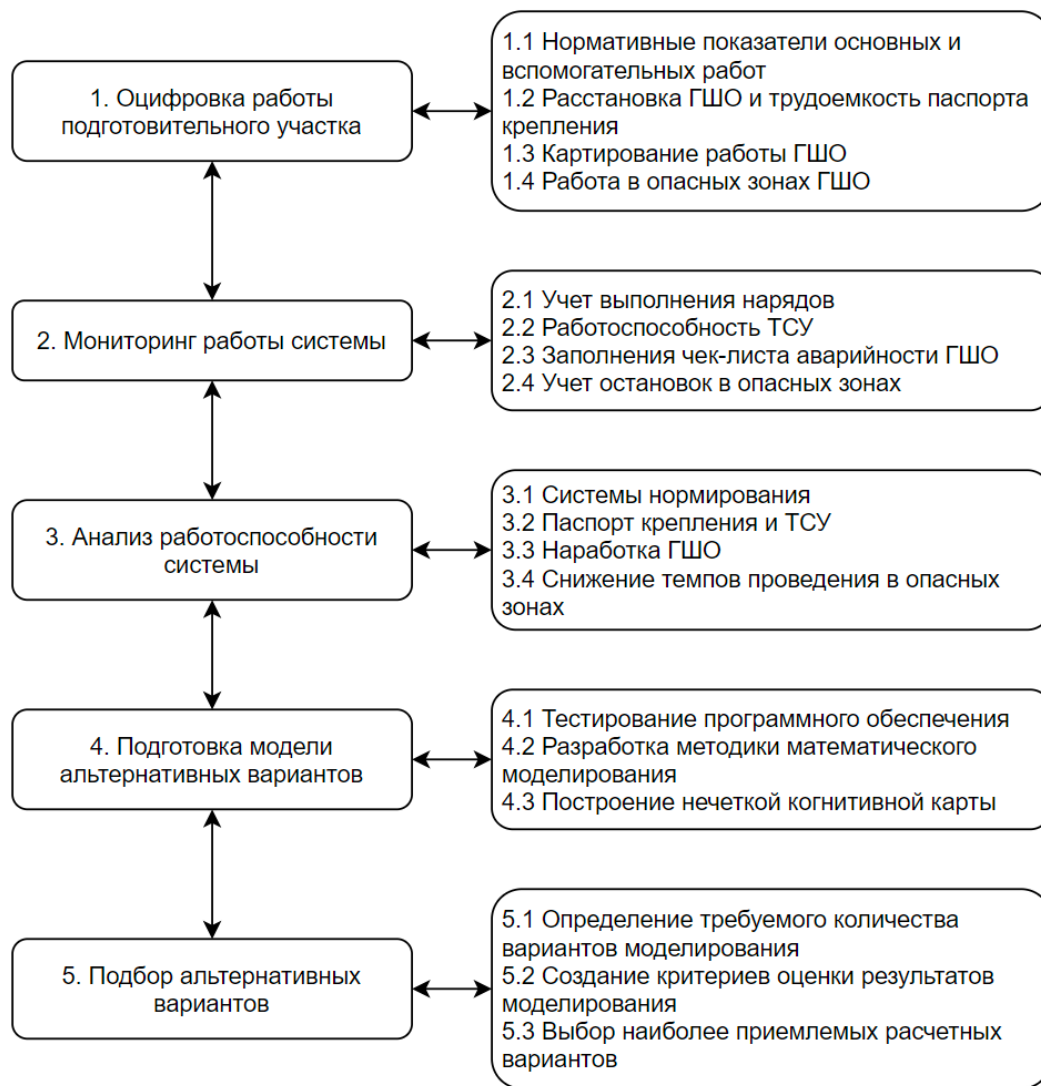


Рис. 1. Схема выбора оптимального сценария развития решения с использованием установленных критериев (ТСУ – технологическая схема участка)

Fig. 1. Scheme for choosing optimal scenario for the solution development using established criteria (STS - site technological scheme)

– наработка оборудования «на отказ»; проверка работоспособности ГШО; контроль фактического времени выполнения сервисного обслуживания и финансовых затрат на замену узлов оборудования;

– анализ эффективности эксплуатации существующего горно-шахтного оборудования на подготовительном участке, технологических схем расстановки оборудования, мероприятий по сокращению ручного труда; оптимизация паспортов крепления за счет перераспределения материальных и людских ресурсов;

– обеспечение безопасности рабочего места; сокращение рисков работы в опасных геологических зонах, своевременное принятие мер по динамическим явлениям, вентиляции и дегазации подготовительных забоев за счет оптимизации схем проветривания и дегазации, сокраще-

ния вынужденных простоев и затрат времени на дополнительные мероприятия.

По данным количества отказов системы автоматически формируется график ошибок системы (потерянных метров) с учетом принятых к анализу категорий (табл. 3, рис. 3).

В процессе оценки работоспособности системы «подготовительный забой» для «цифрового двойника» необходимо выполнять большой объем трудоемких операций расчета вероятных отказов системы с анализом коэффициента риска. Для устранения этой проблемы предлагается использование автоматизированной системы расчета «дерева» отказов и событий. Программное обеспечение позволяет проводить оценку возможных рисков с учетом критериев зависимости и вероятности наступления события. Система автоматически производит расчет вероят-

**Показатели ошибок по результатам ежемесячного мониторинга плановых и фактических значений проведения выработки за февраль 2021 г.**  
**Error indicators based on the results of monthly monitoring of the planned and actual values of production in February 2021**

Дата	Количество метров		Причина невыполнения	Код ошибки
	плановое	фактическое		
01.02	10	7	Кадры	1
03.02	9	8	ГГУ	2
05.02	9	6	ГШО	17
06.02	10	11	ПВП	100
08.02	9	8	Кадры	1
09.02	10	9	ГШО	17
11.02	10	7	ГШО	17
12.02	10	8	Кадры	1
14.02	10	9	ГШО	17
15.02	10	8	ГГУ	2
16.02	10	8	Кадры	1
18.02	10	9	ГШО	17
20.02	10	7	Кадры	1

Примечание. ГГУ – горно-геологические условия; ПВП – перевыполнение плана.

ности возникновения отказов по каждому объекту, а также дает оценку качества системы с коэффициентом вероятности аварии. Автоматизированная система имеет огромный потенциал при анализе работоспособности широкого круга опасных производственных объектов.

Любой сценарий, описывающий отказ в работе объекта, начинается с инициирующего события, которое может возникнуть с некоторой частотой [4].

При определении частот инициирующих событий рассматриваемого объекта использовали следующие источники и методики:

- статистическая оценка причин сбоя в работе объекта на аналогичных объектах;
- экспертные оценки.

Расчет вероятности возникновения инициирующих отказов событий по шахте в целом про-

водился по следующей формуле:

$$P_{с.ш} = 1 - (1 - P_{c1}) \cdot (1 - P_{c2}) \cdot \dots \cdot (1 - P_{cN}),$$

где  $P_{cN}$  – вероятность возникновения инициирующих отказов события для объекта  $N$ .

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что наиболее вероятными отказами на шахте являются отказы, связанные с внеплановыми остановками горно-шахтного оборудования (общая вероятность возникновения остановок опасных по аварийности ГШО по забою  $P_{cN} = 0,21$ , по шахте  $P_{cN} = 0,13$ ). Менее вероятными являются аварии, связанные с возникновением источников возгорания ( $P_{cN} = 0,0173$ ), а также аварии, связанные с недопустимым скоплением

**Количественный анализ отказов системы подготовительного забоя**  
**Quantification of failures in development face system**

Код ошибки	Наименование элементов ошибки	Количество ошибок по сменам
1	Квалификация персонала	18
100	Перевыполнение плановых заданий (ПВП)	12
2	Сложные горно-геологические условия	8
17	Аварийность ГШО	21
28	Безопасность рабочего места	9

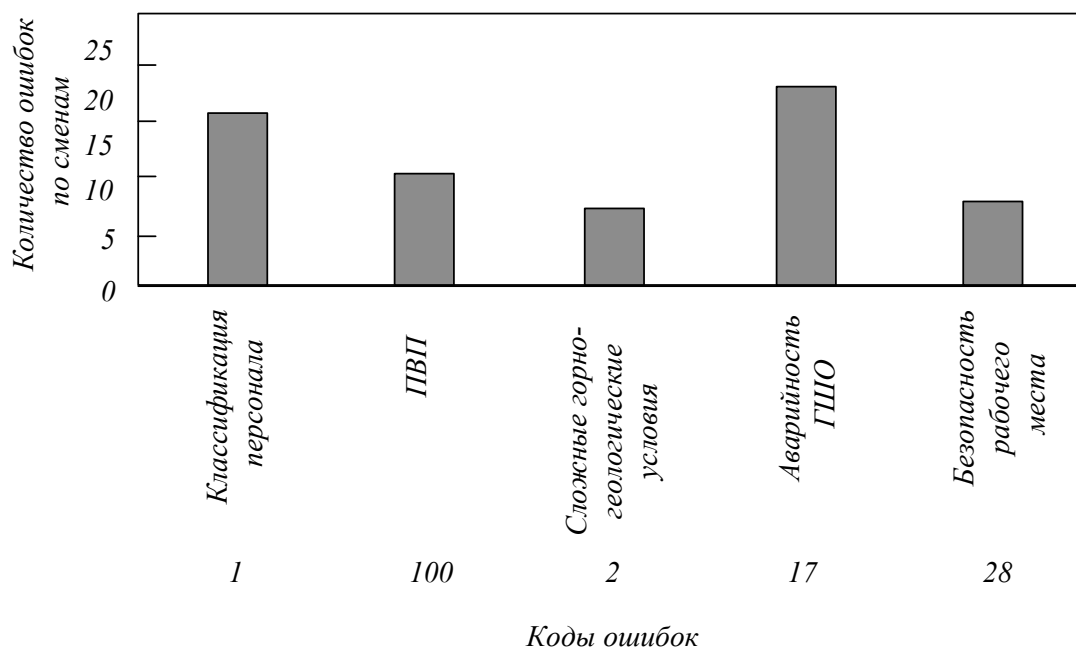


Рис. 2. Распределение частоты отказа системы по принятым показателям  
 Fig. 2. Distribution of the system failure frequency by accepted indicators

газа при выполнении запланированных мероприятий ( $P_{cN} = 0,0972$ ).

**Выводы.** В результате выполнения комплекса работ по цифровизации отдельных производственных процессов и шахты в целом стало возможным определить риски отказов с расчетом вероятного ущерба последствий по следующим факторам: проветривание отдельного участка и работа системы вентиляции на шахте в целом участкового и общешахтного транспорта горной массы; отказ работы вспомогательного транспорта, потери подготовительных и монтажных участков; аварийность и вероятные отказы в работе энерго-механической службы участка и шахты; вероятные простои, связанные с работой в зонах повышенных геодинамических явлений, определение соотношения планового и фактического объема мероприятий по предотвращению негативных последствий; срыв (отказы) в работе по причине низкой квалификации персонала на всех местах работы (нормирование труда).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клебанов А.Ф. Автоматизация и роботизация открытых горных работ: опыт цифровой трансформации // Горная промышленность. 2020. № 1. С. 8–11.
2. Кулак В.Ю., Петрова Т.В. Обоснование направлений поэтапного развития технологии подземной угледобычи на действующих шахтах на основе когнитивного моделирования // Вести Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23. № 3. С. 12–21.
3. ФЗ РФ Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» от 19 ноября 2020 г. № 448.
4. Лисанов М.В., Ханин Е.В., Сумской С.И. О регулировании промышленной безопасности по количественным критериям допустимого риска // Безопасность труда в промышленности. 2012. № 12. С. 54–62.

Т а б л и ц а 3

### Суммарные изменения плановых показателей по участку за контрольный период Total loss of planned indicators at production site for the control period

Причина отказа системы	Количество потерянных метров за контрольный период
Квалификация персонала	33
Перевыполнение наряда	58
Сложные горно-геологические условия	17
Аварийность ГШО	49
Безопасность рабочего места	21

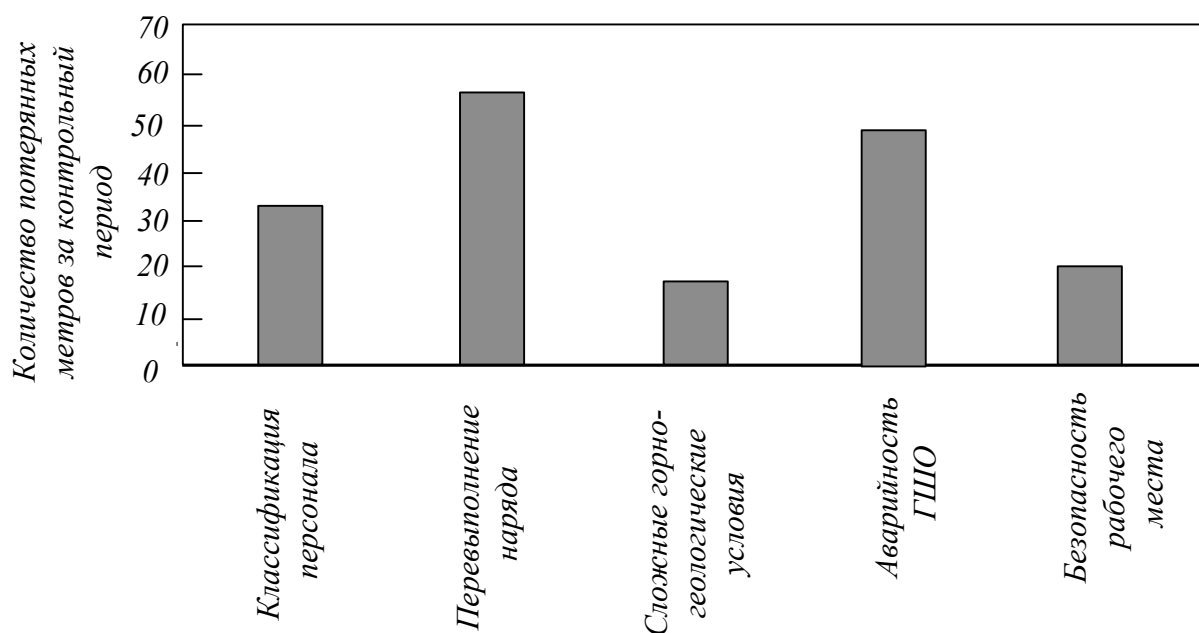


Рис. 3. Распределение потерянных метров по причине невыполнения наряда  
 Fig. 3. Distribution of lost meters due to non-fulfillment of the order

## REFERENCES

1. Klebanov A.F. Automation and robotization of open pit mining: digital transformation experience. *Gornaya promyshlennost'*. 2020, no. 1, pp. 8–11. (In Russ.).
2. Kulak V.Yu., Petrova T.V. Substantiation of directions for step-by-step development of underground coal mining technology at operating mines based on cognitive modeling. *Vesti Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017, vol. 23, no. 3, pp. 12–21. (In Russ.).
3. Federal Law of the Russian Federation “On approval of the Federal norms and rules in the field of industrial safety “Instructions for the calculation and use of roof bolting in coal mines”” dated November 19, 2020 No. 448.
4. Lisanov M.V. Khanin E.V., Sumskoi S.I. On industrial safety regulation by quantitative criteria of acceptable risk. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2012, no. 12, pp. 54–62. (In Russ.).

## Сведения об авторах:

**Владимир Анатольевич Волошин**, к.т.н., доцент кафедры технологии, Сибирский государственный индустриальный университет

**Анатолий Владиславович Безносков**, студент, Сибирский государственный индустриальный университет

## Information about the authors:

**Vladimir A. Voloshin**, Cand. Sci. Eng. Associate Professor of the Department of geotechnology, Siberian State Industrial University

**Anatolii V. Beznosov**, student, Siberian State Industrial University

© 2021 г. В.А. Волошин, А.В. Безносков  
 Поступила в редакцию 09.09.2021 г.

УДК 622.817

## ОЦЕНКА ГАЗОНОСНОСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА В ГРАНИЦАХ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА ШАХТЫ

Д. М. Борzych, А. М. Никитина, С. В. Риб, Е. М. Кузив

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Для обоснования параметров проветривания выработок выемочного участка одной из шахт (Распадское каменноугольное месторождение) определена остаточная газоносность угольного пласта 6-ба комплексным методом. Рассматриваемый метод включает отбор угольных проб из скважин в шахтных условиях, оценку в лабораторных условиях скорости десорбции метана и коллекторских свойств 18 угольных кернов, численное моделирование распределения газопроницаемости, пористости и давления метана в угольном пласте.

**Ключевые слова:** остаточная газоносность угольного массива, дегазация, отбор угольных проб, угольный керноотборник, газоносность угольных пластов, десорбция метана, коллекторские свойства угольных кернов

**Для цитирования:** Борzych Д.М., Никитина А.М., Риб С.В., Кузив Е.М. Оценка газоносности угольного пласта в границах выемочного участка шахты // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 37 – 44.

