

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 1 (27), 2019

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

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

Редакционная коллегия

М.В. Темлянец
(главный редактор)
А.В. Новичихин
(отв. секретарь)
П.П. Баранов
Е.П. Волынкина
Г.В. Галевский
В.Ф. Горюшкин
В.Е. Громов
Л.Т. Дворников
Жан-Мари Дрезет
Стефан Золотарефф
Пенг Као
С.В. Коновалов
С.М. Кулаков
А.Г. Никитин
Е.Г. Оршанская
Т.В. Петрова
Е.В. Протопопов
В.И. Пантелеев
Арвинд Сингх
А.Ю. Столбоушкин
И.А. Султангузин
А.В. Феоктистов
В.Н. Фрянов
В.П. Цымбал
Си Чжан Чен

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Jayalakshmi S., Arvind Singh R., Konovalov S., Xizhang Chen, Gupta M. Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Sn Alloys Synthesized by Disintegrated Melt Deposition Technique.....3
Полевой Е.В., Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Кушев Д.Ю., Юнусов А.М. Исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали....8
Савельев А.Н., Козлов С.В., Булатов И.А., Прохоренко О.Д. Влияние соотношения масс подвижных балок и металла на величину волновых процессов в многодвигательном гидроприводе холодильников МНЛЗ.....13
Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Патрушев А.О., Козырев Н.А., Усольцев А.А. Зависимость удельного электрического сопротивления рельсовых сталей от температуры.....19
Стерлигов В.В., Мигель Д.О., Мигель Р.О. Учет экологических факторов при организации работы ТЭЦ.....22

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

- Ларин М.К., Бирик М.А., Елкина Д.И. Анализ способов интенсификации газовой выделености из угольных пластов27
Волченко Г.Н., Инжуватов А.Н., Кочетов А.Г., Фрянов В.Н., Челпанов О.В. Техника и технология торкретирования кислотоупорным составом при ремонте промышленных сооружений с агрессивной средой31

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

- Шугаев О.В. Обоснование экономических аспектов развития безрельсового механического общественного транспорта с электрическим приводом при использовании твердополимерных топливных элементов.....36

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Джайлоев Дж.Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Якубов У.Ш. Анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe, легированного стронцием в среде электролита NaCl.....42

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Осипов Ю.К., Матехина О.В. Стекло в строительстве и архитектуре.....47
Алешин Д.Н., Алешина Е.А., Башенко Н.Н., Попова Е.И. Анализ ошибок, допущенных при возведении кирпичного дома хозяйственным способом.....51

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИКА

Петрова В.А. Организация занятий по инженерной графике с использованием методов интерактивного обучения.....	54
Домрачев А.Н., Риб С.В. Опыт применения обучающе-тестирующей программы по дисциплине «Технология обработки пологих пластов»	62

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

Леониду Трофимовичу Дворникову – 85.....	65
Рефераты	68
К сведению авторов	74

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

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-52991 от 01.03.2013 г.

Адрес редакции:
654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 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

Адрес издателя:
654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 336 Г
тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:
654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет
каб. 280 Г
тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:
Объединенный каталог «Пресса России» – 41270

Подписано в печать
26.03.2019 г.
Выход в свет
26.03.2019 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.
Бумага писчая.
Печать офсетная.
Усл.печ.л. 4,5.
Уч.-изд.л. 4,9.
Тираж 300 экз.
Заказ № 68.
Цена свободная.

S. Jayalakshmi¹, R. Arvind Singh¹, S. Kononov^{1,2}, Xizhang Chen¹, M. Gupta³

¹School of Mechanical and Electrical Engineering
Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325035, China

²Institute of Rocket and Space Technology
Samara National Research University, Samara 443086, Russia

³Department of Mechanical Engineering, 9 Engineering Drive 1
National University of Singapore, Singapore 117576

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Mg – Sn ALLOYS SYNTHESIZED BY DISINTEGRATED MELT DEPOSITION TECHNIQUE

1 Introduction

Magnesium (Mg) and its alloys are suitable for aerospace and automotive applications, due to their low density and high specific strength. Mg – Al – Zn alloys and Mg – Al – Mn alloys are the widely used commercial alloys as they possess nominal strength and ductility at ambient temperature (27 °C) [1]. However, owing to the presence of the Mg₁₇Al₁₂ phase that is thermally unstable at temperatures > 120 °C, these alloys have relatively poor microstructural stability and low strength-retention characteristics at elevated temperatures [2, 3]. For high temperature applications, such as in power-train components of automobiles, magnesium alloys are expected to exhibit both microstructural stability and mechanical stability (i.e. retention of strength) at elevated temperatures [2]. Although alloys such as those containing zirconium, and those incorporated with rare earth metals are being used/developed for enhanced thermal stability, these elements are expensive and hence are suitable only for critical applications.

In the context of the need of magnesium based materials with good high temperature properties, Mg-alloys with Sn addition are being developed, as addition of tin forms Mg₂Sn phase which has better thermal stability than Mg₁₇Al₁₂ phase. From the binary phase diagram, the only secondary phase that is formed in the Mg-Sn system is the Mg₂Sn phase [4]. The Mg₂Sn phase has higher melting point (~770 °C) [4] when compared to the Mg₁₇Al₁₂ phase (420 °C) [2], and is therefore expected to exhibit a higher degree of thermal stability. In the current investigation, binary Mg – Sn alloys with Sn = 5, 10 and 15 (wt. %) were developed considering the high solid solubility (~14.5 wt. %) of tin in magnesium at the eutectic temperature (561 °C) [4, 5]. The binary Mg – Sn alloys were synthesized using the technique of Disintegrated Melt Deposition (DMD) followed by hot extrusion. This paper reports on the processing, composition, microstructure and

mechanical properties of the developed Mg – Sn alloys in comparison with pure magnesium.

2 Experimental Procedure

2.1 Primary Processing

Mg – Sn binary alloy system with varying tin content (5 %, 10 % and 15 %) was produced using magnesium turnings of 99.9 + % purity and tin (Sn)-powder (325 mesh, supplied by ACROS Organics, New Jersey, USA) using the disintegrated melt deposition (DMD) technique (Fig. 1, *a*). The DMD technique involves bottom pouring of the melt. It is a high yield process, which uses simultaneous vortex stirring of the melt and its disintegration in an argon (Ar) gas inert environment.