## ESTIMATION OF GAS CONSUMPTION OF A COAL SEAM IN THE BOUNDARIES OF THE MINE EXTRACTION FACE

D. M. Borzykh, A. M. Nikitina, S. V. Rib, E. M. Kuziv

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

**Abstract.** To substantiate parameters of ventilation of extraction face of one of the mines (the Raspadskoe coal deposit), residual gas content of 6-6a coal seam has been determined using an integrated method. The method under consideration includes taking coal samples from wells in mine conditions, evaluating in laboratory conditions the rate of methane desorption and reservoir properties of 18 coal cores, numerical modeling of distribution of gas permeability, porosity and pressure of methane in a coal seam.

**Keywords:** residual gas content of the coal massif, gas draining, coal sampling, coal core barrel, gas content of coal seams, methane desorption, collector properties of coal cores.

**For citation:** Borzykh D.M., Nikitina A.M., Rib S.V., Kuziv E.M. Estimation of gas consumption of a coal seam in the boundaries of the mine extraction face // Bulletin of SibSIU. 2021, no. 3 (37), p. 37–44. (In Russ.).

При внедрении инновационных технологических решений для подземной разработки угольных месторождений на шахтах Кузбасса с потенциальной нагрузкой на очистной комплексно-механизированный забой (КМЗ) более 15 тыс. т/сутки возможность использования современной высокопроизводительной горной техники и прогрессивных форм организации труда сдерживает-

ся газовым фактором (выделение метана в выработках выемочных участков до 90 м<sup>3</sup>/мин).

Согласно результатам теоретических исследований ученых ведущих научно-исследовательских организаций и вузов установлено, что на процесс миграции метана из угольного пласта или горной массы влияют следующие основные факторы [1]:

- природная метаноносность пласта в виде свободного, сорбированного и химически связанного с углем метана;

- пористость, проницаемость и фильтрационные характеристики угольного пласта и вмещающих пород;

- напряженно-деформированное состояние массива горных пород;

- глубина разработки, мощность отрабатываемого пласта и пластов-спутников в свите;

- форма и размеры подготовительной выработки;

- параметры геологических нарушений;

- результаты газоздушных съемок в тупиках пластовых подготовительных выработок.

Анализ горно-геологических условий залегания угольных пластов Кузбасса показал, что значительная часть пластов высокогазоносна. Рассматриваемый фактор снижает эффективность применения дорогостоящего проходческого и очистного оборудования, а также ухудшается безопасность работ. Одним из способов снижения негативного влияния метана является дегазация угольных пластов [2 – 9].

С целью обоснования параметров проветривания выработок выемочного участка одной из шахт на Распадском каменноугольном месторождении, повышения эффективности дегазации угольного пласта 6-6а проведена оценка остаточной газоносности угольного массива в границах выемочного участка.

### **Характеристика пласта 6-6а**

Угольный пласт сложного строения, содержит 2 – 6 породных прослоев, сложенных мелкозернистыми алевролитами (реже углистыми алевролитами), суммарной средней мощностью 0,25 м. Мощность пласта в среднем составляет 4,52 м. Средняя мощность чистых угольных пачек – 4,27 м. Коэффициент  $f$  крепости угля составляет 0,8 – 1,0; предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$  – 13,5 МПа; коэффициент  $f$  крепости породных прослоев – 3 ÷ 4. По своим качественным показателям уголь пласта 6-6а относится к марке ГЖ и характеризуется следующими показателями: зольность общепластовая 14,5 %; зольность чистых угольных пачек 8,2 %; толщина пластического слоя 24 – 26 мм; выход летучих веществ 36,9 %; влажность 3,3 %; объемный вес угольного пласта и чистых угольных пачек 1,37 и 1,31 т/м<sup>3</sup>.

Непосредственная кровля пласта представлена темно-серыми мелкозернистыми и крупнозернистыми алевролитами массивными до слабослоистых, переслаиванием алевролитов. Слоистость пологоволнистая и косая

прерывистая, за счет изменения гранулометрического состава и цвета. По всему слою отпечатки растений разной сохранности, присутствуют прослойки песчаников, прожилки кальцита, борозды, зеркала скольжения. Содержат плоскости наложения, обогащенные углефицированными растительными остатками. Мощность алевролитов составляет 25 – 40 м, коэффициент  $f$  крепости 3 – 5; предел прочности при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) 30 – 50 МПа.

Непосредственная кровля средней устойчивости, относится ко II классу по устойчивости, I типу по обрушаемости (вне зоны влияния тектонических нарушений).

При ведении горных работ на большей части выемочного участка ожидается «ложная кровля» мощностью 0,1 – 0,5 м, реже до 1,0 м, представленная алевролитами углистыми или тонкослоистыми мелкозернистыми алевролитами с многочисленными включениями растительного детрита и слоев угля. Ложная кровля весьма неустойчивая, обрушается в призабойное пространство сразу вслед за выемкой угля.

Основная кровля сложена серыми, темно-серыми песчаниками (от мелкозернистым до крупнозернистым) мощностью от 7 до 18 м и алевролитами мелкозернистыми, крупнозернистыми. В песчаниках проявлена редкая косая, косоволнистая прерывистая слоистость за счет растительного детрита. Присутствуют единичные гальки, прослойки алевролитов. Коэффициент  $f$  крепости составляет 6 – 7, предел прочности при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) 60 – 70 МПа.

В почве пласта залегают темно-серые крупнозернистые алевролиты, участками мелкозернистые с редкими прослойками песчаников. Присутствуют зеркала, штрихи скольжения в начале слоя. Мощность пород почвы 4 – 8 м. Коэффициент  $f$  крепости алевролитов составляет 4 – 5, предел прочности при сжатии 40 – 50 МПа. Алевролиты обладают средней несущей способностью, при значительном увлажнении теряют свои несущие способности. Породы почвы склонны к пучению.

### **Отбор угольных проб**

Отбор угольных проб для оценки остаточной газоносности угля был проведен в соответствии с требованиями руководства по безопасности [10]. С помощью шахтного керноотборника (рис. 1) отобрано 18 угольных проб из шести скважин, пробуренных из подготовительных горных выработок выемочного участка.

Объем проведенных лабораторных исследований составил более 60 измерений выделившегося объема газа из отобранных угольных проб.



Рис. 1. Угольный керноотборник для отбора угольных проб в условиях горных выработок  
Fig. 1. Coal core barrel for coal sampling in mine workings

Отбор угольных проб выполнен на участке угольного пласта 6-ба в пределах конвейерного штрека 4-6-39 (пикеты 40, 38, 68, 80, 100, 120). Пробы отбирали из горизонтальных скважин диаметром 100 мм, пробуренных на 25 м в глубину массива, глубина расположения пласта от дневной поверхности 350 м. В каждой скважине отобрано по три угольных керна.

Для оценки остаточной газоносности угля использованы методы оценки скорости десорбции метана (объемный метод) и коллекторских свойств с учетом динамики процессов фильтрации и диффузии метана. Угольные керны из скважин отобраны по пласту от боков горной выработки за пределами зоны опорного давления. Угольные пробы отобраны из дегазационных скважин, пробуренных по простиранию угольного пласта по восстанию и падению. В процессе отбора образцов угля из горных выработок регистрировали время извлечения образцов из скважин, атмосферное давление и температуру окружающей среды.

Угольную пробу из керноприемной части перекладывали в сосуд и герметично закрывали крышкой (рис. 2).

Сосуды с пробами доставляли в лабораторию (АО «ЗСИЦентр», г. Новокузнецк), где их размещали в термостаты, нагретые до температуры угольного пласта далее нагревали до 80 °С. В лабораторных условиях проводили дегазацию угольных проб и определяли технические харак-

теристики угля. По результатам проведенных измерений стандартное отклонение газоносности  $\chi$  пласта изменяется в пределах 1 – 10 % между пробуренными скважинами длиной до 200 м с доверительной вероятностью 90 % по критерию Стьюдента.



Рис. 2. Герметичный сосуд для отбора проб угля  
Fig. 2. Sealed vessel for coal sampling

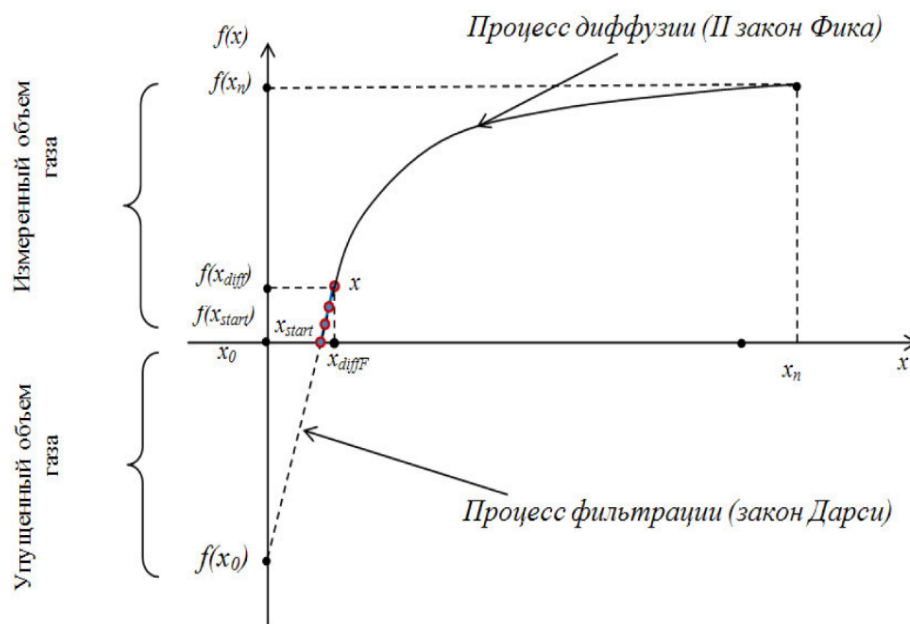


Рис. 3. Зависимость десорбции  $f(x)$  метана из угольного образца от времени  $x$   
 Fig. 3. Dependence of desorption  $f(x)$  of methane from a coal sample on time  $x$

В лабораторных исследованиях упущенный объем газа, характеризующий процесс отбора угольных проб, во время которого выделяется не отбираемый в герметичный сосуд газ, определен методом обратной экстраполяции в момент времени  $x = 0$  (здесь и далее  $x = \sqrt{t}$ ,  $t$  – время десорбции метана из угля, мин). Объем выделившегося метана на интервале от  $x_{diff}$  до  $x$  снижается линейно (рис. 3), что характеризуется как процесс фильтрации.

При обработке экспериментальных данных по формуле  $y = kx + b$  можно определить положение соответствующей прямой. Газоносность угольных пластов определяли прямыми измерениями десорбции метана в лабораторных условиях на участке десорбционной кривой, соответствующей диффузии метана, с восстановлением упущенного объема газа на линейном участке, описываемом законом Дарси (рис. 3).

В общем случае десорбция метана из угольных проб описывается следующей моделью [11]:

$$f(x) = \begin{cases} a_1 + b_1x, & x \in [x_0; x_{diff}] \\ a_2 + b_2x, & x \in [x_{diff}; x_n] \end{cases} \quad (1)$$

где  $a_1; b_1; a_2; b_2$  – параметры модели;  $x_0 = 0$ ;  $n$  – количество измерений;  $x_{diff}$  – начало диффузии;  $[x_0; x_{star}]$  – интервал экстраполяции;  $[x_{diff}; x_n]$  – процесс диффузии (закон Фика).

Процесс десорбции метана заключается в его фильтрации (линейный участок), переходящий в диффузию (нелинейный участок) из угольного

образца через систему пор и трещин вследствие увеличения пути внутренней диффузии, проявляется в том, что на длительном интервале объем выделившегося газа убывает обратно пропорционально квадратному корню из времени. По результатам определения остаточной газоносности в последующем может быть выполнена оценка эффективности дегазации угольных пластов на основе применения коэффициента эффективности дегазации.

Для измерения выделяемого объема газа применяли измерительный комплекс. Лабораторные исследования по определению газоносности угля проводили методом десорбции газа в сосуд объемом 1500 – 3000 мл. Измерение десорбируемого объема газа из угольных проб проводили при условии повышения давления в герметичном сосуде до 110 кПа.

Доставленные в лабораторию угольные образцы были размещены в термостаты, поддерживающие температуру угольного пласта. Обработка материалов заключается в определении общего объема газа, содержащегося в угольном образце [11]:

$$V_{\Sigma} = |V_{упущ}| + V_{взд} + V_{ост} \quad (2)$$

где  $V_{\Sigma}$  – суммарный объем газа, содержащийся в угольном образце;  $V_{упущ}$  – объем упущенного газа, который выделился из угольного образца с момента проникновения рабочего инструмента в область угольного пласта до момента размещения угольного образца в герметичном сосуде;  $V_{взд}$  и  $V_{ост}$  – выделившийся и остаточный газы.





Рис. 4. Угольный керн, отобранный с помощью шахтного керноотборника  
Fig. 4. Coal core sample taken using mine coring machine

Упущенный объем газа определяется методом обратной экстраполяции с учетом выделившегося объема метана в течение времени  $\sqrt{t}$  (рис. 3). В лабораторных условиях для исследования десорбции газа и угля использовали полученные угольные керны диам. 40 – 45 мм (рис. 4).

В общем случае значение изменения давления в сосуде зависело от температуры угольного пласта, размера гранул угля, его проницаемости. Измерения выделившегося объема газа при температуре угольного пласта продолжали в течение 24 ч, в последующем температуру увеличивали до 80 °С в течение 80 ч в зависимости от интенсивности газовыделения с момента размещения герметичных сосудов с пробами в термостаты.

К герметичному сосуду с образцом угля подсоединяли газоотводящую трубку. Измерительный цилиндр соединяли с уравнительной емкостью, заполненной водой, при помощи которой давление газа в цилиндре приводили к атмосферному давлению. Затем шаровый кран на герметичном сосуде переводили в открытое положение. Поступающий по газоотводящей трубке газ вытеснял воду, находящуюся в измерительном цилиндре. После того, как уровень воды в измерительном цилиндре прекращал уменьшаться, кран на герметичном сосуде закрывали. По разнице между уровнями в измерительном цилиндре до и после открытия крана определяли объем выделившегося газа.

Первое и второе измерения в лаборатории проводили с интервалом  $\Delta t_1 = 480$  мин, последующие – с интервалом, рассчитываемом по формуле [11]:

$$\Delta t_{i+1} = \begin{cases} 2\Delta t & \text{при } V_i \leq V/30; \\ 1,5\Delta t & \text{при } V_i \leq V/15; \\ \Delta t & \text{при } V_i \leq V/15; \end{cases} \quad (3)$$

где  $V$  – объем герметичного сосуда, см<sup>3</sup>;  $V_i$  – объем выделившегося газа, см<sup>3</sup>.

Газоносность  $\Gamma$  угольного образца, вычисляли по следующей формуле:

$$\Gamma = \frac{V_{\Sigma}}{M}, \quad (4)$$

где  $\Gamma$  – газоносность, см<sup>3</sup>, газа и 1 г горючей массы;  $M$  – масса угля, высушенного при комнатной температуре, г.

Газоносность в пересчете на сухую беззольную массу определяли по уравнению

$$\Gamma_{\text{с.б.м}} = \frac{V_{\Sigma}}{p'(100\% - A^a - W^a)}, \quad (5)$$

где  $A^a$  и  $W^a$  – зольность и влажность угля, %.

В таблице приведены значения газоносности угля, отобранного из горных выработок выемочного участка.

Остаточная газоносность на исследуемом участке составила от 14,45 до 16,34 м<sup>3</sup>/т с учетом сохранения температурных условий в интервале температур 15 – 20 °С, соответствующем параметрам углепородного массива.

#### **Метод численного моделирования**

Для обработки результатов измерений использован метод численного моделирования [12, 13]. На основании результатов расчета остаточной метаноносности пласта и сравнение с измеренной в лабораторных условиях установлено, что вычисленная метаноносность на 19 % больше измеренной по угольным пробам в лаборатории. Полученные отклонения можно объяснить следующими факторами:

- потерей доли метана из угольной пробы в процессе ее обработки;
- пространственным распределением мест взятия проб в пределах пласта 6-6а.