In the DMD process (Fig. 1, *a*), initially the Mg turnings along with the Sn particles were heated in a graphite crucible to 750 °C in an electrical resistance furnace in an atmosphere of inert argon gas. In order to facilitate a near uniform distribution of the Sn particles in molten Mg, the superheated molten slurry was stirred for 5 minutes at 460 rpm using a twin blade (pitch 45) mild steel impeller (coated with Zirtex 25). The molten alloy was then disintegrated by two jets of argon gas oriented normal to the melt stream placed at the bottom of the crucible, which was deposited onto a steel substrate. The resultant alloy ingot was about 40 mm in diameter.

2.2 Secondary Processing

The Mg – Sn binary alloys obtained from the DMD process were machined to 36 mm diameter and soaked at 400 °C for 1 hour, and hot extruded using a 150-ton hydraulic press at 350 °C using an extrusion ratio of 20.25:1. The extruded rods were about 8 mm in diameter (Fig. 1, *b*). The extruded rods were used for microstructural and mechanical property characterization.

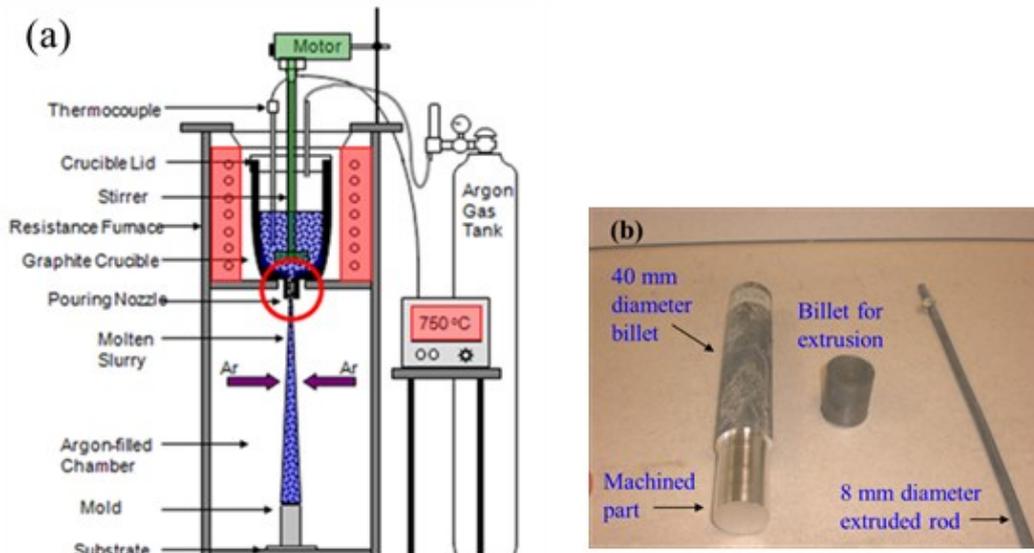


Fig. 1. Schematic of the Disintegrated Melt Deposition (DMD) process (a) and extruded rod after secondary processing (b)

2.3 Materials Characterization

Microstructural investigation of finely polished and etched Mg – Sn alloy samples was conducted using a Field Emission Scanning Electron Microscope (Hitachi FESEM-S4300) coupled with Energy Dispersion Analysis (EDS). X-ray diffraction analysis was conducted on the samples using an automated Shimadzu LAB-XRD-6000 X-ray diffractometer ($\text{Cu K}\alpha$; $\kappa = 1.54056 \text{ \AA}$) at a scanning speed of 2 degree per minute. Microhardness measurements were performed on polished flat specimens using a Shimadzu HMV automatic digital microhardness tester with a Vickers indenter (load: 25 gf and dwell time: 15 seconds). More than 10 measurements were performed on each test specimen, and the average microhardness value has been reported. Uniaxial tensile tests were performed at room temperature (27 °C) on smooth bar tensile specimens (ASTM E8M-08) of 5 mm diameter and a gage length of 25 mm, using a Materials Test System (MTS 810) at a constant strain rate of $1.69 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. A minimum of five tests were conducted on each alloy composition. Fractographic analysis was performed using the FESEM.

3 Results and Discussion

3.1 Microstructure

From the representative microstructure of Mg – Sn binary alloys shown in Fig. 2, a, it could be observed that the grains were equiaxed, and showed significant grain refinement with grain size varying between 2 to 5 microns for all the three compositions. The grain size was one order lower than that of pure magnesium (grain size: ~29 microns). Fig. 2, a also shows the presence of second-phase particles in the magnesium matrix. The Mg-Sn alloy binary phase diagram indicates that Mg_2Sn phase is the only secondary phase

(eutectic phase) present in the phase diagram [4]. Hence, the particles present in the microstructure are Mg_2Sn particles. This was further confirmed by XRD analysis, which shows the Mg_2Sn peaks (Fig. 2, b). Furthermore, in the XRD profile, an increase in the intensity of Mg_2Sn peak with an increase in tin content was observed indicating the increased formation of the Mg_2Sn phase. As seen from Fig. 1, a, Mg_2Sn particles vary in their morphology (also see Fig. 2, a), such as: (i) polygonal-shaped particles of size 2 to 4 μm (marked 'A'), and (ii) submicron-sized lath/rod-like particles (of length 500 nm to 1 μm ; diameter < 200 nm, marked 'B'). Reports on earlier works [5 – 10], show that particles of varying morphologies and with fine sizes are formed in Mg – Sn based alloy systems. The particle shape varied from nano-polygonal to nanolath/rods and was reported to be dependent on the solidification rate in rapidly solidified alloys [6, 10], whereas in extruded or aged alloys, the fine size of the particles and their morphology was influenced by the dynamic precipitation process during hot extrusion [7, 10]. Hence, in the present work, the formation of equiaxed grains and grain refinement in all the developed binary alloys can be attributed to the occurrence of dynamic recrystallization during the hot extrusion process. With regard to the varying morphologies of the Mg_2Sn secondary phase, it is identified to be controlled by the mutually interactive influences of: (a) solidification rate, (b) dynamic precipitation, and (c) alloying additions [6, 10]. While the polygonal and lath-shaped particles are formed by dynamic precipitation due to hot extrusion, the fine size of the particles are influenced by the processing method itself that plays a dominant role. During the secondary processing of hot extrusion, initially, as the alloy is homogenized at 400 °C (prior to hot extrusion), the secondary Mg_2Sn phase