**Значение оценки остаточной газоносности угля в пределах выемочного столба 4-6-39 на ПАО «Распадская»**

**Results of assessing residual gas content of coal within the 4-6-39 extraction pillar at "Raspadskaya" PJSC**

Место отбора проб	Проба	Остаточная газоносность угля, м <sup>3</sup> /т с.б.м.
Конвейерный штрек (пикет –40), 20.08.2020, точка 1	КГН № 1	15,19
		15,20
		13,00
Вентиляционный штрек (пикет 80), 26.08.2020, точка 2	КГН № 2	14,74
		13,90
		13,18
Вентиляционный штрек (пикет 68), 02.09.2020, точка 3	КГН № 3	15,24
		15,10
		14,62
Вентиляционный штрек (пикет 38), 08.09.2020, точка 4	КГН № 4	13,61
		15,87
		16,37
Вентиляционный штрек (пикет 100), 14.09.2020, точка 5	КГН № 5	14,70
		15,25
		13,49
Вентиляционный штрек (пикет 120), 22.09.2020, точка 6	КГН № 6	13,82
		14,16
		14,45

**Выводы**

Исследования остаточной газоносности угольного пласта показали, что угольный пласт в пределах выемочного участка содержит в себе до 18 м<sup>3</sup>/т газа метана. При таких показателях содержания газа (метана) в массиве работы по ведению очистных и подготовительных работ необходимо вести с применением дегазации пласта.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С. и др. Подготовка и разработка высокогазонасыщенных угольных пластов. М.: Горная книга, 2010. 500 с.
2. Инструкция по дегазации угольных шахт. Серия 05. Вып. 22. М.: ЗАО Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности, 2012. 250 с.
3. Колмаков В.А. Метановыделение и борьба с ним в шахтах. М.: Недра, 1981. 134 с.
4. Ремезов А.В. и др. Дегазация газа метана из угольных пластов и вмещающих пород на шахтах Кузбасса. История. Действительность. Будущее. Кемерово: КузГТУ, 2012. 848 с.
5. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Минуглепром СССР. Макеевка-Донбасс. 1989. 321 с.
6. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю. Анализ существующих алгоритмов оценки дебитов метана из разрабатываемых пологих пластов с целью определения структуры газового баланса выемочных участков // Научно-технические технологии разра-

- ботки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 445–448.
7. Борзых Д.М., Никитина А.М., Риб С.В., Волошин В.А. Разработка технических и технологических решений по совершенствованию дегазации с использованием направленного бурения для условий ООО «Шахта «Усковская». В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып. 22. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2018. С. 27–31.
  8. Коряга М.Г. Применение многофункциональных скважин направленного бурения для заблаговременной дегазации и борьбы с самовозгоранием угля при разработке мощных угольных пластов. В кн.: Научно-технологические и использование минеральных ресурсов. Материалы Международной научно-практической конференции. Сборник научных статей. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2012. С. 296–298.
  9. Лукин К.Д., Коряга М.Г. К вопросу об использовании технологии бурения наклонно-горизонтальных скважин в технологической системе угольной шахты современного технического уровня // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №9. С. 64–67.
  10. Приказ от 09 августа 2016 г. № 333 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Об утверждении Руководства по безопасности «Рекомендации по определению газоносности угольных пластов».
  11. Дубов Г.П. Совершенствование методики расчета газообильности подготовительных выработок по данным газоносности угольных пластов // Борьба с газом, внезапными выбросами и пожарами в угольных шахтах. ВостНИИ. 1972. Т. XVII. С. 5–14.
  12. Говорухин Ю.М., Фрянов В.Н., Палеев Д.Ю. Численное моделирование взаимодействующих геомеханических и аэродинамических процессов на выемочном участке // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 2. С. 288–299.
  13. Говорухин Ю.М., Риб С.В., Никитина А.М., Фрянов В.Н. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли // Горный журнал. 2019. № 4. С. 23.
  14. *gas-bearing coal seams*. Moscow: Gornaya kniga, 2010, 500 p. (In Russ.).
  2. *Instructions for coal mines gas draining. Series 05. Issue. 22*. Moscow: ZAO Nauchno-tehnicheskii tsentr issledovani problem promyshlennoi bezopasnosti, 2012, 250 p. (In Russ.).
  3. Kolmakov V.A. *Methane emission and control in mines*. Moscow: Nedra, 1981, 134 p. (In Russ.).
  4. Remezov A.V. et al. *Gas draining of methane from coal seams and enclosing rocks in the Kuzbass mines. History. Reality. Future*. Kemerovo: KuzGTU, 2012, 848 p. (In Russ.).
  5. *Guidelines for design of coal mines ventilation of Minugleprom of the USSR. Makeevka-Donbass*. 1989. 321 p. (In Russ.).
  6. Govorukhin Yu.M., Krivolapov V.G., Paleev D.Yu. Analysis of existing algorithms for assessing methane flow rates from developed shallow formations in order to determine structure of gas balance in production areas. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2019, no. 5, pp. 445–448. (In Russ.).
  7. Borzykh D.M., Nikitina A.M., Rib S.V., Voloshin V.A. development of technical and technological solutions to improve gas draining using directional drilling at the Uskovskaya Mine LLC. In: *Science and Youth: Problems, Searches, Solutions. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Issue 22*. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2018, pp. 27–31. (In Russ.).
  8. Koryaga M.G. *The use of multifunctional directional drilling wells for early degassing and control of spontaneous combustion of coal in the development of powerful coal seams*. In: *Science-intensive technologies and the use of mineral resources. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Collection of scientific articles*. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2012, pp. 296–298.
  9. Lukin K.D., Koryaga M.G. On the issue of using the technology of drilling inclined-horizontal wells in the technological system of a coal mine of modern technical level. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2008, no. 9, pp. 64–67.
  10. *Order No. 333 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated August 09, 2016. On the approval of the Safety Manual "Recommendations for determining the gas content of coal deposits"*. (In Russ.).

## REFERENCES

1. Ruban A.D., Artem'ev V.B., Ziburdyayev V.S. et al. *Preparation and development of high-*

11. Dubov G.P. Improvement of the methodology for calculating the gas content of preparatory workings according to the gas content of coal seams. *Bor'ba s gazom, vnezapnymi vybrosami i pozhamami v ugol'nykh shakhtakh. VostNI*. 1972, vol. XVII, pp. 5–14. (In Russ.).
12. Govorukhin Yu.M., Fryanov V.N., Paleev D.Yu. Numerical simulation of interacting geomechanical and aerodynamic processes at the excavation site. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2019, no. 2, pp. 288–299. (In Russ.).
13. Govorukhin Yu.M., Rib S.V., Nikitina A.M., Fryanov V.N. Modeling of roof rock collapse processes by numerical methods. *Gornyi zhurnal*. 2019, no. 4, pp. 23. (In Russ.).

#### Сведения об авторах:

**Дмитрий Михайлович Борзых**, преподаватель кафедры геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет

**Анастасия Михайловна Никитина**, доцент кафедры геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет

**Сергей Валерьевич Риб**, к.т.н., доцент кафедры геотехнологии, Сибирский государственный индустриальный университет

**Елена Михайловна Кузив**, к.т.н., доцент кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет

#### Information about the authors

**Dmitrii M. Borzykh**, lecturer of the Department of Geotechnology Siberian State Industrial University

**Anastasiya M. Nikitina**, Associate Professor of the Department of Geotechnology, Siberian State Industrial University

**Sergei V. Rib**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geotechnology, Siberian State Industrial University

**Elena M. Kuziv**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences named after Professor V.M. Finkel, Siberian State Industrial University

© 2021 г. Д.М. Борзых, А.М. Никитина,  
С.В. Риб, Е.М. Кузив  
Поступила в редакцию 09.09.2021 г.

## ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ ФУТБОЛА В СОЦИАЛЬНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ: ПРОБЛЕМЫ, МОДЕЛИ И ТЕОРЕТИЗАЦИЯ

А. Н. Ушнов<sup>1</sup>, О. А. Угольникова<sup>1</sup>, И. Р. Ежуров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup>Детско-юношеская спортивная школа № 3 (Россия, 654038, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Климасенко, 16/4)

**Аннотация.** Современные условия развития социально-образовательного пространства и успешность реализации идей о продуктивности возрастосообразной и профессиональной деятельности определяют технологии активизации внимания на проблемах здоровья людей, основы управления уровня достижений личности и общества. Процесс теоретизации популяризации футбола в социально-образовательном пространстве уникален и значим в развитии культуры самоопределения и самоактуализации личности, сотрудничестве и самовыражении в возрастосообразной и профессиональной деятельности. В теоретизации процесса популяризации футбола в социально-образовательном пространстве рассматриваются целостные, структурно-организационные элементы (виды, проблемы, модели, принципы, тенденции, функции, методы, средства, формы, технологии). Проблемы популяризации как активного способа представления возможностей вовлечения личности в процесс социально значимого развития раскрывают через противоречия и несоответствия. Виды популяризации футбола в социально-образовательном пространстве определяют в авторской типологии этих видов. Теоретизированные и уточненные понятия и типология моделей процесса популяризации футбола в социально-образовательном пространстве определяют в различных плоскостях социально и профессионально востребованного знания о природе и роли футбола как избранного вида спорта и направления досуга. Качество популяризации футбола в социально-образовательном пространстве уточняют через использование методов, средств и форм популяризации футбола. Выделение методов, средств и форм популяризации футбола раскрывают перспективность моделирования и использования технологии популяризации футбола. Ценностно-смысловая направленность теоретизации процесса популяризации футбола определена в выделенных принципах и функциях популяризации. Моделирование и теоретизация продуктивных решений задач и проблем популяризации футбола определены на технологическом уровне в педагогической технологии на системно-функциональном (в педагогических условиях) обеспечении качества популяризации футбола.

**Ключевые слова:** популяризация, теоретизация, футбол, технологизация, педагогические условия, моделирование, социально-образовательное пространство

**Для цитирования.** Ушнов А.Н., Угольникова О.А., Ежуров И.Р. Популяризация футбола в социально-образовательном пространстве: проблемы, модели и теоретизация // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 45 – 53.

## POPULARIZATION OF FOOTBALL IN SOCIO-EDUCATIONAL ENVIRONMENT: PROBLEMS, MODELS AND THEORETIZATION

A. N. Ushnov<sup>1</sup>, O. A. Ugolnikova<sup>1</sup>, I. R. Ezhurov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

<sup>2</sup>Children's and Youth Sports School No. 3 (16/4 Klimasenko Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654038, Russian Federation)

**Abstract.** Modern conditions of social and educational environment development and the success of implementation of ideas of productivity in age-appropriate and professional activities determine technologies for attracting attention to the problems of public health and management of individual and social achievements. The process of theorization of football popularization in social and educational environment is unique and significant in development of culture of self-determination and self-actualization of an individual, cooperation and self-expression in age-appropriate and professional activities. In theorizing of the process of football popularization in social and educational environment, integral, structural and organizational elements (types, problems, models, principles, trends, functions, methods, means, forms, technologies, etc.) are considered. The problems of popularization as an active way of presenting possibilities of involving an individual in the process of socially significant development are revealed through contradictions and inconsistencies. Types of popularization of football in social and educational environment are determined in the author's typology of types of popularization of football. Theorized and refined concepts and typology of models of the process of football popularization in social and educational environment are determined in various planes of socially and professionally demanded knowledge about the nature and role of football as a chosen sport and leisure. Quality of football popularization in social and educational environment is specified through the use of methods, means and forms of football popularization. The highlighted methods, means and forms of football popularization reveal the perspectives of modeling and use of football popularization technology. The value-semantic orientation of the theorization of the process of football popularization is defined in the distinguished principles and functions of football popularization in social and educational environment. Modeling and theorization of productive solutions to problems of football popularization are defined at the technological level in pedagogical technology, at the system-functional level - in the pedagogical conditions of ensuring quality of football popularization.

**Keywords:** popularization, theorization, football, technologization, pedagogical conditions, modeling, social and educational environment

**For citation:** Ushnov A.N., Ugolnikova O.A., Ezhurov I.R. Popularization of football in the social and educational space: problems, models and theorization. *Bulletin of SibSIU*. 2021. № 3 (37), p. 45–53. (In Russ.).

### **Введение**

Популяризация футбола в социально-образовательном пространстве является важным элементом и продуктом технологизации развития индустрии здоровьесберегающих технологий и оздоравливающего эффекта позитивного обогащения внутреннего мира личности, включенной в процесс захватывающей игры футбольной команды. Популярность классического и дистанционного просмотра игр, программ по анализу различных составляющих оценки качества игр (стратегической, тактической, командно-групповой) является одним из механизмов управления уровнем вовлеченности личности в процесс принятия футбола в качестве ресурса социализации и самореализации, психорелаксации и психокоррекции.

Основы теоретизации футбола в управлении уровнем и качеством возрастосообразной деятельности личности могут быть выделены через призму идей соответствия популяризации и всестороннего анализа возможностей развития личности в избранном виде физкультурно-спортивной деятельности [1 – 4].

Успешность и продуктивность личности могут быть рассмотрены в русле идей общепедагогического [5 – 7] и частно-предметного уточнения [7 – 10] как механизмы управления и само-

организации уровня развития личности в обществе и общества с личностью, целостность и всесторонность которых определяют через модели системного анализа направленности и перспективности продуктивного поиска и самоорганизации.

Своевременность уточнения и теоретизации проблем, моделей, методов, форм и технологий популяризации футбола в социально-образовательном пространстве могут быть выделены в плоскости микро-, мезо-, макроуровневого моделирования и теоретизации [11 – 14], качество которых будет определено через различные направления интеграции образования, спорта и науки.

Общепедагогические основы теоретизации как процесса наукосообразного решения задач развития и управления [15 – 18] позволяют выделять и системно использовать основы научных поиска и познания в решении задач создания нового знания и средств решения проблем профессиональной и педагогической деятельности. В системе интегративного понимания и представления составляющих научно-педагогических теорий как продуктов научной и дидактической теоретизации, основ общей [19 – 22] и частно-предметной педагогических методологий [23 – 28] выделяют и оптимально представляют продукты теоретизации и технологи-

зации изучения, уточнения, системного описания возможностей популяризации футбола в социально-образовательном пространстве. Они определяют целостность социально ориентированного знания в позитивном обогащении внутреннего мира и в субъектно-деятельностной основе самовыражения и самоактуализации личности через возрастосообразные формы и перспективы развития и самосовершенствования. В выделенном русле идей наиболее популярными определяются технологии поддержки [6, 28 – 32], фасилитации [6, 32] мультисредовых и гуманистических идей развития личности [5, 7, 13, 14, 23, 25, 26, 28], адаптивно-продуктивных возможностей развития личности [28, 30, 33, 34] (в том числе хобби-терапия, использование научного донорства).

Общая теория футбола и теоретизация процесса популяризации футбола в социально-образовательном пространстве будут осуществлены в системе моделей и положений, детерминированных в работах [35 – 42].

Целью настоящей работы является изучение, уточнение, системное описание возможностей и теоретизации процесса популяризации футбола в социально-образовательном пространстве.

### **Материалы и методы**

Основы системного уточнения качества и составляющих процесса популяризации футбола в социально-образовательном пространстве определяются через применение методов научно-исследовательской деятельности в спектре классического теоретического и инновационного использования идей и способов постановки и решения проблем научного познания, уточнения и системного обобщения выделенных моделей, технологий и продуктов теоретизации, успешности социального выбора футбола в качестве ресурса оздоровления и акмепедагогического, возрастосообразного становления.

Методология популяризации футбола в социально-образовательном пространстве будет раскрыта через системно-смысловые и мультикультурные основы интеграции образования, спорта и науки [23, 25, 26, 28] в моделировании гуманистически целесообразных сред и принятии тождественного переноса в качестве механизма управления уровнем развития инновационного потенциала образовательной и спортивной организации. Это отражает потребность и перспективы популяризации футбола в социально-образовательном пространстве.

### **Результаты и обсуждение**

Целостность описания и уточнения возможностей популяризации футбола в социально-

образовательном пространстве отражает уровень системно-смыслового и гносеолого-герменевтического понимания значимости и перспективности самоопределения и самоактуализации личности, сотрудничества и самовыражения в возрастосообразной и профессиональной деятельности.

Согласованность и корректность интегративного использования теоретизации, моделирования и организации возрастосообразной деятельности личности позволит подойти к проблемам популяризации футбола в социально-образовательном пространстве, продукты и решения которых рассматриваются через выделяемые виды, модели, функции, принципы, закономерности, тенденции, методы, средства, формы, технологии).

Под проблемами популяризации как активного способа представления возможностей вовлечения личности в процесс социально значимого развития будем понимать противоречия и несоответствия, системно представляющие процесс и перспективность организации педагогически целесообразного процесса, определяющего уровень и качество достижений личности и общества в определенном направлении и способе представления данных о развитии и управлении.

Проблемы популяризации футбола в социально-образовательном пространстве – несоответствия и противоречия, отражающие подлинную природу развития личности в футболе и востребованность его в качестве идеи и технологии социализации и самореализации личности в возрастосообразной и профессиональной деятельности.

Проблемы популяризации футбола в социально-образовательном пространстве определим между:

- уровнем развития личности и направленностью ее оздоровления через физкультурно-спортивные виды деятельности;
- материальным обеспечением личности и системно-смысловым одобрением психорелаксации личности через различные направления физкультурно-спортивной деятельности;
- согласованностью и корректностью возрастосообразного развития личности в футболе и перспективностью метода и технологии хобби-терапии через футбол;
- доступности футбола как избранного вида физкультурно-спортивной деятельности и надежности оценки результатов продуктивного решения задач развития личности в выделенной плоскости теоретизации и технологизации уровня успешности и продуктивности.

Виды популяризации футбола в социально-образовательном пространстве – однозначно определяемые способы и направления реализации идей популяризации футбола в социально-

образовательном пространстве, отображающие целостное понимание системного мышления и научного познания в области теоретизации развития личности через футбол как командный вид спорта и целостное управление уровнем командного решения задач и проблем продуктивного самовыражения через футбол.

Виды популяризации футбола в социально-образовательном пространстве:

- классическая;
- целевая;
- системно-смысловая;
- адаптивно-игровая;
- мотивационно-организационная;
- возрастосообразная;
- профессиональная;
- инновационная;
- подлинно научная.