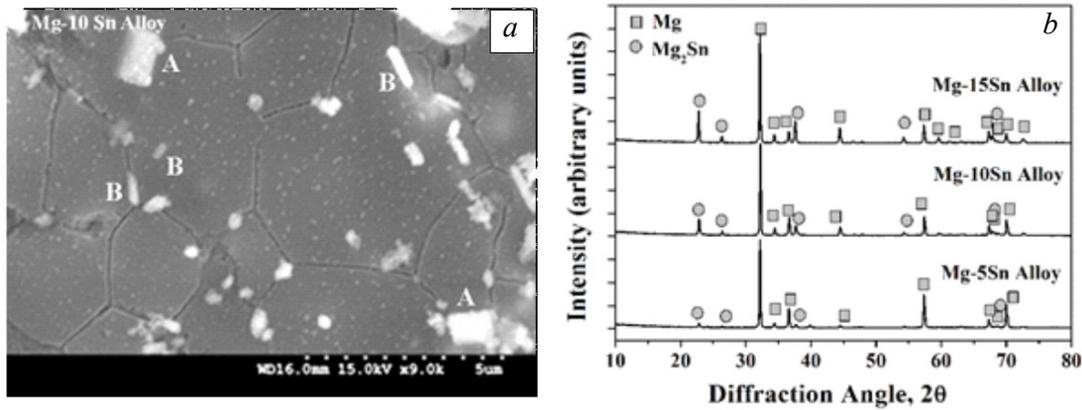


Fig. 2. Microstructure of M – 10 Sn alloy showing fine grain size and presence of second phase with two different morphologies, viz., (A) polygonal and (B) rod-like(a) and X-ray diffraction pattern of Mg – Sn alloys showing the presence of Mg₂Sn phase and pure Mg (b)

present in the alloy would dissolve in the magnesium matrix due to the high temperature. Subsequently, during hot extrusion (350 °C), a large number of dislocations and sub-grain boundaries would be generated within the magnesium matrix [7]. These would not only provide active sites for dynamic precipitation of the secondary phase (i.e. Mg₂Sn), but would also facilitate the formation of fine-sized particles.

3.2 Mechanical Properties

The microhardness and tensile strength properties of the developed Mg – Sn binary alloys are discussed below.

3.2.1 Microhardness

Table 1 shows the microhardness values of the developed Mg – Sn alloys with increasing tin content. It is seen that when compared to pure magnesium, all the three compositions of the Mg – Sn binary alloys show a significant increase in microhardness. For example, the micro-hardness of Mg – 15 Sn alloy is ~2.6 times higher when compared to that of pure magnesium. This significant increase in the hardness is because of the formation of the Mg₂Sn phase, which has inherent high hardness (1.2 GPa) [7]. The increase in hardness with higher Sn content is due to the increased formation and presence of the Mg₂Sn phase, as shown by the increase in the intensity of Mg₂Sn peaks with increasing Sn content in the XRD pattern (Fig. 1, b).

3.2.2 Tensile Properties

In Table 2, the tensile properties of the developed binary Mg – Sn alloys are listed. It can be observed that when compared to pure magnesium, the developed alloys show a significant increase in yield strength and ultimate tensile strength, accompanied by a reduction in ductility. Considering the Mg – 5 Sn alloy, it exhibits 85 % increase in yield strength and 75 % increase in ultimate tensile strength when compared to pure magnesium. Indeed, amongst the three compositions, the Mg – 5 Sn alloy showed the best combination of tensile properties. The reduction in tensile properties of the Mg – 10 Sn alloy and Mg – 15 Sn alloy is due to the increased formation of the hard Mg₂Sn phase with the increase in tin content. Particularly under tensile loading, an increased volume fraction of the Mg₂Sn phase for 10 % and 15 % Sn resulted in enhanced brittleness causing reduction in ductility and strength properties when compared to the Mg – 5 Sn alloy.

Fig. 3 shows the representative tensile fracture surfaces of Mg – Sn alloys. The effect of the second-phase particles in determining the tensile properties and fracture behavior is evident from the tensile fracture surfaces. The alloy showed a combination of cleavage fracture and cracked second-phase particles, Fig. 3, a shows the representative fracture surface of Mg – 5Sn alloy, wherein matrix cracking and cracking around the second phase particles are evident (as shown by arrows in Fig. 3, a). Further,

Table 1

Micro-hardness of the developed Mg – Sn alloys, with increasing Sn content

Materials	Hardness, HV
Pure Mg	46 ± 1
Mg – 5 Sn	115 ± 13
Mg – 10 Sn	117 ± 9
Mg – 15 Sn	122 ± 16

Tensile properties of the developed Mg – Sn alloys

Materials	Yield Strength, MPa	Tensile Strength, MPa	Elongation, %
Pure Mg	129 ± 11	170 ± 10.0	6.2 ± 0.7
Mg – 5 Sn	238 ± 9	291 ± 11.0	5.5 ± 1.3
Mg – 10 Sn	215 ± 4	274 ± 4.5	4.8 ± 0.4
Mg – 15 Sn	212 ± 6	257 ± 2.0	4.8 ± 1.3

with increasing Sn content (i.e. increase in Mg₂Sn phase formation), features of dominant brittle failure are observed. In Fig. 3, *b*, which shows representative fractograph of Mg – 15Sn alloy, arrows indicate extensive matrix and particle cracking. Also, isolated pockets of dimples of varying size interdispersed with fine microscopic voids are seen in the alloys. These features are reminiscent of local ductile failure mechanisms.

In all the three Mg – Sn alloy compositions developed, the significant improvement in hardness and tensile properties obtained due to the addition of Sn results due to one or more of the following strengthening mechanisms [7]: (i) solid-solution strengthening, (ii) precipitation strengthening (Mg₂Sn phase formation), (iii) grain boundary strengthening (grain refinement), (iv) increase in the dislocation density due to residual stress (arising from the mismatch of coefficient of thermal expansion between magnesium matrix and Mg₂Sn phase) during processing, and (v) Orowan strengthening, which arises due to the interaction between the dislocations and second-phase particles.

4. Conclusions

Mg – Sn alloys were developed with varying Sn content using disintegrated melt deposition technique. The developed alloys were investigated for their microstructure and mechanical properties. The following are the conclusions from the present work:

1. The processing method used (disintegrated melt deposition technique) followed by hot extru-

sion facilitated the formation of fine Mg₂Sn phase having varying morphologies.

2. The addition of Sn content to pure magnesium resulted in fine-grained alloys with equiaxed microstructure, due to dynamic recrystallization during processing.

3. The increase in hardness of the Mg – Sn alloys with increase in Sn content is attributed to the inherent high hardness of the Mg₂Sn phase.

4. When compared to pure Mg, the developed Mg – Sn alloys showed higher values of microhardness and significant improvement in tensile properties.

5. Under tensile loading, the Mg – 5 Sn alloy showed the best strength properties among the developed alloys. The relatively lower strength of the Mg – 10 Sn and Mg – 15 Sn alloys is due to the formation and presence of a higher volume fraction of the Mg₂Sn phase, which resulted in second-phase particle fracture during tensile loading.

REFERENCES

1. Avedesian M.M., Baker H. ASM Specialty Handbook. – Ohio, 1999.
2. Aghion E., Bronfin B., Von Buch F., Schumann S., Friedrich H. Newly developed magnesium alloys for powertrain applications // Journal of Metals. 2003. Vol. 55. No. 16. P. 30 – 33.
3. Gao X., Zhu S.M., Muddle B.C., Nie J.F. Precipitation-hardened Mg – Ca – Zn alloys with superior creep resistance // Scripta Materialia. 2005. Vol. 53. P. 1321 – 1326.

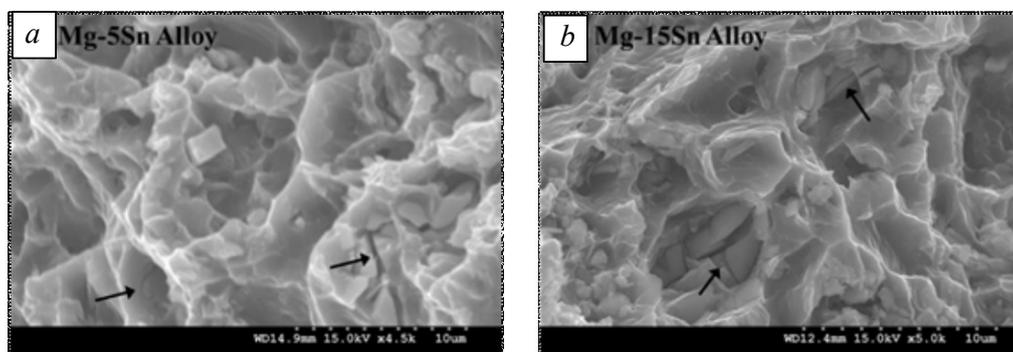


Fig. 3. Representative tensile fracture surface of Mg – Sn binary alloy showing: *a* – matrix cracking and cracking around particles in Mg – 5Sn alloy; *b* – dominant brittle morphology and second phase (particle) fracture with increasing Sn content, in Mg – 15 Sn alloy. Dimple features that is reminiscent of locally ductile failure mechanism can also be seen

4. Nayeb-Hashemi A.A., Clark J.B. The Mg – Sn (Magnesium-Tin) System // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. 1984. Vol. 5. P. 466 – 476.
5. Zhang M., Zhang W.Z., Guo G.Z., Kun Y.U. // Transactions of Nonferrous Metals Society, China. 2007. Vol. 17. P. 1428 – 1432.
6. Chen D., Ping R.Y., Guo Y., Pei W.L., Zhao H.D., Qin G.W. // Transactions of Nonferrous Metals Society China. 2010. Vol. 20. P. 1321 – 1325.
7. Jayalakshmi S., Sankaranarayanan S., Gupta M. Effect of Ag and Cu trace additions on the microstructural evolution and mechanical properties of Mg – 5 Sn alloy // Journal of Alloys & Compounds. 2013. Vol. 565. P. 56 – 65.
8. Nie J.F. Study of slip mechanisms in a magnesium alloy by neutron diffraction and modeling // Scripta Materialia. 2003. Vol. 48. P. 1009 – 1015.
9. Kang D.H., Park S.S., Yoon S., Oh S., Kim J. Effect of nano-particles on the creep resistance of Mg – Sn based alloys // Materials Science & Engineering. A. 2007. Vol. 449-451. P. 318 – 321.
10. Tang W.N., Park S.S., You B.S. Effect of the Zn content on the microstructure and mechanical properties of indirect-extruded Mg – 5 Sn – xZn alloys // Materials & Design. 2011. Vol. 32. P. 3537 – 3543.

© 2019 г. *S. Jayalakshmi, R. Arvind Singh, S. Konovalov, Xizhang Chen, M. Gupta*
Received February 25, 2019

УДК 625.143.48

*Е.В. Полевой¹, Р.А. Шевченко², Н.А. Козырев², Д.Ю. Кушев¹, А.М. Юнусов¹*¹АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»²Сибирский государственный индустриальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Качество сварных швов рельсового металла зависит от многих факторов [1 – 19]. Проведенные исследования [20, 21] по изучению влияния режимов сварки с последующей изотермической выдержкой образцов из рельсовой стали, проводимой путем пропускания импульсов переменного электрического тока после сварки, на качественные показатели сварного стыка показали, что у полученных сварных стыков наблюдаются низкие пластические свойства вне зависимости от наличия закалочных структур в металле шва и зоне термического влияния (ЗТВ). Наиболее вероятно, что снижение пластических свойств металла шва в данном случае происходит по причине несплошностей металла сварного соединения.

Контактную стыковую сварку оплавлением рельсов выполняли на воздухе, при этом роль защитных газов играют интенсивно выделяющиеся пары оксидов и свариваемого металла, образующиеся в стыке. В результате недостаточного газообразования возможно возникновение неметаллических включений, которые впоследствии должны в идеале выдавливаться в грат при осадке и удаляться вместе с гратом. При несоблюдении режимов сварки возможно образование неметаллических включений в металле шва.