Под моделями популяризации футбола в социально-образовательном пространстве будем понимать идеально создаваемое знание, определяющее качество принятия футбола как направление социализации и самореализации.

Модели популяризации футбола в социально-образовательном пространстве:

- адаптивная;
- гносеологическая;
- синергетическая;
- перспективно-целевая;
- тактико-стратегическая;
- классическая;
- инновационная;
- подлинно научная.

Согласованность и уникальность теоретизации и технологизации популяризации футбола в социально-образовательном пространстве уточняют и системно обобщают через наукосообразное и перспективно-целевое использование методов, средств и форм популяризации футбола.

Методы популяризации футбола – пути и способы целостного решения задач «хочу, могу, надо, есть» в уникальном принятии опыта социализации и самореализации личности через занятия футболом как избранным видом возрастосообразной деятельности и направлении досуга (психорелаксации).

Средства популяризации футбола – идеальные и материальные продукты развития антропосреды и ноосферы, позволяющие обеспечить качество игры в футбол на различном уровне технологизации и теоретизации наукосообразного выбора и научного знания.

Формы популяризации футбола – организационные мероприятия, на которых осуществляют комплексную возрастосообразную оценку возможности футбола в качестве направления досуга или самореализации.

Перспективность моделирования и использования технологии популяризации футбола отражается в согласованном выделении и оптимальном понимании значимости системного использования методов, форм и средств популяризации футбола.

В структуре научного поиска и продуктивного решения проблем ценностно-смысловая направленность популяризации футбола может быть определена в выделенных принципах и функциях популяризации футбола в социально-образовательном пространстве.

Под принципами популяризации футбола в социально-образовательном пространстве будем понимать системно выделяемые положения и конструкты самоорганизации успешности формирования ценностей и смыслов популяризации футбола как избранного направления социализации и самореализации, социально и персонифицированно детализируемого направления релаксации и хобби-терапии.

Принципы популяризации футбола в социально-образовательном пространстве:

- доступность футбола в качестве средства и технологии самовыражения и самоактуализации;
- интеграция и системное регулирование возможностей развития в возрастосообразной и профессиональной деятельности через футбол;
- цикличность и синхронность обновления структуры и содержания, направленность и перспективность развития футбола как избранного вида спорта, важного направления профессиональной деятельности, направления досуга (психорелаксации);
- своевременность и универсальность уточнения и коррекции составляющих перспективно-целевого и тактико-стратегического планирования в развитии личности через футбол и управление качеством развития команды футболистов;
- объективность и перспективность технологизации и унификации идей гуманизма и продуктивности в футболе;
- информационная пропаганда здорового образа жизни и персонифицированного учета потребностей в зрелищности физкультурно-спортивных мероприятий;
- культуросообразность развития личности через футбол и доминирование идей гуманизма в определении перспектив развития личности и общества;
- мотивация личности к самопознанию и самоактуализации в возрастосообразной деятельности;
- обеспечение должного уровня качества профессионализма в модели развития личности через футбол.



Под функциями популяризации футбола в социально-образовательном пространстве будем понимать системно выделяемые особенности и продукты теоретизации качества решения задач популяризации футбола в социально-образовательном пространстве как идеи и смысл оптимизации уровня продуктивности, гуманизма, успешности, конкурентоспособности.

Функции популяризации футбола в социально-образовательном пространстве следующие:

– целостность представления составляющих научного познания и решения задач «хочу, могу, надо, есть»;

– наукообразное и целевое уточнение корректности и целесообразности развития личности через футбол;

– гибкость и гуманизм в унификации и управлении качеством формирования социального знания;

– приоритетный, профильный и системно-смысловой поиск наиболее гибко трансформируемой модели развития личности в социуме;

– синергетическая корректность и ясность в уточнении условий развития личности в футболе.

Выделенные составляющие теоретизации процесса популяризации футбола определяют основы для целостного понимания значимости идей опыта развития личности через социально пропагандируемые и детализируемые виды деятельности, обеспечивающие корректность и направленность формирования основ социализации и самореализации в возрастосообразном выборе, научном познании и трансляции социального знания.

### **Выводы**

Теоретизация и технологизация популяризации футбола определяются значимыми явлениями и продуктами научного поиска и опыта целостного развития личности через футбол.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Конеева Е.В. Популяризация физической культуры и спорта среди молодежи // Человеческий капитал. 2020. № 8 (140). С. 200–212.
2. Слепцова Т.В. Популяризация ценностей спорта средствами современных масс-медиа // Физкультурное образование Сибири. 2020. № 1 (43). С. 77–80.
3. Чубуков В.А. Футбол – это мир, мечта. Страсть, друг! // Физическая культура в школе. 2019. № 3. С. 57–63.
4. Козырева О.А. Теоретизация идей продуктивного возрастосообразного становления личности в системе непрерывного образования // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2020. № 3 (56). С. 58–66.
5. Балицкая Н.В., Козырев Н.А., Козырева О.А. Теоретизация успешности продуктивного становления личности в системе непрерывного образования // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2020. № 3 (78). С. 130–142.
6. Гапиенко Т.А., Козырев Н.А., Митькина Е.В. Педагогическая поддержка и фасилитация в модели развития обучающегося в системе непрерывного образования // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Гуманитарные и общественные науки. 2018. № 2. С. 5–10.
7. Коновалов С.В., Козырев Н.А., Козырева О.А. Профессионализм личности как универсальная категория современного образования // Бизнес. Образование. Право. 2019. № 2 (47). С. 334–343. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2019.47.203>
8. Абрамян А.А., Овчинников Ю.Д. Мини-футбол как одно из направлений школьного спорта // Психология человека и общества. 2019. № 4 (9). С. 5–11.
9. Гаврилов С.М. Пляжный футбол как средство физического воспитания студентов высшего учебного заведения // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2020. № 1 (179). С. 67–70.
10. Чернов Г.В., Горбачева О.А. Футбол как средство формирования личности подростков // Автономия личности. 2020. № 2 (22). С. 95–98.
11. Бекоева М.И. Совершенствование процесса технологизации системы управления образованием // Проблемы современного педагогического образования. 2016. № 53 (9). С. 73–78.
12. Киргуева Ф.Х., Тотоонова М.Х. Современные представления о моделировании в педагогике // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 404.
13. Козырева О.А. Педагогическое моделирование в профессиональной деятельности учителя и научно-педагогического работника // Вестник Мининского университета. 2020. Т. 8. № 2. С. 1. <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2020-8-2-1>
14. Коновалов С.В., Козырев Н.А., Козырева О.А. Теоретико-методологические возможности использования педагогического моделирования в системе педагогического и инженерно-технического образования // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. 2019. Т. 29. № 1. С. 72–86.
15. Юрьев А.Б., Козырев Н.А., Козырева О.А. Теоретизация и технологизация как процес-

- сы, ресурсы и продукты современного образования и педагогической науки // Вестник РМАТ. 2021. № 1. С. 85–89.
16. Козырева О.А. Теоретизация в педагогике как объект научного поиска и научного исследования // Гуманитарно-педагогическое образование. 2019. Т. 5. № 2. С. 116–123.
  17. Козырева О.А. Теоретизация как технология и конструкт развития личности в системе непрерывного образования // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2019. № 4 (73). С. 146–155.
  18. Козырева О.А. Теоретизация как технология и продукт системы непрерывного образования // Вестник Северо-Осетинского государственного университета. 2019. № 3. С. 101–110. <https://doi.org/10.29025/1994-7720-2019-3-101-110>
  19. Сериков В.В. Методология педагогики: состояние и направления развития // Инновационные проекты и программы в образовании. 2020. № 4 (70). С. 62–66.
  20. Байлук В.В. Диалектическая методология как средство развития креативности педагогов и студентов // Педагогическое образование в России. 2020. № 6. С. 31–44.
  21. Динер Е.В., Лопатина Н.В. Единое цифровое пространство знаний в формировании национального культурного кода личности: методология проектирования // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2020. № 6 (98). С. 130–138.
  22. Карлышев В.М., Казарина А.С., Миронова В.М. Новая парадигма и методология в оздоровительной работе с человеком в современных условиях // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2021. № 1 (191). С. 111–119.
  23. Казанцева Н.А., Козырев Н.А., Козырева О.А. Теоретизация возможностей управления качеством включенности личности в спортивно-образовательную среду ДЮСШ // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2020. Т. 25. № 188. С. 105–113. <https://doi.org/10.20310/1810-0201-2020-25-188-105-113>
  24. Кривенцов А.Л. Проблема спортивных способностей: методология изучения и условия развития их структуры в спортивной деятельности // Педагогический журнал. 2020. Т. 10. № 2 (1). С. 373–390.
  25. Логачева Н.В., Козырев Н.А., Козырева О.А. Проектирование и реализация возможностей повышения качества самореализации и сотрудничества личности в спортивно-образовательной среде // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2019. Т. 24. № 183. С. 91–101. <https://doi.org/10.20310/1810-0201-2019-24-183-91-101>
  26. Пожаркин Д.И., Казанцева Н.А., Козырева О.А. Теоретизация качества и технологизация развития личности в спортивно-образовательной среде // Профессиональное образование в современном мире. 2020. Т. 10. № 4. С. 4280–4290. <https://doi.org/10.20913/2618-7515-2020-4-12>
  27. Усольцева С.Л. Формирование нравственности студентов средствами физической культуры (методология, теория, методы и средства) // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2020. № 4 (182). С. 474–478.
  28. Чигишев Е.А., Козырев Н.А., Козырева О.А. Модели и методология теоретизации и формирования успешности личности студента училища олимпийского резерва в спорте, науке, образовании // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. 2019. Т. 29. № 1. С. 226–234. <https://doi.org/10.35634/2412-9550-2019-29-2-226-234>
  29. Юрьев А.Б., Фастыковский А.Р., Козырев Н.А. Профессиональная поддержка личности как метод и технология современного непрерывного образования // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2021. № 2 (83). С. 204–213.
  30. Коновалов С.В., Козырев Н.А., Козырева О.А. Педагогическая поддержка и научное донорство в адаптивно-продуктивном развитии личности в системе непрерывного образования // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. 2021. Т. 31. № 1. С. 94–107. <https://doi.org/10.35634/2412-9550-2021-31-1-94-107>
  31. Козырев Н.А., Юрьев А.Б., Шibaева Н.Н. Профессиональная поддержка педагогов в системе непрерывного образования и профессионально-трудовых отношений // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2021. № 1 (58). С. 70–78.
  32. Юрьев А.Б., Шibaев И.А., Козырев Н.А. Фасилитация в деятельности научно-педагогических работников и руководителей учреждений системы непрерывного образования // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2021. № 1 (58). С. 114–122.
  33. Козырева О.А. Использование дидактических погрешностей в современной системе непрерывного образования // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия.

- Психология. Педагогика. 2020. Т. 30. № 4. С. 463–469.
34. Козырева О.А. Хобби-терапия в профессиональной поддержке педагога в системе непрерывного образования // Вестник Северо-Осетинского государственного университета. 2021. № 1. С. 73–79.
  35. Исмиянов В.В., Рыбина Л.Д. Зимние клюшковые и футбол как средство спортивной социализации и развития личностных качеств обучающихся сирот в иркутской области // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2021. № 3 (193). С. 164–167.
  36. Назаренко Л.Д., Колесник И.С. Футбол как социальный спортивно-культурный феномен // Теория и практика физической культуры. 2018. № 11. С. 57–58.
  37. Наркевич-Йодко М.С., Емелин В.Н. Футбол как средство физического воспитания студентов специальных медицинских групп // Культура физическая и здоровье. 2019. № 3 (71). С. 145–147.
  38. Плотникова И.И., Кудрявцев М.Д., Сухина К.В. Модернизация учебной деятельности на основе опережающего подхода в физическом воспитании учащихся начальной школы на примере обучения игре в футбол // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 60 (2). С. 283–287.
  39. Железнов Н.Н., Пономарёв В.В., Левицкая А.Н., Железнова Е.Н. Фитнес-футбол в физическом воспитании студенток вуза // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. 2021. № 1. С. 25–27.
  40. Каргаполова Е.В., Каргаполов С.В., Дулина Н.В., Миронова Ю.Г. Футбол в социокультурном пространстве студенчества (на примере юга России) // Теория и практика физической культуры. 2019. № 9. С. 47–49.
  41. Каргаполова Е.В., Кошкин А.П., Дулина Н.В., Давыдова Ю.А. Футбол в структуре социального капитала современной молодежи: региональный аспект // Теория и практика физической культуры. 2020. № 6. С. 18–20.
  42. Шапинская Е.Н. Футбол как феномен современной массовой культуры // Спортивно-педагогическое образование. 2018. № 1-2. С. 175–182.
  2. Sleptsova T.V. Popularization of the values of sport by means of modern mass media. *Fizkul'turnoe obrazovanie Sibiri*. 2020, no. 1 (43), pp. 77–80. (In Russ.).
  3. Chubukov V.A. Football is a world, a dream. Passion, friend! *Fizicheskaya kul'tura v shkole*. 2019, no. 3, pp. 57–63. (In Russ.).
  4. Kozyreva O.A. Theorization of ideas of productive age-appropriate personal development in the system of lifelong education. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. M. Akmully*. 2020, no. 3 (56), pp. 58–66. (In Russ.).
  5. Balitskaya N.V., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Theorization of the success of productive formation of an individual in the system of lifelong education. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. 2020, no. 3 (78), pp. 130–142. (In Russ.).
  6. Gapienko T.A., Kozyrev N.A., Mit'kina E.V. Pedagogical support and facilitation in the development model of a student in the system of lifelong education. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i obshchestvennye nauki*. 2018, no. 2, pp. 5–10. (In Russ.).
  7. Konovalov S.V., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Personal professionalism as a universal category of modern education. *Biznes. Obrazovanie. Pravo*. 2019, no. 2 (47), pp. 334–343. (In Russ.). <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2019.47.203>
  8. Abraamyana A.A., Ovchinnikov Yu.D. Mini-football as one of the directions of school sports. *Psikhologiya cheloveka i obshchestva*. 2019, no. 4 (9), pp. 5–11.
  9. Gavrillov S.M. Beach soccer as a mean of physical education for university students. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2020, no. 1 (179), pp. 67–70. (In Russ.).
  10. Chernov G.V., Gorbacheva O.A. Football as a mean of shaping personality of adolescents. *Avtonomiya lichnosti*. 2020, no. 2 (22), pp. 95–98. (In Russ.).
  11. Bekoeva M.I. Improving process of technologization of the education management system. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*. 2016, no. 53 (9), pp. 73–78. (In Russ.).
  12. Kirgueva F.Kh., Totoonova M.Kh. Modern ideas of modeling in pedagogy. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015, no. 3, pp. 404. (In Russ.).
  13. Kozyreva O.A. Pedagogical modeling in professional activity of a teacher and a scientific and pedagogical worker. *Vestnik Mininskogo universiteta*. 2020, vol. 8, no. 2, pp. 1. (In Russ.).

## REFERENCES

1. Koneeva E.V. Popularization of physical culture and sports among youth. *Chelovecheskii kapital*. 2020, no. 8 (140), pp. 200–212. (In Russ.).