По данным работы [22] образование неметаллических включений в металле шва возможно при присутствии их в свариваемом рельсовом металле, причем в сталях, загрязненных примесями, вероятность образования дефектов по линии сварки выше, чем в чистых сталях. Это обусловлено тем, что в слое жидкого металла на поверхности торцов происходит сегрегация примесей основного металла. Ввиду неравномерного выдавливания жидкого металла в процессе деформации торцов на отдельных участках, например в наиболее глубоких кратерах, происходит скопление жидкого металла и соответственно примесей. Такие участки имеют пониженные механические свойства. Кроме того, в

ряде случаев наблюдаемые в изломах по линии сварки неметаллические включения, принимаемые обычно за дефекты сварки, являются в действительности пороками основного металла.

В настоящей работе проведено исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали. Для сварки в лабораторных условиях производили вырезку образцов 90 × 30 × 10 мм из головки рельсов стали марки Э76ХФ. В дальнейшем осуществляли контактную стыковую сварку на машине МС-2008. Далее образцы разрезали перпендикулярно сварному шву на две части электроэрозионным способом на электроэрозионном проволочно-вырезном станке с ЧПУ струйного типа ДК7732 М11. Одна часть образца использовалась для испытания на растяжение, вторая готовилась для проведения металлографического анализа на неметаллические включения и изучения структуры сварного соединения. Макроструктуру сварных стыков изучали после фрезерования и глубокого травления в 50 %-ном водном растворе соляной кислоты. Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-71 в светлом поле при диапазоне увеличений в 100 – 1000 крат после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Химический состав всех выявленных включений определяли на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3.

Макроструктура металла сварных стыков представлена на рис. 1. На макротемплетах сварных стыков в средней части наблюдается сварной шов в виде светлой полосы и зоны термического влияния по обе стороны от него. В зоне сварного соединения выявлены шлаковые включения в виде темнотравящихся полосок и точек (показано стрелками).

При просмотре нетравленных шлифов в зоне шва образцов выявлены однотипные, расположенные в вертикальном направлении светлые неметаллические включения силикатного характера шириной до 35 мкм (рис. 1, а, б).

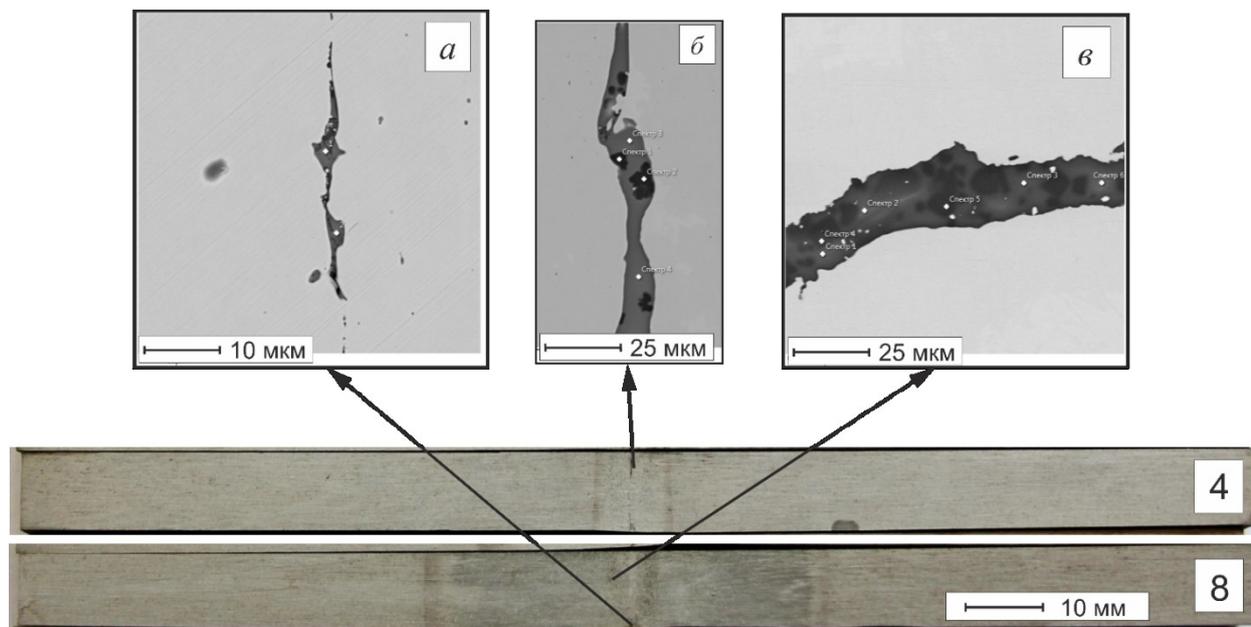


Рис. 1. Неметаллические включения образцов 4 и 8:
а, б – неметаллическое включение в сварном соединении; *в* – в зоне термического влияния

При исследовании образца 8 выявлена строчка силикатного включения протяженностью 1,51 мм, расположенная в зоне деформации, образовавшейся при осадке (рис. 1, *в*).

Результаты количественного анализа включений образцов представлены в таблице. Химический состав представлен в отдельных указанных точках с названием «Спектр» и соответствующим номером измерения. В таблице эти точки обозначены номером измерения на соответствующем рисунке.

Анализ химического состава включений показал, что основными составляющими включений, расположенных по месту шва, являются оксиды кремния и марганца, что характерно при образовании высокотемпературной окалины.

Кроме основных оксидов, в составе включений в меньшем количестве (по мере снижения концентрации) присутствуют оксиды алюминия (на уровне 1 – 2 %), железа, титана, хрома. Состав неметаллического включения, выявленного вне зоны шва, типичен для состава неметаллических включений, образующихся в металле при выплавке. Основными соединениями являются оксиды кремния, алюминия, магния. По мере снижения концентрации во включении наблюдаются соединения марганца, натрия, кальция, титана и циркония. Приведенный химический состав включения свидетельствует о шлаковом характере происхождения выявленного неметаллического включения, образовавшегося при разливке.

Химический состав неметаллических включений

Элемент	Содержание элемента, %, в точке											
	рис. 1, <i>а</i>		рис. 1, <i>б</i>				рис. 1, <i>в</i>					
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
O	61,07	60,92	65,77	66,40	60,60	60,61	60,99	60,87	60,78	57,04	57,02	60,95
Al	1,03	1,67	0,23	–	2,16	2,47	8,49	8,74	7,98	27,92	27,9	8,07
Si	20,96	20,29	31,33	32,74	18,68	18,64	17,49	17,13	17,50	–	–	16,96
S	0,16	0,15	–	–	0,25	0,21	–	0,17	–	–	–	0,12
Ca	0,10	0,12	–	–	–	–	1,31	1,15	1,12	–	–	1,19
Na	–	–	–	–	–	–	1,74	2,09	1,70	–	–	1,53
Mg	–	–	–	–	0,34	0,30	5,06	5,64	6,72	13,94	13,96	6,13
Ti	0,22	0,28	0,09	0,07	0,75	0,76	0,75	0,65	0,60	0,12	0,09	1,16
Cr	0,26	0,26	–	–	0,36	0,33	–	–	–	–	–	–
Mn	14,89	14,88	0,64	0,33	16,02	15,97	2,81	2,24	2,39	0,78	0,82	2,70
Fe	1,30	1,43	1,95	0,47	0,84	0,71	0,34	0,28	0,30	0,19	0,19	0,30
Zr	–	–	–	–	–	–	0,58	0,54	0,52	–	–	0,48
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

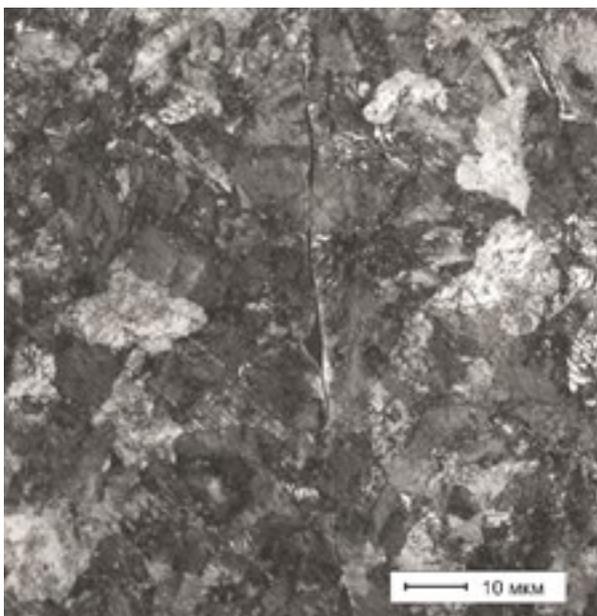


Рис. 2. Микроструктура металла сварного соединения образца 4

При просмотре травленых шлифов от двух образцов 4 и 8 по месту шва обезуглероженной зоны в виде ферритной сетки, образующейся, как правило, при оплавлении рельсовых торцов при сварке стыков, не выявлено, что обусловлено, вероятно, ускоренным нагревом и малым сечением образцов (рис. 2).

Микроструктура образца 4 на удалении до 2,5 мм (рис. 2) от шва состоит из мелкодисперсного пластинчатого перлита (сорбита) с мелкими участками троостита. На расстоянии 2,5 – 4,5 мм наблюдается отпущенная структура скоагулированного сорбита. На удалении свыше 5 мм от шва микроструктура характерна для таковой основного рельсового металла в термоупрочненном состоянии.

При исследовании образца 8 отмечено наличие крупнозернистой структуры (2-3 номер шкалы ГОСТ 5639 – 82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна) в околошовной зоне и микроструктуры с преобла-

данием мартенситной составляющей, характерной для перегретого металла (рис. 3).

Выводы. Химический состав включений, выявленных по месту сварного шва, показал, что основными их составляющими являются оксиды кремния, марганца, что характерно при образовании высокотемпературной окалины. Химический состав неметаллического включения, выявленного в металле вне зоны шва, типичен для включений, образующихся при выплавке, и свидетельствует о шлаковом характере его происхождения. В микроструктуре шва обоих образцов ферритная сетка, характерная для рельсовых стыков, не выявлена, что, вероятно, обусловлено ускоренным их нагревом ввиду малого сечения образцов. Микроструктура образца 4 на удалении до 2,5 мм от шва состоит из мелкодисперсного пластинчатого перлита (сорбита) с мелкими участками троостита. Далее на удалении до 4,5 мм от шва структура представляет скоагулированный сорбит. Свыше 5 мм от шва микроструктура характерна для термоупрочненного состояния рельсового металла. В микроструктуре околошовной зоны образца 8 наблюдается преимущественно мартенситная структура с небольшими участками троостосорбита, увеличивающихся по мере удаления от шва. Также в микроструктуре сварного соединения выявлена крупнозернистая структура (2-3 номер шкалы ГОСТ 5639 – 82), характерная для перегретого металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Multi-factor regression analysis of the process of rails contact welding on K1000 machine / R.A. Shevchenko, N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, A.O. Patrushev, A.A. Usoltsev // Metallurgy 2017. IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 411 (2018) 012088| doi:10.1088/1757-899X/411/1/012088.
2. Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Методика определения электрического сопротивления рельсовой

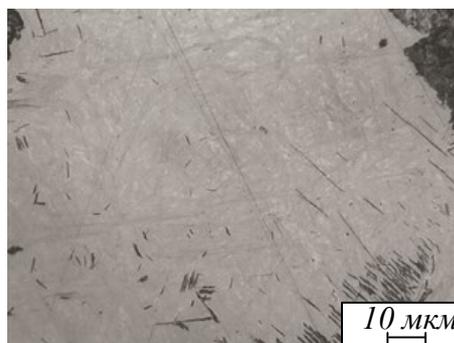
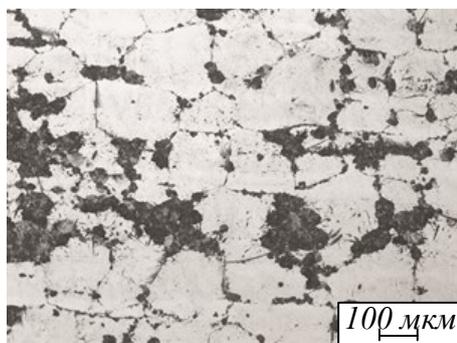