- Russ.). <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2020-8-2-1>
14. Konovalov S.V., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Theoretical and methodological possibilities of using pedagogical modeling in the system of pedagogical and engineering education. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Filosofiya. Psikhologiya. Pedagogika*. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 72–86. (In Russ.).
  15. Yur'ev A.B., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Theorization and technologization as processes, resources and products of modern education and pedagogical science. *Vestnik RMAT*. 2021, no. 1, pp. 85–89. (In Russ.).
  16. Kozyreva O.A. Theorization in pedagogy as an object of scientific search and study. *Gumanitarno-pedagogicheskoe obrazovanie*. 2019, vol. 5, no. 2, pp. 116–123. (In Russ.).
  17. Kozyreva O.A. Theorization as a technology and construct of personal development in the system of continuous education. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. 2019, no. 4 (73), pp. 146–155. (In Russ.).
  18. Kozyreva O.A. Theorization as a technology and product of the system of lifelong education. *Vestnik Severo-Osetinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019, no. 3, pp. 101–110. (In Russ.). <https://doi.org/10.29025/1994-7720-2019-3-101-110>
  19. Serikov V.V. Methodology of pedagogy: state and directions of development. *Innovatsionnye proekty i programmy v obrazovanii*. 2020, no. 4 (70), pp. 62–66. (In Russ.).
  20. Bailuk V.V. Dialectic methodology as a means of developing creativity of teachers and students. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*. 2020, no. 6, pp. 31–44. (In Russ.).
  21. Diner E.V., Lopatina N.V. Integral digital space of knowledge in the formation of the national cultural code of an individual: design methodology. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta kul'tury i isskusstv*. 2020, no. 6 (98), pp. 130–138. (In Russ.).
  22. Karlyshev V.M., Kazarina A.S., Mironova V.M. New paradigm and methodology in health-improving work with a person in modern conditions. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2021, no. 1 (191), pp. 111–119. (In Russ.).
  23. Kazantseva N.A., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Theorization of the possibilities of managing quality of the individual involvement in sport and educational environment of the CYSS. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki. Tambov*. 2020, vol. 25, no. 188, pp. 105–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.20310/1810-0201-2020-25-188-105-113>
  24. Kriventsov A.L. The problem of sports abilities: methodology of study and conditions of development of their structure in sports activities. *Pedagogicheskii zhurnal*. 2020, vol. 10, no. 2 (1), pp. 373–390. (In Russ.).
  25. Logacheva N.V., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Design and implementation of opportunities for improving quality of self-realization and personal cooperation in sports and educational environment. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki. Tambov*. 2019, vol. 24, no. 183, pp. 91–101. (In Russ.). <https://doi.org/10.20310/1810-0201-2019-24-183-91-101>
  26. Pozharkin D.I., Kazantseva N.A., Kozyreva O.A. Theorization of quality and technologization of personal development in sports and educational environment. *Professional'noe obrazovanie v sovremennom mire*. 2020, vol. 10, no. 4, pp. 4280–4290. (In Russ.). <https://doi.org/10.20-913/2618-7515-2020-4-12>
  27. Usol'tseva S.L. Formation of students' morality by means of physical culture (methodology, theory, methods and means). *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta*. 2020, no. 4 (182), pp. 474–478. (In Russ.).
  28. Chigishev E.A., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Models and methodology of theorizing and formation of personal success of a student in school of the Olympic reserve in sports, science, education. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Filosofiya. Psikhologiya. Pedagogika*. 2019, vol. 29, no. 1, pp. 226–234. (In Russ.). <https://doi.org/10.35634/2412-9550-2019-29-2-226-234>
  29. Yur'ev A.B., Fastykovskii A.R., Kozyrev N.A. Professional personal support as a method and technology of modern continuous education. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta*. 2021, no. 2 (83), pp. 204–213. (In Russ.).
  30. Konovalov S.V., Kozyrev N.A., Kozyreva O.A. Pedagogical support and scientific sharing in the adaptive-productive development of the personality in system of lifelong education. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Filosofiya. Psikhologiya. Pedagogika*. 2021, vol. 31, no. 1, pp. 94–107. (In Russ.). <https://doi.org/10.35634/2412-9550-2021-31-1-94-107>
  31. Kozyrev N.A., Yur'ev A.B., Shibaeva N.N. Professional support for teachers in the system of continuing education, professional and labor relations. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. M. Akmully*. 2021, no. 1 (58), pp. 70–78. (In Russ.).

32. Yur'ev A.B., Shibaev I.A., Kozyrev N.A. Facilitation in work of scientific and pedagogical workers and heads of institutions of the lifelong education system. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. M. Akmully.* 2021, no. 1 (58), pp. 114–122. (In Russ.).
33. Kozyreva O.A. The use of didactic rattles in modern system of lifelong education. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Filosofiya. Psikhologiya. Pedagogika.* 2020, vol. 30, no. 4, pp. 463–469. (In Russ.).
34. Kozyreva O.A. Hobby therapy in professional support of a teacher in the system of lifelong education. *Vestnik Severo-Osetinskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2021, no. 1, pp. 73–79. (In Russ.).
35. Ismiyanov V.V., Rybina L.D. Winter clubbing and football as means of sports socialization and development of personal qualities of orphans in the Irkutsk region. *Uchenye zapiski universiteta im. P.F. Lesgafta.* 2021, no. 3 (193), pp. 164–167. (In Russ.).
36. Nazarenko L.D., Kolesnik I.S. Football as social sports and cultural phenomenon. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury.* 2018, no. 11, pp. 57–58. (In Russ.).
37. Narkevich-Iodko M.S., Emelin V.N. Football as means of physical education for students of special medical groups. *Kul'tura fizicheskaya i zdorov'e.* 2019, no. 3 (71), pp. 145–147. (In Russ.).
38. Plotnikova I.I., Kudryavtsev M.D., Sukhinina K.V. Modernization of educational activities based on proactive approach in physical education of primary school students on the example of teaching to play football. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya.* 2018, no. 60 (2), pp. 283–287. (In Russ.).
39. Zheleznov N.N., Ponomarev V.V., Levitskaya A.N., Zheleznova E.N. Fitness football in physical education of female university students. *Fizicheskaya kul'tura: vospitanie, obrazovanie, trenirovka.* 2021, no. 1, pp. 25–27. (In Russ.).
40. Kargapolova E.V., Kargapolov S.V., Dulina N.V., Mironova Yu.G. Football in the students socio-cultural space (on the example of the south of Russia). *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury.* 2019, no. 9, pp. 47–49. (In Russ.).
41. Kargapolova E.V., Koshkin A.P., Dulina N.V., Davydova Yu.A. Football in structure of social capital of modern youth: regional aspect. *Teor-*

*iya i praktika fizicheskoi kul'tury.* 2020, no. 6, pp. 18–20. (In Russ.).

42. Shapinskaya E.N. Football as a phenomenon of contemporary mass culture. *Sportivno-pedagogicheskoe obrazovanie.* 2018, no. 1-2, pp. 175–182. (In Russ.).

#### Сведения об авторах

**Александр Николаевич Уинов**, старший преподаватель кафедры физического воспитания, Сибирский государственный индустриальный университет

**ORCID:** 0000-0001-5061-1107

**E-mail:** ushnova77@mail.ru

**Ольга Александровна Угольникова**, к.п.н., доцент, заведующий кафедрой физического воспитания, Сибирский государственный индустриальный университет

**ORCID:** 0000-0002-6503-9120

**E-mail:** ugolnikovao@mail.ru

**Игорь Раимович Ежуров**, тренер, Детско-юношеская спортивная школа № 3

**ORCID:** 0000-0002-8512-0268

**E-mail:** ezhurov-ir@yandex.ru

#### Information about the authors

**Alexander N. Ushnov**, Senior Lecturer, Department of Physical Education, Siberian State Industrial University

**ORCID:** 0000-0001-5061-1107

**E-mail:** ushnova77@mail.ru

**Olga A. Ugolnikova**, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Physical Education, Siberian State Industrial University

**ORCID:** 0000-0002-6503-9120

**E-mail:** ugolnikovao@mail.ru

**Igor R. Ezhurov**, coach, Children and youth sports school number 3

**ORCID:** 0000-0002-8512-0268

**E-mail:** ezhurov-ir@yandex.ru

© 2021 г. А.Н. Уинов, О.А. Угольникова,  
И.Р. Ежуров

Поступила в редакцию 29.06.2021 г.

УДК 92

### УЧЕНЫЙ МИРОВОГО УРОВНЯ Ю.В. ГРДИНА: СТАЛЬНОЕ СЕРДЦЕ СИБИРСКОГО ВУЗА ИНДУСТРИАЛЬНОГО ГОРОДА

**Л. А. Тресвятский**

**Сибирский государственный индустриальный университет** (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

**Аннотация.** Представлено историческое описание биографии выдающегося ученого, инженера-металлурга, доктора технических наук, профессора Юрия Вячеславовича Грдины. Описаны социальные основы семьи Ю.В. Грдины, влияние томской научной среды на формирование молодого специалиста. Рассмотрен профессиональный рост ученого-практика в области металловедения в различных научных и производственных центрах Томска, Красноярска, Новосибирска, Новокузнецка. Показано, что наиболее полная реализация таланта ученого началась после поступления на работу в Сибирский металлургический институт и укрепления связей с металлургическим производством не только в Кузбассе, но и во всем Советском Союзе. Профессионализм Ю.В. Грдины и достигнутые им результаты в научно-производственной деятельности выводят его в число ученых всесоюзного и мирового уровней.

**Ключевые слова:** Грдина, профессор, Великая Отечественная война, металлург, рельсы

**Для цитирования.** Тресвятский Л.А. Ученый мирового уровня Ю.В. Грдина: стальное сердце сибирского вуза индустриального города // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3 (37). С. 54 – 70.

### WORLD-CLASS SCIENTIST YU.V. GRDINA: THE STEEL HEART OF THE SIBERIAN UNIVERSITY INDUSTRIAL CITY

**L. A. Tresvyatsky**

**Siberian State Industrial University** (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

**Abstract.** The article presents a historical description of the biography of an outstanding scientist, metallurgical engineer of Siberia and the USSR, Doctor of Technical Sciences, Professor Yuri Vyacheslavovich Grdina. The article pays attention to the social foundations of the family of Yu. V. Grdina, the influence of the Tomsk scientific environment on the formation of a young specialist. The professional growth of a practical scientist in the field of metal science in various scientific and industrial centers of Tomsk, Krasnoyarsk, Novosibirsk, Novokuznetsk is considered. It is shown that the most complete realization of the scientist's talent begins after entering the media and strengthening ties with the metallurgical industry not only in Kuzbass, but also throughout the Soviet Union. Yu. V. Grdina's professional yurovenu and the results achieved by him in scientific and production activities make him one of the scientists of the All-Union and world levels.

**Keywords:** Grdina, Professor, Great Patriotic War, metallurgist, rails

**For citation:** Tresvyatsky L.A. The steel heart of the siberian university industrial city. *Bulletin of SibSIU*. 2021. № 3 (37), p. 54–70. (In Russ.).

При изучении научного наследия профессора Юрия Вячеславовича Грдины, интересно узнать и о его личности, вкладе в социально-экономическое развитие Сибири и Союза Совет-

ских Социалистических Республик [1 – 4]. Стрепан М.В. рассматривает [3] основные этапы жизни и научной деятельности ученого. Михню А.Р., Угрюмов В.Е. используют по отношению

Грдине Ю.В. термин «отец» («отец кузнецких рельсов», «отец русских рельсов») [2, 4]. Покровская О.Д. называет Юрия Вячеславовича «король русских рельсов» [5]. Важным историческим источником является литературно-художественное издание «Ю.В. Грдина – отец русских рельсов». Оно содержит краткую биографию Юрия Вячеславовича, воспоминания его современников, письма и другие материалы, а также научно-фантастическую повесть Грдины «Блистающий мир» [6].

Юрий Вячеславович Грдина родился 6 июля 1901 г. в городе Вильна Виленской губернии Российской империи. Через год семья Грдины переехала в сибирский город Томск. Вацлав (Вячеслав) Иванович и Мария Иосифовна (Осиповна) Грдины – родители Юрия Вячеславовича. Вацлав Иванович родился в городе Вилькомире (в уездном городе Ковенской губернии), в семье подданного Австро-Венгрии Ивана Францевича Грдины, осевшего на территории России в последней четверти XIX в.

Из воспоминаний В.И. Люленкова о Ю.В. Грдине: «Сам Грдина никогда не рассказывал о своих родителях. Слышал я, что они не то из Чехословакии, не то из Австрии...» [7]. Исследователь Ю.В. Лозинский пишет, что дед Ю.В. Грдины Иван Францевич жил в чешском городе Пльзене и был рабочим на пивоваренном заводе, а в свободное от работы время играл на кларнете в любительском городском оркестре. Грдина И.Ф. прошел путь на музыкальном поприще России от учителя музыки (с конца 1870-х гг.) до капельмейстера в Артиллерийской бригаде, располагавшейся в городах Вилькомир и Вильна (к концу позапрошлого века). В работе [8] отмечается переход отца Ю.В. Грдины в православное вероисповедание.

Есть сведения, которые нуждаются в уточнении, что отец Ю.В. Грдины был не одним ребенком в семье. Дед Ю.В. Грдины Иван (Ян) Францевич Грдина прибыл на территорию России в 1874 г., обустроился, а на следующий год в 1875 г. к нему переехала жена Альбина Игнатьевна и их дети Ярослав и Милослава. На территории Российской империи в семье Ивана Францевича и Альбины Игнатьевны Грдины родились: Кирилл (1877 г.р.), Анна (1879 г.р.), Вячеслав (1881 г.р.), Павел (1886 г.р.) и Богуслав (1888 г.р.) [9]. Богуслав умер в детском возрасте. Кирилл и Павел воевали за Отечество и были ранены в период Первой мировой войны. Павел в 1918 г. был замечен в лагерях беженцев в Румынии [9]. В 1920 – 1930-е гг. социальное происхождение имело исключительное значение. Выходцы из эксплуататорских слоев могли быть подвергнуты особому преследованию, по этой

причине родственники могли скрывать часть информации о семейном древе от Ю.В. Грдины. После смерти отца в ближайшем окружении Юрия была мать, позднее в Сталинске (Новокузнецке) по адресу ул. Курако, д. 30, кв. 12 проживала сестра матери Лилия Осиповна (1891 г.р.), по социальному происхождению «из служащих» [10].

Жизнь отца Ю.В. Грдины была скоротечна, но он многого успел добиться. В возрасте семнадцати лет Вячеслав Иванович женился на дочери Виленского (купца второй гильдии) Марии Иосифовне Трайкович. На момент бракосочетания они оба были православного вероисповедания. После рождения Юры В.И. Грдина с семьей переехали в Западную Сибирь с целью получения высшего образования. В ходе обучения в Томске он добился перехода в российское подданство и, получив образование (первый выпуск) в Томском технологическом институте (ТТИ), трудился на Транссибе на станции Нижнеудинск в Восточной Сибири. Грдина В.И. занимался общественной работой и стал членом Общества сибирских инженеров (ОСИ) в 1909 г. [11]. Грдина Ю.В. в письме сыну Вячеславу (от 4 июля 1960 г.) своего отца называл «Вячеслав Иванович Грдина», а маму – «Мария Осиповна Грдина (Трайкович)» – это видно из напечатанного письма [10].

Ранняя и скоропостижная смерть В.И. Грдины в апреле 1910 г. оборвала жизненный путь талантливого инженера. Общество сибирских инженеров назначило вдове ежемесячное пособие в размере десяти рублей [8]. Материальный достаток семьи Ю.В. Грдины объективно стал ниже, но скромная помощь ОСИ, а также родственные связи дочери купца второй гильдии Марии Иосифовны позволили осиротевшей семье не бедствовать. Мать Мария Иосифовна (Осиповна) Грдина с 1910 г. стала служащей томской железной дороги, умерла в 1923 г. [10]. Способности Юры к музыке, рисованию, литературному творчеству поддерживались в семье, да и сама культурно-интеллектуальная атмосфера Томска способствовала всестороннему развитию ребенка.

Революция 1917 г. кардинально повлияла на профессиональное будущее Юрия Вячеславовича – он стал ученым-практиком, а самые выдающиеся теоретические исследования и их практическая реализация связаны у Ю.В. Грдины с Сибирским металлургическим институтом (СМИ, ныне СибГИУ) и городом Новокузнецк (ранее Сталинск).

В 1918 г. Юрий Вячеславович завершил обучение в Томском реальном училище и решил идти по пути своего отца: поступил на обучение в ТТИ (рис. 1).



Рис. 1. Студент Томского технологического института  
Юрий Грдина

Fig. 1. Student of Tomsk Technological Institute Yuri Grdina

Большое влияние на жизненный путь студента Ю.В. Грдины оказал Б.П. Венберг. Юрий Вячеславович Грдина был учеником профессоров Т.И. Тихомирова и Н.В. Гутовского. Под руководством профессора Т.И. Тихомирова Вячеслав Иванович Грдина написал дипломную работу «Современное состояние кузнечного дела на машиностроительных заводах» [12].

Учебу и научную деятельность Ю.В. Грдина совмещал еще в студенческие годы. В условиях отсутствия стабильной социально-политической власти он подрабатывал в свободное от учебы время конторщиком в конторе Нижнеудинского участка железной дороги, чертежником в управлении Томской железной дороги, библиотекарем и секретарем в ОСИ. Пребывание Ю.В. Грдины в Нижнеудинске не случайно, в этом городе работал его отец, а также, предположительно, жила старшая сестра его отца Милослава Ивановна (в замужестве Панковец) [9].

По инициативе профессора Б.П. Венберга в 1920 г. Юрий Вячеславович стал членом Обско-Тазовской экспедиции под патронажем Института исследования Сибири. Борис Петрович Вейнберг – блестящий физик, друг и популяризатор научного творчества Д.И. Менделеева [13], сотрудник издательства Брокгауза и Ефрона, состоявшийся ученый заведовал кафедрой физики в ГТИ. Студент Юрий Грдина принял приглашение участвовать в «полярной экспедиции» [14]. Термин «полярная экспедиция» не достаточно точен, руководитель исследовательских изысканий Борис Петрович Вейнберг именовал ее «Обско-Тазовская экспедиция» [15], деятельность которой следует рассматривать в

контексте перспективного развития судоходства в северных широтах.

Грдина Ю.В. привлекался к производству картографических работ в качестве помощника-практиканта топографа И.А. Прорубщикова: они должны были пройти путь от устья р. Ныды до устья р. Пура. Обстоятельства сложились таким образом, что студент-практикант Юра Грдина самостоятельно провел исследование совместно с другим практикантом. Юрий проводил маршрутную и магнитную съемку. В экспедиции проявился и закрепился характер Ю.В. Грдины, известно, что «... обратный путь ... совершили с большими опасностями и лишениями вследствие непогоды, холода и истощения почти всех запасов» [15]. Жертвы были не напрасны, Ю.В. Грдина внес определенный вклад в составление карты Обской и Тазовской губ, а напарник собрал богатый ботанический материал [16]. Участие в этой экспедиции позволило Ю.В. Грдине приобрести такой колоссальный опыт по выживаемости в трудных природно-климатических условиях, что в иных многочисленных туристических путешествиях он быстро находил спасительное решение в случае опасности [17].

После завершения экспедиции Ю.В. Грдина длительное время восстанавливал здоровье. Грдина привлекался профессором Б.П. Венбергом к участию в работе магнитной обсерватории при Томском университете и даже являлся ее заведующим до декабря 1921 г. С 1923 г. он стал вычислителем в Институте прикладной физики в составе Томского технологического института. В научно-исследовательской работе института Ю.В. Грдина участвовал вплоть до его закрытия в 1927 – 1928 гг.

28 января 1925 г. Юрий Вячеславович получил звание инженера-механика, закончил полный курс механического факультета Томского технологического института по электротехнической специальности. К моменту получения высшего образования Грдина активно участвовал в научной деятельности томских институтов. Дальнейший профессиональный рост ученого-практика в области металловедения проходил в различных научных и производственных центрах Томска, Красноярска, Новосибирска. По получении свидетельства о высшем образовании у Ю.В. Грдины была работа в Институте прикладной физики при Томском технологическом институте. Его труды по рекристаллизации железа и по металлургии олова носили военно-оборонный характер. Его деятельность была отмечена премией по линии рабоче-крестьянской Красной армии (РККА) [18].





Рис. 2. Сотрудник Сибирского института металлов Ю.В. Грдина, 1930 г.

Fig. 2. Employee of the Siberian Institute of Metals Yu.V. Grdina, 1930

В 1927 – 1928 гг. Ю.В. Грдина работал ассистентом в Томском госуниверситете, но его увлекала практическая деятельность и он поехал в 1928 г. в Красноярск на паровозоремонтный завод работать инженером. Там недолго был в должности начальника электроцеха и, успев выполнить проект электростанции при заводе, вернулся в Томск. Он возобновил работу в Томском госуниверситете в должности доцента (1928 – 1932 гг.), но основная его научная работа была связана с Сибирским физико-техническим институтом при Томском университете. Там Грдина являлся научным секретарем. Дальнейший научный путь Ю.В. Грдины был связан с образовавшимся в 1930 г. Сибирским институтом

металлов (СИМ) под руководством профессора Н.В. Гутовского (рис. 2). В СИМе он работал с 1930 по 1937 гг. ученым секретарем, заместителем директора по научной работе и техническим директором. В 1935 г. СИМ был переведен в г. Новосибирск, а в 1937 г. был объединен с Сибирским металлургическим институтом в г. Сталинск.

В 1934 г. в Калуге Грдина Ю.В. женился второй раз на Наталье Николаевне Шубиной (1903 г.р.), коллеге по работе (рис. 3) [19]. Этот брак оказался крепким, через год после бракосочетания в семье родился сын Слава. Игорю, сыну Н.Н. Шубиной от первого брака, не запрещали общаться с родным отцом, который проживал в Томске. В гости к семье Грдины из г. Иркутск приезжала бабушка Игоря по линии отца (Антонина Ефимовна) и в зимний период 1934 – 1937 гг. она ездила с внуком в Томск к его родному отцу (отец Игоря трагически погиб в 1937 г.).

Игорь со временем стал обращаться к Ю.В. Грдине «папа», а не «Юра».

В первом браке у Ю.В. Грдины детей не было, во втором браке была еще дочь Ира, которая умерла в двухлетнем возрасте от скарлатины [20].

В октябре 1937 г. был арестован и впоследствии приговорен к высшей мере наказания за вымышленное участие в «контрреволюционной кадетско-монархической организации» заведующий кафедрой прикладной механики Томского индустриального института Николай Петрович Шубин [20].

По мнению членов семьи Ю.В. Грдины он «чудом избежал участи» быть репрессированным. К нему приходили для ареста, но в то время он находился в длительной научной командировке.



Рис. 3. Доцент Н.Н. Шубина, жена Ю.В. Грдины

Fig. 3. Associate Professor N.N. Shubina, wife of Yu.V. Grdina

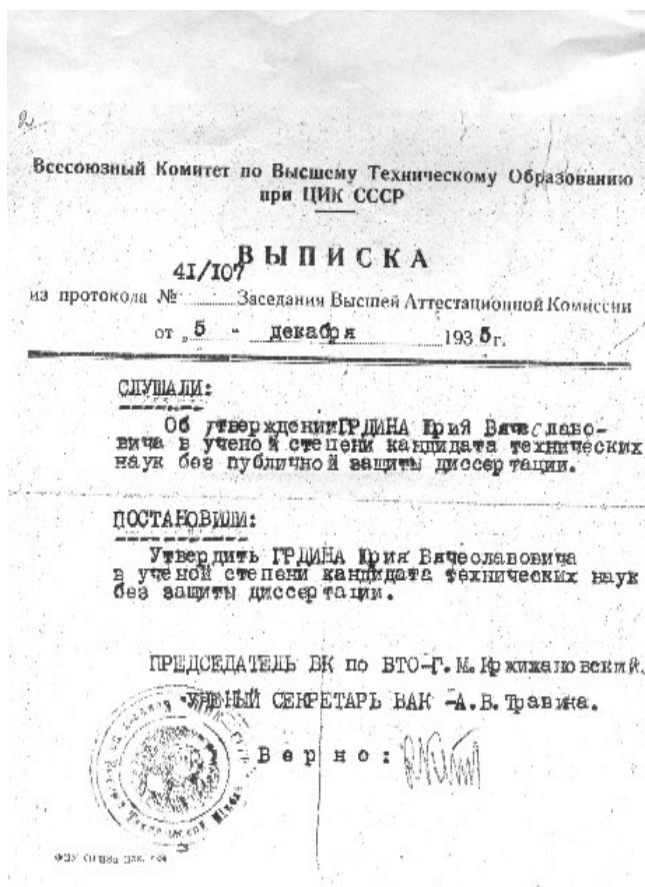


Рис. 4. Выписка о присуждении Ю.В. Грдине ученой степени кандидата технических наук

Fig. 4. Extract on the award of Yu.V. Grdin the degree of Candidate of Technical Sciences

дировке в Ленинграде [19]. По воспоминаниям современников донос на Ю.В. Грдину был сделан одним из новосибирских коллег.

К этому времени Юрий Вячеславович был уже известным ученым, ведь ему была присуждена степень кандидата технических наук без специальной защиты. 5 декабря 1935 г. Высшая аттестационная комиссия (ВАК) утвердила Ю.В. Грдину в ученой степени кандидата технических наук без публичной защиты диссертации (рис. 4). Это связано со значительными научно-практическими достижениями ученого. До переезда в г. Сталинск основными направлениями научной деятельности Грдины были следующие: рекристаллизация железа и стали, проблемы электросварочных соединений, а также рельсовая тематика [22 – 26].

Этап перехода Юрия Вячеславовича из Сибирского института металлов (г. Новосибирск) в состав СМИ им. Серго Орджоникидзе носил длительный, закономерный характер. В 1936 г. начался его постепенный переход [27, 28]. Зная о предстоящем объединении металлургического вуза Сталинска и научно-исследовательского института Новосибирска, Ю.В. Грдина возглавил в СМИ кафедру термической обработки,

будучи еще техническим директором СИМ г. Новосибирска. На основании приказа по наркомату тяжелой промышленности 28 августа 1937 г. произошло вхождение Сибирского научно-исследовательского института металлов г. Новосибирск в состав СМИ им. Серго Орджоникидзе (рис. 5).

В предвоенные годы именно в Сталинске Ю.В. Грдина успешно сочетал научно-исследовательскую работу с консультированием на Кузнецком металлургическом комбинате (КМК) и других предприятиях. Коллега Ю.В. Грдины И. Матюшин пишет: «Большое значение имеет испытание железнодорожных рельсов ... С этой целью профессором Ю.В. Грдиной и доцентом А.Н. Пантелеевым сооружены крупные испытательные машины, которые дадут объективные показатели качества рельсов и осей, – важнейших элементов железнодорожного транспорта» [29]. Грдина действительно запустил и произвел исследования на машине для испытания концов рельсов на усталость [30]. Эта работа непосредственно была связана с рельсовой тематикой исследователя [31, 32], которая была близка к получению научного результата в виде диссертационного исследования



Рис. 5. Сибирский металлургический институт им. Серго Орджоникидзе  
Fig. 5. Siberian Metallurgical Institute named after Sergo Ordzhonikidze

на соискание степени доктора технических наук к 1940 г. Несмотря на глубокое изучение теории сплавов в г. Сталинск [33] научная деятельность Юрия Вячеславовича была направлена на решение конкретных вопросов, связанных с производством на КМК (например, продольные трещины на рельсах и т.п.) [32, 34, 35].

В годы Великой Отечественной войны ученые СМИ совместно с кузнецкими металлургами разработали и освоили технологию выплавки броневых металлов в имеющихся мартеновских печах и прокат не на специальном прокатном стане, а на обычном рельсобалочном. Всего за месяц и четыре дня был введен в эксплуатацию новый термический цех КМК, оборудованный современной техникой. Грдина неоднократно обращался в военкомат в качестве добровольца, но ему отказывали в этих просьбах. Причина отказа ясна: в архиве Кузнецкого металлургического комбината (ныне АО «ЕВРАЗ ЗСМК») хранятся документы с грифом «совершенно секретно» о разработанной высокопрочной броневой стали [36].

Защита диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Тепловая обработка как метод улучшения рельсов» состоялась 29 июля 1942 г. 13 марта 1943 г. ВАК присудил Ю.В. Грдине ученую степень доктора технических наук. Решением ВАК от 2 октября 1943 г., протокол № 21, Грдина утвержден в ученом звании профессора по кафедре «Термическая обработка». Имеющиеся сообщения о защите докторской диссертации в 1944 – 1946 гг. связаны с тем, что диплом доктора наук ДТ № 003145 выписан Высшей аттестационной комиссией

4 марта 1946 г. Аттестат профессора № 002958 выписан ВАК 2 марта 1946 г.

«Мирный» этап работы ученого в СМИ посвящен работе по улучшению качества транспортного металла, которому Ю.В. Грдина отдал более трех десятилетий своей жизни. По вопросам металлургии и физики металлов им были выдвинуты и экспериментально подтверждены принципиально новые положения по теории вторичной кристаллизации, теории образования эвтектик, дислокационной теории флокенообразования. С его участием разработана противфлокеновая технология обработки рельсов.

Грдина оказался способным организатором. Он был задействован в работе Кемеровского совнархоза, Научно-технического совета министерства высшего и среднего образования СССР, Совета Госплана СССР по координации научно-исследовательских работ в металлургии, а также был заместителем председателя рельсового комитета Академии наук СССР.

В Сибирском металлургическом институте Ю.В. Грдина был заведующим кафедрой металлургии и термической обработки металлов с 1937 г., а также заместителем директора по учебной и научной работе вуза в 1947 – 1958 гг. (рис. 6 – 8) [18].

Юрий Вячеславович был научным руководителем крупнейшей в стране проблемной лаборатории металлургии и физики металлов Сибирского металлургического института им. Серго Орджоникидзе с 1957 г., а с 1958 г. стал первым заведующим созданной им кафедры физики металлов. Есть мнение, что проблемная лаборатория Ю.В. Грдины «... осуществляла функцию



Рис. 6. Профессор Ю.В. Грдина с группой выпускников, 1944 г.  
Fig. 6. Professor Y.V. Grdina with a group of graduates, 1944

аккумулятора научных усилий практически всего Сибирского металлургического института» [37].

С 1958 г. Ю.В. Грдина – редактор журнала «Известия вузов. Черная металлургия», в котором курирует направление металловедения и термической обработки. Грдина был научным руководителем не одного десятка диссертаций, под его руководством защитили диссертации: О.В. Гордин «Модифицирование рельсовой стали», А.В. Котов «Исследование влияния некото-

рых факторов на образование дефектов контактной установки в рельсах», В.В. Неверов «О схватывании твердых тел (атомный механизм)», Г.М. Тов «Электронно-микроскопическое исследование состава неметаллических включений рельсовой стали и установление их связей с усталостной прочностью» и др.

В 1959 г. состоялась последняя встреча профессора Ю.В. Грдины и академика И.П. Бардина (рис. 9).



Рис. 7. Ноябрь 1948 г. Нижний ряд, слева направо: секретарь И.П.Бардина, доцент кафедры металловедения В.Ф. Зубарев, заместитель директора СМИ Ю.В. Грдина, директор СМИ Д.Г. Горшенин, академик И.П. Бардин, директор КМК Р.В. Белан, заведующий кафедрой металлургии чугуна П.Г. Рубин

Fig.7. November 1948, Bottom row, from left to right: Secretary I.P.Bardin, Associate Professor of the Department of Metallurgy V.F. Zubarev, Deputy Director of the Media Y.V. Grdina, Director of the media D.G. Gorshenin, academician I.P. Bardin, Director of the CMC R.V. Belan, Head of the Department of Metallurgy of Cast Iron P.G. Rubin



Рис. 8. Доктор технических наук Ю.В. Грдина и профессор В.Ф. Зубарев обсуждают проблемы по закалке рельсов, 1952 г.  
Fig. 8. Doctor of Technical Sciences Yu.V. Grdina and Professor V.F. Zubarev discuss problems of rail hardening, 1952

Грдина Ю.В. готовил и совершенствовал учебные курсы: специальные стали, физика металлов, химико-термическая обработка, металлосведение и термическая обработка и т.д. Грдина стремился дать качественную практику студентам, что в дальнейшем положительно сказывалось на их профессиональной деятельности [38].

Обратимся к семье, быту, общественной и личной жизни Ю.В. Грдины. Во Всесоюзную коммунистическую партию (большевиков) (ВКП (б)) Ю.В. Грдина был принят в 1943 г. – в год решительного перелома в Великой Отечественной войне 1941 – 1945 гг. Он ответственно

относился к партийным поручениям, был примером для окружающих. В 1961 г. Юрий Вячеславович стал делегатом XXII съезда КПСС. Общественная работа Ю.В. Грдины – депутат Новокузнецкого городского и Кемеровского областного советов. Из серьезных увлечений Грдины следует отметить музыку, живопись, литературное творчество, шахматы (рис. 10). В каждом из этих направлений Юрий Вячеславович достиг определенного результата, он был разносторонней личностью. В вечном споре «физиков» и «лириков» он был «лирическим фи-



Рис. 9. Грдина Ю.В. и Бардин И.П., последнее общение в СМИ, 1959 г.  
Fig. 9. Grdina Yu.V. and Bardin I.P., the last communication in the media, 1959



Рис. 10. Сотрудники СИМа Ю.В. Грдина и Э.Х. Шамовский «играют» в шахматы одинаковым цветом фигур, 1930-е гг.  
 Fig. 10. SIMA employees Yu.V. Grdina and E.H. Shamovsky "play" chess with the same color of the pieces, 1930

зиком». Особенно следует отметить литературное творчество ученого, например, научно-фантастическую повесть «Блистающий мир» [6]. Повесть выводит его в число значимых писателей Кузбасса (рис. 11). Ряд художественных картин Ю.В. Грдины находятся в музеях и крупных образовательных центрах Сибири. Музыкальная игра Юрия Вячеславовича завораживала слушателей.

Интересно мнение человека, который непосредственно обучался у Ю.В. Грдины: «Как и всякий сильный человек, он был противоречив, но всегда был снисходителен к товарищам по работе» [39]. Со слов профессора Л.Б. Зуева «его знали все – студенты, преподаватели, ученые, инженеры, руководители заводов ... но вряд ли кто-нибудь из них был допущен в его внутренний мир, включая, думаю, и ближайших родственников» [39]. Такое мнение Л.Б. Зуева связано с тем, что он общался с Грдиной в качестве студента, аспиранта и начинающего преподавателя. Мнение это достаточно объективно, оно подтверждается воспоминаниями В.И. Люленкова («Ю.В. Грдина о своих корнях, семье не рассказывал»). Можно отметить следующую особенность: в нем поражала скромность, несмотря на всевозможные звания, регалии и награды [19].

Грдина Ю.В. физически был очень сильным человеком, поддерживал форму при помощи зарядки по системе Мюллера, включавшую восемь основных упражнений, самомассаж и упражнения для мышц шеи. Интересно отметить, какое впечатление Ю.В. Грдина производил на окружающих его студентов и коллег. Зуев Л.Б. пишет: «Встречая его в коридорах института, мы видели высокого грузного мужчину

в сером костюме. Особое впечатление производило то, что он был стрижен под машинку. Выражение лица профессора было обычно сумрачным, но доброжелательным» (рис. 12) [37].