Рис. 3. Микроструктура металла сварного соединения образца 8

- стали // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2018. Вып. 40. С. 111 – 117.
3. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е. Совершенствование технологии электроконтактной сварки и термообработки железнодорожных рельсов // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2018. Вып. 40. С. 63 – 68.
 4. Шевченко Р.Е., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А., Куценко А.А. Методика исследования влияния режимов изотермического отжига при сварке рельсов откаточных путей горных выработок // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 269 – 273.
 5. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Князев С.В. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. Вып. 2 (1418). С. 62 – 68.
 6. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Патрушев А.О., Кратько С.Н., Крюков Р.Е. Поиск оптимальных технологических параметров режима работы рельсосварочной машины К1100 // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2017. Вып. 38. С. 70 – 76.
 7. Шевченко Р.А., Кратько С.Н., Шишкин П.Е., Козырев Н.А., Базайкин В.И. Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1100 // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2017. Вып. 38. С. 76 – 81.
 8. Шевченко Р.А., Базайкин В.И., Кратько С.Н., Козырев Н.А., Патрушев А.О. Анализ токового режима работы сварочной машины К1100 при сварке рельсов на этапе оплавления // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2017. Вып. 38. С. 81 – 87.
 9. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Шишкин П.Е. Современные методы сварки рельсов нового поколения // Изв. вуз. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 10. С. 785 – 791.
 10. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О. Способы получения качественного сварного соединения железнодорожных рельсов. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество. Труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2017. С. 254 – 257.
 11. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О., Усольцев А.А. Многофакторный регрессионный анализ процесса контактной сварки рельсов на машине К1000. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции, в 2-х ч. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2017. С. 264 – 267.
 12. Шевченко Р.А., Кратько С.Н., Шишкин П.Е., Козырев Н.А., Базайкин В.И. Оптимизация технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000 методами математического моделирования // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). 2017. Вып. 20. С. 101 – 106.
 13. Шевченко Р.А., Базайкин В.И., Кратько С.Н., Козырев Н.А., Шишкин П.Е. Исследование токового режима сварочной машины К1000 при сварке рельсов // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). 2017. Вып. 20. С. 106 – 111.
 14. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Патрушев А.О., Кратько С.Н., Шишкин П.Е. Определение оптимальных режимов работы рельсосварочной машины К1000 // Вестник РАЕН (Западно-Сибирское отделение). 2017. Вып. 20. С. 118 – 126.
 15. Kozyrev N.A., Kozyreva O.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Shevchenko R.A. Modern Methods of Rail Welding // International Scientific-Practical Conference: Innovations in Fuel and Energy Complex and Mechanical Engineering (FEC-2017) 18–21 April 2017, Kemerovo, Russian Federation IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 253. P. 1 – 6.
 16. Usoltsev A.A., Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Kriukov R.E., Shishkin P.E. Analysis of rail welding methods for mine rail access with the use of modern technologies // International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. Vol. 84. P. 1 – 7.
 17. Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Kriukov R.E., Shishkin P.E. Calculation of optimal modes for electric-contact welding of rails of mine haulage tracks // International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6–9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. Vol. 84. P. 1 – 5.
 18. Усольцев А.А., Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Шишкин П.Е. Анализ ме-

тодов сварки рельсов для шахтных подъездных путей с использованием современных технологий // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 241 – 248.

19. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Шишкин П.Е. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки рельсов откаточных путей горных выработок // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2017. № 3. С. 232 – 236.
20. Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. Разработка новой технологии сварки рельсов для высокоскоростного движения // Черная металлургия. Бюллетень

научно-технической и экономической информации. 2018. Вып. 8 (1424). С. 50 – 57.

21. Протопопов Е.В., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Шевченко Р.А., Усольцев А.А. Новая технология сварки железнодорожных рельсов. Сб. Трудов. XV Международного конгресса сталеплавильщиков. Москва – Тула, 15 – 19 октября 2018 г. – М.: МОО «Ассоциация сталеплавильщиков», 2018. С. 296 – 300.
22. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактная сварка непрерывным оплавлением. – Киев: Наукова думка, 1976. – 216 с.

© 2019 г. *Е.В. Полевой, Р.А. Шавченко, Н.А. Козырев, Д.Ю. Кушев, А.М. Юнусов*
Поступила 14 ноября 2018 г.

А.Н. Савельев, С.В. Козлов, И.А. Булатов, О.Д. Прохоренко
Сибирский государственный индустриальный университет

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ МАСС ПОДВИЖНЫХ БАЛОК И МЕТАЛЛА НА ВЕЛИЧИНУ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНОМ ГИДРОПРИВОДЕ ХОЛОДИЛЬНИКОВ МНЛЗ

Для последней стадии охлаждения металла на машинах непрерывного литья заготовок применяются холодильники с подвижными и неподвижными балками. К металлу, расположенному на холодильнике, подводятся подвижные балки, которые поднимают его в вертикальной плоскости, перемещают в горизонтальной и затем опускают на новое место, расположенное от прежнего на один шаг холодильника. В течение такого цикла перемещения металла по холодильнику привод последнего испытывает ряд резко меняющихся нагрузок. Это приводит к возникновению в приводе динамических процессов разной частоты и разного вида [1 – 3]. Возникающие в оборудовании динамические воздействия провоцируют появление в них волновых процессов, которые, складываясь с низкочастотными колебательными составляющими нагрузки, приводят к критическим ситуациям и, как результат, выходу оборудования из строя [4, 5]. Все эти процессы зависят от изменения внешней технологической нагрузки [6, 7] и от скоростных параметров взаимодействия подвижных балок холодильника с металлом [8].

В настоящей работе на основе математической модели волновых процессов, возникающих

в гидроприводе холодильников МНЛЗ в результате ударного взаимодействия металла с подвижными балками, анализируется влияние конструктивных параметров подвижных балок на величину динамических нагрузок в их приводе.