Он много курил [40]. Люленков В.И. отмечает следующую черту характера Грдины: «Ему

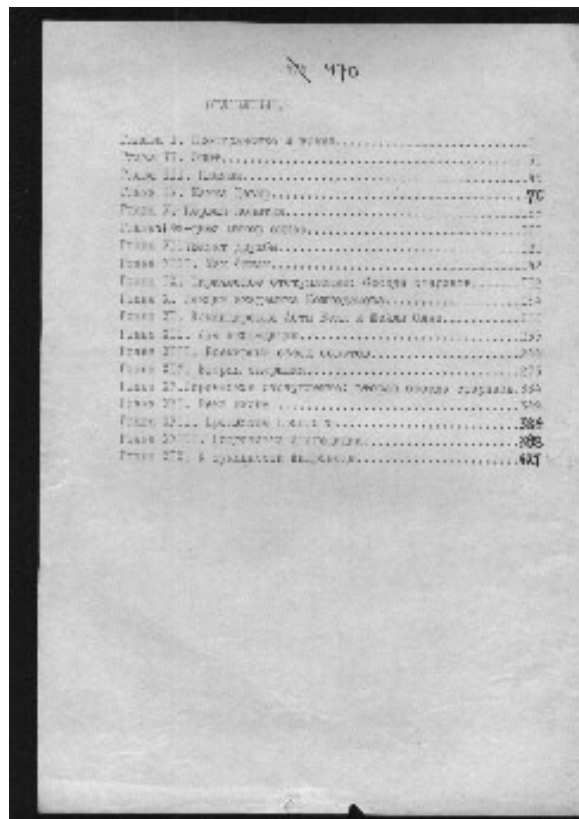


Рис. 11. Оглавление рукописи повести «Блистающий мир» Ю.В. Грдины

Fig. 11. Table of contents of the manuscript of the novel "The Shining World" by Yu.V. Grdina

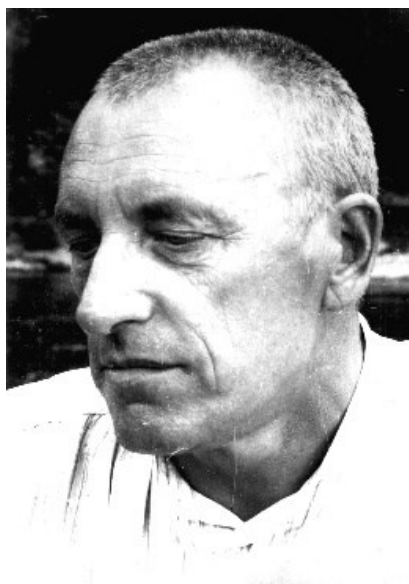


Рис. 12. Юрий Вячеславович Грдина, 1957 г.  
Fig. 12. Yuri Vyacheslavovich Grdina, 1957

трудно было сходитьсь, особенно с новыми людьми, но если он сходилсь, это была привязанность очень сильная... Я увидел человека, у которого большая голова, длинная такая, белые глаза, почти бесцветные...» (рис. 13) [7].

Его выдающиеся физические параметры, всегда короткая стрижка, специфические черты и выражение лица, телогрейка в качестве верхней одежды – все это приводило к тому, что в таежных путешествиях и даже в простых поездках на отдых (на машине «Победа») представители правоохранительных органов проверяли у него документы в ходе проведения профилактико-оперативных мероприятий (рис. 14) [19]. Однажды в силу сложившихся обстоятельств он был задержан в тайге в ходе операции по поимке беглеца из исправительно-трудового учреждения и был арестован для выяснения личности [41]. В Кузбассе иначе было нельзя – масса колоний, из которых совершались побеги.

Рассказ В.М. Финкеля «Сибиряк» в опосредованной форме содержит субъективную характеристику Ю.В. Грдины и его окружения через образ «Георгия Владимировича» [42]. Перед нами предстает образ сильного человека и ученого, но с некоторыми, свойственными каждому человеку особенностями проявления личности и своими «слабостями».

Переезд всей семьи Юрия Вячеславовича в г. Сталинск произошел в конце 1937 г. В г. Новосибирск у семьи была трехкомнатная относительно небольшая квартира на третьем этаже, в г. Сталинск на улице Орлиной (Верхняя колония) семье Грдины была предоставлена половина двухэтажного коттеджа, включавшая семь комнат и веранду. В этом доме семья проживала

в военное и послевоенное время. В военные годы они сажали картошку, держали корову. Новый год был главным семейным праздником для детей. Грдина ставил елку и водил детский хор, переодевшись в настоящего Деда Мороза. В доме зажигали бенгальские огни и Юрий Вячеславович пел и играл на музыкальном инструменте. Он рассказывал придуманные им сказки детям.

Позднее семья проживала на ул. Воровского, дом 7, квартира располагалась в последнем подъезде на четвертом этаже. У них была домработница Клава. В 1950 г. семья переехала в квартиру по адресу пр. Metallургов, 20. Дом № 25 на пр. Metallургов изначально имел № 20 [43]. Грдина проживал в восьмом подъезде, а в апреле 1953 г. переехал в квартиру пятого подъезда, в которой ранее жил директор КМК Р.В. Белан. Можно отметить следующую особенность жилья Ю.В. Грдины: «... в его доме картины, написанные маслом, были везде. Стоял мольберт и лежали краски» [44]. Одно из хобби Ю.В. Грдины – фотография, с конца 1950-х гг. он стал использовать цветную пленку отечественного производства. Одна из родственниц писала: «Удивительно, но в квартире я обнаружила все модели фотоаппаратов, начиная с момента их появления и до современных аппаратов», «В семье был культ шахмат. Хранились тетради с записями шахматных партий...» [21]. За шахматной литературой друзья и знакомые обращались к Ю.В. Грдине.



Рис. 13. Портрет профессора СМИ Юрия Вячеславовича Грдины  
Fig. 13. Portrait of Professor of Mass Media Yuri Vyacheslavovich Grdina



Рис. 14. Доцент Ю.В. Грдина на отдыхе 17 мая 1931 г.  
Fig. 14. Associate Professor Yu.V. Grdina on vacation on  
May 17, 1931

Юрий Вячеславович был увлечен активными формами отдыха, в том числе туризмом (рис. 15). Шубин И.Н. очень точно подметил, что «Юрий Вячеславович постоянно «болел» тайгой» [19]. После «полярной экспедиции» он мог позволить себе брать на отдых всю семью, плывя на лодке с шестами. Грдина любил путешествовать. Путешествия планировались на летний период. В мае 1945 г. страна выстрадала Победу. Большой ученый теперь, после войны позволил себе расслабиться: в августе 1945 г. вместе с семьей (жена, двое детей) на лодке на шестах по р. Мрассу пошли до «Лесного острова». В течение нескольких дней они прошли до 150 км, Игорь «на носу лодки, мама в середине, Ю.В. на корме, брат на вещах также в середине, поднимались ... до Хомутовских порогов» [19]. Несколько других его путешествий: Кузнецк – Томск (1929 г.), р. Мана (1930 г.), Крым (1933 г.), оз. Иссык-Куль, Тянь-Шань (1937 г.), Казыр (1940 г.), р. Томь, р. Терсь (1947–49 гг.), Сухуми (1951 г.), р. Мрассу, Лесной остров (1960–1965 гг.).

Умение активно отдыхать (рис. 16) позволяло Ю.В. Грдине полноценно отдаваться работе, достигать высоких результатов, которые были выше отмечены. В Сибирском металлургическом институте (г. Новокузнецк) Ю.В. Грдина стал доктором технических наук, заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, лауреатом Государственной премии СССР и имел множество других званий и наград. Их было действительно много, вот некоторые из них: орден Трудового Красного Знамени (1945 г., 1953 г.), орден «Знак Почета» (1945 г.), орден Ленина (1961 г.); имел звание «Заслуженный деятель науки и тех-

ники РСФСР» (1961 г.); получил Первую премию за работу «Термическая обработка 25-метровых железнодорожных рельсов» (1966 г.); Государственную премию СССР (1967 г.).

Трудно не согласиться с мнением авторов [38], что «Ю.В. Грдина всей своей деятельностью демонстрировал, как должны осуществляться связи между фундаментальной и прикладной наукой. Он, безусловно, был самым крупным среди ученых Сибирского металлургического института». Профессор Л.Б. Зуев предполагает, что «Ю.В. Грдина разрабатывал проект организации филиала Академии наук СССР в Новокузнецке» [37]. О работе Юрия Вячеславовича над проектом есть упоминание в других источниках. Наряду с городами Томск и Новосибирск в качестве академического центра рассматривался и город Новокузнецк (Сталинск). Точно можно отметить, что Ю.В. Грдина являлся организатором и первым директором химико-металлургического института Западно-Сибирского филиала АН СССР в 1944 г. в период с 8 февраля по 1 апреля [45]. Непосредственное общение с иностранными специалистами осуществлялось в ходе международных командировок в Германскую демократическую республику (1957 г.) и в Великобританию (1963 г.) (рис. 17) [27].

Прорывным для Грдины стал проект по термической обработке рельсов, реализованный в рамках рельсопрокатного цеха «Азовсталь». В 1960 г. Совет Министров СССР распространил этот опыт по строительству цехов полной термической обработки на другие аналогичные предприятия. Научная общественность и производственники поддержали инициативу СМИ по выдвижению кандидатуры Ю.В. Грдины в действительные члены Академии наук СССР. 3 ноября 1967 г. постановлением ЦК КПСС и Совета



Рис. 15. Грдина Ю.В., 24 июня 1931 г.  
Fig. 15. Grdina Yu.V., June 24, 1931





Рис. 16. Грдина Ю.В. в лодке, сделанной по собственным чертежам  
 Fig. 16. Grdina Yu.V. in a boat made according to his own drawings

Министров СССР профессору Юрию Вячеславовичу Грдине присудили Государственную премию СССР за разработку технологии, создание оборудования и внедрение в производство термической обработки железнодорожных рельсов [46].

Известие о присуждении Государственной премии, опубликованное в прессе 6 ноября 1967 г. [47], застало Ю.В. Грдину безнадежно больным. Еще в июле 1967 г. Ю.В. Грдина рыбачил на р. Мрассу [48], а 13 ноября того же года он умер. Болезнь развивалась очень стремительно и его смерть стала

настоящим шоком для коллектива СМИ, новокузнецчан, металлургов страны. По прошествии лет становится не только очевидным, но и бесспорным, что Ю.В. Грдина был не только «стальным сердцем» сибирского вуза индустриального города, но и ученым мирового уровня.

Имя Грдины, говоря современным языком, стало культурным «брендом» Новокузнецка и Кузбасса. В его честь назван мыс Грдины на Обской губе. В 1968 г. в Центральном районе г. Новокузнецк в честь него была названа улица. Улица Грдины стройна, красива и любима ее жителями, украшением которой является аллея, устремленная в своем направлении к берегу Томи. В честь профессора Юрия Вячеславовича Грдины были установлены мемориальные доски: первая – в 2011 г. (в честь 110-летия со дня рождения) на фасаде главного корпуса СибГИУ, вторая – в июле 2013 г. на фасаде дома по пр. Металлургов, 25 (рис. 18). Сотрудники и студенты СибГИУ и новокузнецчане бережно хранят память о выдающемся ученом мирового уровня и легендарном профессоре Юрии Вячеславовиче Грдине.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов В.С., Угрюмов В.Е. Специфика подготовки инженеров-металлургов в университетах Англии: взгляд профессора Ю.В. Грдины (1963 г.). В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ. 2015. С. 3–6.



Рис. 17. Грдина Ю.В. среди инженеров-физиков во время поездки в Англию, июль 1963 г.  
 Fig. 17. Grdina Yu.V. among physics engineers during a trip to England, July 1963



Рис. 18. Мемориальная доска в честь Ю.В. Грдины на фасаде дома по пр. Metallurgov, 25

Fig. 18. Memorial plaque in honor of Yu.V. Grdina on the facade of the house on ave. Metallurgists, 25

2. Михно А.Р. Отец кузнецких рельсов. В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ. 2020. С. 239–243.
3. Стрепан М.В. Профессор Юрий Вячеславович Грдина – этапы жизни и творчества // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2011. № 28. С. 8–14.
4. Угрюмов В.Е. Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. 433 с.
5. Покровская О.Д. Юрий Вячеславович Грдина – король русских рельсов // Техник транспорта: образование и практика. 2020. Т. 1. № 1-2. С. 118–126.
6. Угрюмов В.Е. Блестящий мир. В кн.: Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 149–451.
7. Люленков В.И. Мы – представители земного шара. Воспоминания о Ю.В. Грдине. [Электронный ресурс]. URL: <https://kuzrab.ru/publics/vladimir-ivanovich-lyulenkov-my-predstaviteli-zemnogo-shara/> (дата обращения 10.04.2021 г.).
8. Лозинский Ю.М. Старейший технический факультет Сибири: история создания и развития. Посвящ. 100-летию Машиностроит. фак. Том. политехн. ун-та (Том. технол. ин-та). Томск: Изд-во науч.-техн. лит., 2000. 426 с.
9. Грдина (Панковец) Милослава Ивановна. [Электронный ресурс]. URL: [https://forum.vgd.ru/1494/108367/0.htm?a=stdforum\\_view&o](https://forum.vgd.ru/1494/108367/0.htm?a=stdforum_view&o) (дата обращения 14.07.2021 г.).
10. Угрюмов В.Е. Сведения о родственниках семьи Ю.В. Грдины (составлено Ю.В. Грдиной в письме к сыну Вячеславу для личного дела). В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 83–86.
11. Ситникова Д.Л. Общество сибирских инженеров в начале XX в. // Гуманитарный вестник. 2014. № 9. [Электронный ресурс]. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/hum/histarch/213.html> (дата обращения 05.06.2021 г.).
12. Лозинский Ю.М. Вацлав Грдина – сибирский австриец чешского происхождения // Томский политехник. 1998. № 4. С. 116–119.
13. Вейнберг Б.П. Из воспоминаний Дмитрия Ивановича Менделеева, как лектора. Томск: Типография губернского управления. 1910. 45 с.
14. Шубина Н.Н. Краткий очерк научной, педагогической и общественной деятельности. В кн.: Юрий Вячеславович Грдина: библиографический указатель. Новокузнецк: изд. Сибирского государственного индустриального университета. 1997. С. 11–13.
15. Вейнберг Б.П., Вейнберг К.Б. Картографическое описание работы Обско-Газовской экспедиции Института исследования Сибири // Известия института исследования Сибири. 1921. № 5. С. 9–16.
16. Расколец В.В., Сорокин А.Н. Деятельность Географического отдела института исследования Сибири и его вклад в развитие геодезии, геофизики и гидрологии сибирского края (июль 1919 г. – июнь 1920 г.) // Вестник Томского государственного университета. 2017. № 425. С. 147–154.
17. Уширенко Я.Д. Я жил в эпоху Грдины. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 57–59.
18. Угрюмов В.Е. Биография. Старейший технический факультет Сибири. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 12–18.
19. Шубин И.Н. Родное и близкое. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 21–25.
20. Шубин Николай Петрович. Электронная энциклопедия ТПУ. [Электронный ресурс]. URL: <http://tpu.ru> (дата обращения: 22.07.2021 г.).

21. Панова Н.И. Путешествие из Москвы в Новокузнецк. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 74–78.
22. Добровидов А.Н., Грдина Ю.В. Рекристаллизация железа // Известия сибирского технологического института. 1927. Т. 47. № 1-6. С. 34–46.
23. Добровидов А.Н., Грдина Ю.В. Рекристаллизация деформированного в горячем состоянии железа // Известия сибирского технологического института. 1928. Т. 48. № 1-5. С. 8–13.
24. Грдина Ю.В. Современное состояние теории расчета электросварочных соединений // Известия сибирского института металлов. 1934. Т. 1. № 3. С. 1–4.
25. Грдина Ю.В., Добровидов А.Н., Скобеников С.Т. Рекристаллизация аномальной стали // Вестник металлопромышленности. 1932. № 2. С. 67–71.
26. Грдина Ю.В., Грдина П.С., Шамовский Э.Х. Приварка подкладок рельс // Известия сибирского технологического института. 1931. Т. 1. № 1. С. 13–22.
27. Основные даты жизни и деятельности заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д.т.н., профессора Ю.В. Грдины. В кн.: Юрий Вячеславович Грдина: библиографический указатель. Новокузнецк: изд. Сибирского государственного индустриального университета. 1997. С. 5–7.
28. Вершинина Л.В. Штрихи к биографии профессора Грдины Ю.В. В кн.: Юрий Вячеславович Грдина: библиографический указатель. Новокузнецк: изд. Сибирского государственного индустриального университета. 1997. С. 9–10.
29. Матюшин И. ВТУЗ металлургов. В кн.: Десять лет города угля и металла. Сборник. Сталинск: Издание юбилейной комиссии по организации празднования 10-летия Кузнецкого металлургического завода имени Сталина и города Сталинска, 1939. С. 225–229.
30. Грдина Ю.В., Говоров А.А. Машина для испытания концов рельсов на усталость // Сталь. 1940. № 5-6. С. 67–69.
31. Грдина Ю.В., Шамовский Э.Х. Приварка подкладок к рельсам. Сталинск: изд. Сибирский металлургический институт. 1938. 18 с.
32. Шубина Н.Н., Грдина Ю.В. Сорбитизация концов рельсов Кузнецкого завода им. товарища Сталина. Сталинск: изд. Сибирского металлургического института. 1938. 32 с.
33. Грдина Ю.В. Кинетическая теория эвтектических сплавов. Сталинск: изд. Сибирского металлургического института, 1938. 100 с.
34. Грдина Ю.В. Волосовины и продольные трещины на рельсах Кузнецкого металлургического завода им. Сталина. В кн.: Свойства и термическая обработка рельсов. Сталинск: изд. Сибирского металлургического института. 1941. С. 328–349.
35. Грдина Ю. В., Груздев Д.С. Нормализация рельсов Кузнецкого металлургического завода им. Сталина. В кн.: Свойства и термическая обработка рельсов. Сталинск: изд. Сибирского металлургического института. 1941. С. 246–269.
36. Корнева Л.В. Шаг в будущее. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 8–12.
37. Зуев Л.Б. Ю.В. Грдина. 1957–1967 гг. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 25–38.
38. Кулагин Н.М. Металлофизики. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 47–49.
39. Зуев Л.Б. Предисловие к воспоминаниям. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 20–21.
40. Реутов В.С. Большой человек и ученый. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 63.
41. Барышев Г.А. О профессоре Ю.В. Грдине. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 59–60.
42. Финкель В.М. Сибиряк. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 88–98.
43. Федоров В.А. С легкой руки Ю.В. Грдины. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 62.
44. Петрова (Мартенс) Е.К. Человек европейского склада. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 68–70.
45. Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИХТТМ СО РАН). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.solid.nsc.ru/institut/history/> (дата обращения: 01.04.2021 г.).
46. Диплом лауреата Государственной премии СССР. В кн.: Ю.В. Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 143–144.

47. О присуждении государственных премий СССР в области науки и техники 1967 г. // Правда. 1967. № 310. С. 7.
48. Будовая (Щербакова) Л.А. Такой необыкновенный человек. В кн.: Грдина – отец русских рельсов. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013. С. 64–65.

#### REFERENCES

- Demidov V.S., Ugryumov V.E. The specifics of the training of metallurgical engineers at universities in England: the view of Professor Yu.V. Grdina (1963). In: *Science and youth: problems, searches, solutions. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, postgraduates and Young Scientists*. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2015, pp. 3–6 (In Russ.).
- Mikhno A.R. The father of the Kuznetsk rails. In: *Science and Youth: problems, searches, solutions. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, postgraduates and Young Scientists*. Novokuznetsk: ITs SibGIU, 2020, pp. 239–243. (In Russ.).
- Strepan M.V. Professor Yuri Vyacheslavovich Grdina - stages of life and creativity. *Vestnik gorno-metallurgicheskoi seksii Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Otdelenie metallurgii*. 2011, no. 28, pp. 8–14. (In Russ.).
- Ugryumov V.E. *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013, 433 с. (In Russ.).
- Pokrovskaya O.D. Yuri Vyacheslavovich Grdina is the king of Russian rails. *Transport technician: education and practice*. 2020, vol. 1, no. 1-2, pp. 118–126. (In Russ.).
- Ugryumov V.E. The shining world. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013, pp. 149–451. (In Russ.).
- Lyulenkov V.I. *We are representatives of the globe. Memories of Yu.V. Grdin*. Available at URL: <https://kuzrab.ru/publics/vladimir-ivanovich-lyulenkov-my-predstaviteli-zemnogo-shara/> (Accessed 10.04.2021). (In Russ.).
- Lozinskii Yu.M. *The oldest technical faculty of Siberia: the history of creation and development. Dedicated to the 100th anniversary of Mechanical Engineering. fac. Tom. Polytechnic. un-ta (vol. technol. in-ta)*. Tomsk: Izd-vo nauch.-tekhn. lit., 2000, 426 p.
- Grdina (Pankovets) Miloslava Ivanovna. Available at URL: [https://forum.vgd.ru/1494/108367/0.htm?a=stdforum\\_view&o](https://forum.vgd.ru/1494/108367/0.htm?a=stdforum_view&o) (Accessed 14.07.2021). (In Russ.).
- Ugryumov V.E. Information about relatives of the family of Yu.V. Grdina (compiled by Yu.V. Grdina in a letter to his son Vyacheslav for personal business). In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. ООО Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 83–86. (In Russ.).
- Sitnikova D.L. Society of Siberian Engineers at the beginning of the XX century. *Gumanitarnyi vestnik*. 2014, no. 9. Available at URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/hum/histarch/213.html> (Accessed 05.06.2021). (In Russ.).
- Lozinskii Yu.M. Vaclav Grdina is a Siberian Austrian of Czech origin. *Tomskii politechnik*. 1998, no. 4, pp. 116–119. (In Russ.).
- Veinberg B.P. From the memoirs of Dmitry Ivanovich Mendeleev, as a lecturer. Tomsk: Tipografiya gubernskogo upravleniya, 1910, 45 p. (In Russ.).
- Shubina N.N. A brief outline of scientific, pedagogical and social activities. In: *Yuri Vyacheslavovich Grdina: bibliographic index*. Novokuznetsk: izd. Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta, 1997, pp. 11–13. (In Russ.).
- Veinberg B.P., Veinberg K.B. Cartographic description of the work of the Ob-TAZ expedition of the Siberian Research Institute. *Izvestiya instituta issledovaniya Sibiri*. 1921, no. 5, pp. 9–16. (In Russ.).
- Raskolets V.V., Sorokin A.N. The activity of the Geographical Department of the Siberian Research Institute and its contribution to the development of geodesy, geophysics and hydrology of the Siberian Region (July 1919 - June 1920). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017, no. 425, pp. 147–154. (In Russ.).
- Ushirenko Ya.D. I lived in the era of Grdina. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013, pp. 57–59. (In Russ.).
- Ugryumov V.E. Biography. The oldest technical faculty in Siberia. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013, pp. 12–18. (In Russ.).
- Shubin I.N. Family and friends. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Кемерово: ООО Печатный двор Кузбасса, 2013, pp. 21–25. (In Russ.).
- Shubin Nikolai Petrovich. *Electronic encyclopedia of TPU*. Available at URL: <http://tpu.ru> (Accessed: 22.07.2021). (In Russ.).
- Panova N.I. Travel from Moscow to Novokuznetsk. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian*

- rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 74–78. (In Russ.).
22. Dobrovidov A.N., Grdina Yu.V. Recrystallization of iron. *Izvestiya sibirskogo tekhnologicheskogo instituta*. 1927, vol. 47, no. 1-6, pp. 34–46. (In Russ.).
  23. Dobrovidov A.N., Grdina Yu.V. Recrystallization of hot-deformed iron. *Izvestiya sibirskogo tekhnologicheskogo instituta*. 1928, vol. 48, no. 1-5, pp. 8–13. (In Russ.).
  24. Grdina Yu.V. The current state of the theory of calculation of electric welding joints. *Izvestiya sibirskogo instituta metallov*. 1934, vol. 1, no. 3, pp. 1–4. (In Russ.).
  25. Grdina Yu.V., Dobrovidov A.N., Skobennikov S.T. Recrystallization of anomalous steel. *Vestnik metallopromyshlennosti*. 1932, no. 2, pp. 67–71. (In Russ.).
  26. Grdina Yu.V., Grdina P.S., Shamovskii E.Kh. Welding of rail linings. *Izvestiya sibirskogo tekhnologicheskogo instituta*. 1931, vol. 1, no. 1, pp. 13–22. (In Russ.).
  27. The main dates of life and activity of the Honored Worker of Science and Technology of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, professor Yu.V. Grdina. In: *Yuri Vyacheslavovich Grdina: bibliographic index*. Novokuznetsk: izd. Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta, 1997, pp. 5–7. (In Russ.).
  28. Vershinina L.V. Touches to the biography of Professor Grdina Yu.V. In: *Yuri Vyacheslavovich Grdina: bibliographic index*. Novokuznetsk: izd. Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta, 1997, pp. 9–10. (In Russ.).
  29. Matyushin I. VTUZ metallurgists. In: *Ten years of the city of coal and metal. Collection. Stalinsk. Izdanie yubileinoi komissii po organizatsii prazdnovaniya 10-letiya Kuznetskogo metallurgicheskogo zavoda imeni Stalina i goroda Stalinska*, 1939, pp. 225–229. (In Russ.).
  30. Grdina Yu.V., Govorov A.A. Fatigue Testing Machine for Rail Ends. *Stal'*. 1940, no. 5-6, pp. 67–69. (In Russ.).
  31. Grdina Yu.V., Shamovskii E.Kh. *Welding of linings to rails*. Stalinsk: izd. Sibirskii metallurgicheskii institut, 1938, 18 p. (In Russ.).
  32. Shubina N.N., Grdina Yu.V. *Sorbitization of the ends of the rails of the Kuznetsk Plant. Comrade Stalin*. Stalinsk: izd. Sibirskii metallurgicheskii institute, 1938, 32 p. (In Russ.).
  33. Grdina Yu.V. Kinetic theory of eutectic alloys. Stalinsk: izd. Sibirskii metallurgicheskii institut, 1938, 100 p. (In Russ.).
  34. Grdina Yu.V. Hairlines and longitudinal cracks on the rails of the Kuznetsk Metallurgical Plant. Stalin. In: *Properties and heat treatment of rails*. Stalinsk: izd. Sibirskii metallurgicheskii institut, 1941, pp. 328–349. (In Russ.).
  35. Grdina Yu. V., Gruzdev D.S. Normalization of rails of the Kuznetsk Metallurgical Plant named after Stalin. In: *Properties and heat treatment of rails. Stalinsk: ed. Siberian Metallurgical Institute*, 1941, pp. 246–269. (In Russ.).
  36. Korneva L.V. Step into the future. In: *Yu.V. Grdina - the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 8–12. (In Russ.).
  37. Zuev L.B. Yu.V. Grdina. 1957-1967 In: *Yu.V. Grdina - the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 25–38. (In Russ.).
  38. Kulagin N.M. Metallophysics. In: *Yu.V. Grdina - the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 47–49. (In Russ.).
  39. Zuev L.B. Preface to memoirs. In: *Yu.V. Grdina - the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 20–21. (In Russ.).
  40. Reutov V.S. A big man and a scientist. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, p. 63. (In Russ.).
  41. Baryshev G.A. About professor Yu.V. Grdin. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 59–60. (In Russ.).
  42. Finkel' V.M. Siberian. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 88–98. (In Russ.).
  43. Fedorov V.A. With a light hand Yu.V. Grdina. In: *Yu.V. Grdina - the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, p. 62. (In Russ.).
  44. Petrova (Martens) E.K. A man of European stock. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 68–70. (In Russ.).
  45. *Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IHTTM SB RAS)*. Available at URL: <https://www.solid.nsc.ru/institut/history/> (Accessed: 01.04.2021). (In Russ.).
  46. Diploma of the USSR State Prize laureate. In: *Yu.V. Grdina is the father of Russian rails*. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 143–144. (In Russ.).
  47. On awarding the USSR State Prizes in the field of science and technology in 1967 *Pravda*. 1967, no. 310, pp. 7. (In Russ.).
  48. Budovaya (Shcherbakova) L.A. Such an extraordinary man. In: *Yu.V. Grdina is the father*

of Russian rails. Kemerovo: OOO Pechatnyi dvor Kuzbassa, 2013, pp. 64–65. (In Russ.).

#### **Сведения об авторах**

*Тресвятский Лев Алексеевич*, доктор культурологии, доцент, профессор кафедры педагогического образования, Сибирский государственный индустриальный университет

**ORCID:**

**E-mail:** [lev-35@mail.ru](mailto:lev-35@mail.ru)

#### **Information about the authors**

*Lev A. Tresvyatskii*, Doctor of Cultural Studies, Associate Professor, Professor of the Department of Pedagogical Education, Siberian State Industrial University

**ORCID:**

**E-mail:** [lev-35@mail.ru](mailto:lev-35@mail.ru)

© 2021 г. Л.А. Тресвятский  
Поступила в редакцию 30.08.2021 г.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Сибирского государственного индустриального университета» публикуются оригинальные, ранее не публиковавшиеся статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера по следующим направлениям:

- металлургия и материаловедение;
- горное дело и геотехнологии;
- машиностроение и транспорт;
- энергетика и электротехнологии;
- химия и химические технологии;
- архитектура и строительство;
- автоматизация и информационные технологии;
- экология и рациональное природопользование;
- экономика и управление;
- образование и педагогика;
- социально-гуманитарные науки;
- отклики, рецензии, биографии.

К рукописи следует приложить рекомендацию соответствующей кафедры высшего учебного заведения, экспертное заключение, разрешение ректора или проректора высшего учебного заведения (для неучебного предприятия – руководителя или его заместителя) на опубликование результатов работ, выполненных в данном вузе (предприятии).

В редакцию следует направлять материалы статьи в электронном виде и два экземпляра текста статьи на бумажном носителе. Для ускорения процесса рецензирования статей электронный вариант статьи и скан-копии сопроводительных документов рекомендуется направлять по электронной почте по адресу e-mail: [vestnicsibgiu@sibsiu.ru](mailto:vestnicsibgiu@sibsiu.ru).

Таблицы, библиографический список и подрисуночный текст следует представлять на отдельных страницах. В рукописи необходимо сделать ссылки на таблицы, рисунки и литературные источники, приведенные в статье.

Иллюстрации нужно представлять отдельно от текста на носителе информации. Пояснительные надписи в иллюстрациях должны быть выполнены шрифтом Times New Roman Italic (греческие буквы – шрифтом Symbol Regular) размером 9. Тоновые изображения, размер которых не должен превышать 75x75 мм (фотографии и другие изображения, содержащие оттенки черного цвета), следует направлять в виде растровых графических файлов (форматов \*.bmp, \*.jpg, \*.gif, \*.tif) в цветовой шкале «оттенки серого» с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм). Штриховые рисунки (графики, блок-схемы и т.д.) следует представлять в «черно-белой» шкале с разрешением не менее 600 dpi. На графиках не нужно наносить линии сетки, а экспериментальные или расчетные точки (маркеры) без крайней необходимости не «заливать» черным. Штриховые рисунки, созданные при помощи пространственных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (\*.xls, \*.vsd и др.).

Шрифтовое оформление физических величин: латинские буквы в светлом курсивном начертании,

русские и греческие – в светлом прямом. Числа и единицы измерения – в светлом прямом начертании. Особое внимание следует обратить на правильное изображение индексов и показателей степеней. Формулы набираются с помощью редакторов формул Equatn или Math Type, масштаб формул должен быть 100 %. Масштаб устанавливается в диалоговом окне «Формат объекта». В редакторе формул для латинских и греческих букв использовать стиль «Математический» («Math»), для русских – стиль «Текст» («Text»). Размер задается стилем «Обычный» («Full»), для степеней и индексов – «Крупный индекс / Мелкий индекс» («Subscript / Sub-Subscript»). Недопустимо использовать стиль «Другой» («Other»).

Необходимо избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи. Объем статьи не должен превышать 18 – 20 страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором (при наличии нескольких авторов, число которых не должно превышать пяти, – всеми авторами); в конце рукописи указывают полное название высшего учебного заведения (предприятия) и кафедры, дату отправки рукописи, а также полные сведения о каждом авторе (Ф.И.О., место работы, должность, ученая степень, звание, служебный и домашний адреса с почтовыми индексами, телефон и e-mail). Необходимо указать, с кем вести переписку.

Цитируемую в статье литературу следует давать общим списком в порядке упоминания в статье с обозначением ссылки в тексте порядковой цифрой. Перечень литературных источников рекомендуется не менее 10.

Библиографический список оформляют в соответствии с ГОСТ 7.0.100 – 2018: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название журнала, название статьи, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборников – фамилии и инициалы авторов, название сборника, название статьи, место издания, издательство, год издания, кому принадлежит, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, в библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

К статье должны быть приложены аннотация объемом до 250 слов, ключевые слова.

В конце статьи необходимо привести на английском языке: название статьи, Ф.И.О. авторов, место их работы, аннотацию и ключевые слова.

Краткие сообщения должны иметь самостоятельное научное значение и характеризоваться новизной и оригинальностью. Они предназначены для публикации в основном аспирантских работ. Объем кратких сообщений не должен превышать двух страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, включая таблицы и библиографический список. Под заголовком в скобках следует указать, что это краткое сообщение. Допускается включение в краткое сообщение одного несложного рисунка, в этом случае текст должен быть уменьшен. Приводить в одном сообщении одновременно таблицу и рисунок не рекомендуется.

Количество авторов в кратком сообщении должно быть не более трех. Требования к оформле-

нию рукописей и необходимой документации те же, что к оформлению статей.

Корректуры статей авторам, как правило, не посылают.

В случае возвращения статьи автору для исправления (или при сокращении) датой представления считается день получения окончательного текста.

Статьи, поступающие в редакцию, проходят гласную рецензию.

Статьи журнала индексируются в РИНЦ и представлены на сайте СибГИУ ([www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)) в разделе Наука и инновации (Периодические научные издания (Журнал «Вестник СибГИУ»)).



На д н о м е р о м р а б о т а л и

*Козырев Н.А.*, главный редактор

*Запольская Е.М.*, ответственный секретарь

*Бащенко Л.П.*, ведущий редактор

*Киселева Н.Н.*, ведущий редактор

*Темлянцева Е.Н.*, верстка

*Олендаренко Е.В.*, менеджер по работе с клиентами