Оценка волновой части динамического процесса в рассматриваемом приводе может быть выполнена на основе модели, представленной в работе [9]. Основой модели является двойной волновод с распределенными массами, взаимодействующий с расположенным над волноводом металлом (рис. 1).

Математическая модель волнового процесса в работе [9] построена следующим образом. В приводе подвижных балок холодильника при передаче энергии от делителя потока (рис. 1) к подвижным балкам холодильника в момент их соприкосновения с металлом ступенчато возрастает дополнительная нагрузка. Эта нагрузка определяет не только усилие, действующее на подвижные балки, но и скорость их движения и всех элементов передаточного механизма привода. В результате действия низкочастотных динамических процессов [10 – 12] происходит многократно повторяющийся продольный по элементам привода удар с относительной скоростью v_0 (рис. 2, а).

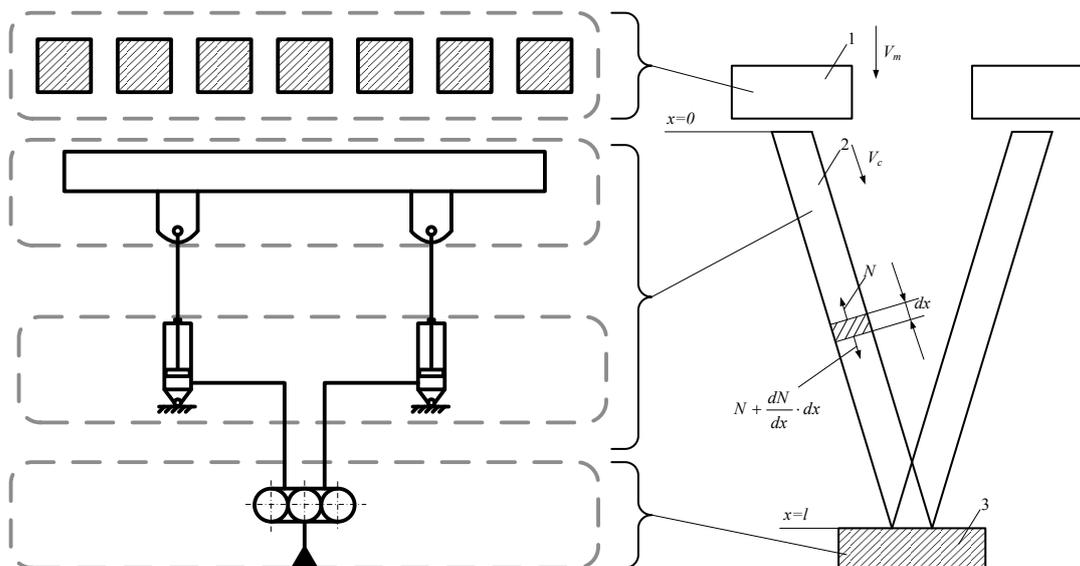


Рис. 1. Процесс перехода от реальной конструкции привода холодильника к расчетной схеме [9]

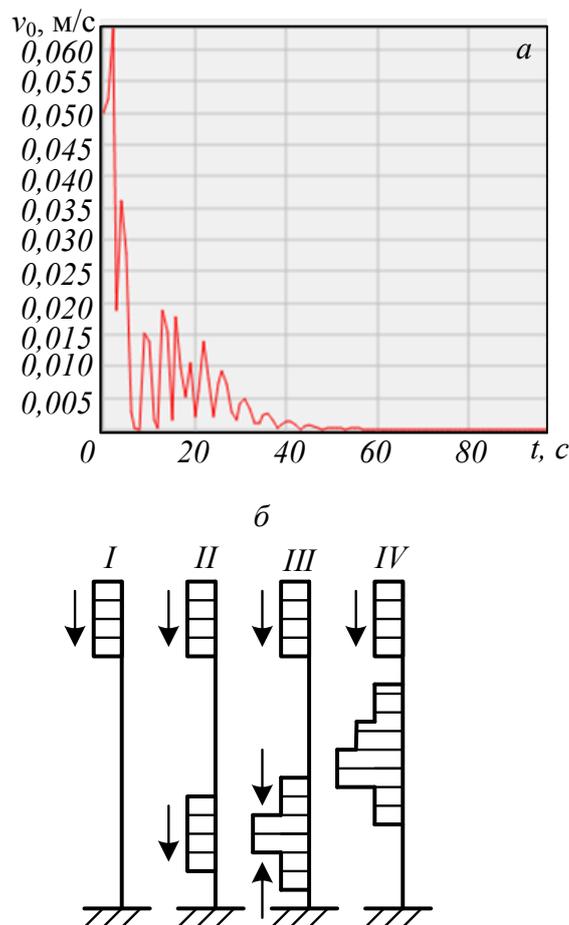


Рис. 2. Низкочастотная скоростная характеристика:

a – динамического процесса взаимодействия металла с подвижными балками холодильника, полученная на основе математической модели динамического процесса в приводе холодильника [11 – 13]; *б* – схема организации в приводе волнового процесса под действием низкочастотных колебаний металла на подвижных балках холодильника

Такое взаимодействие подвижных балок с металлом вызывает каскад следующих друг за другом волн напряжений. Так, при взаимодействии массы металла с подвижными балками с относительной скоростью v_{01} формируется первая волна напряжений (рис. 2, б, I). При этом относительная скорость v_{01} уменьшается и приближается к нулю. Однако в приводе балок холодильника разность скоростей подвижных балок и металла определяется не только взаимодействием этих элементов, но и зависит от ряда других внешних и внутренних условий, и через время Δt возникнет новая разность скоростей v_{02} , которая формирует вторую упругую волну (рис. 2, б, II). Затем появляется третья упругая волна (рис. 2, б, III) и т.д. При этом, если встречаются две и большее количество упругих волн, то общее напряжение в этой точке определяется по принципу суперпозиции волн (рис. 2, б, IV). Во взятом за основу в настоящей работе методе кривая изменения относительной скорости взаимодействующих подвижных балок холодильника с металлом представлена в виде дискретных вели-

чин с временным шагом Δt . Последний при этом значительно меньше по величине периода низкочастотных колебаний относительной скорости взаимодействия масс металла и подвижных балок.

Расчет построен таким образом, что в конце каждого шага в зависимости от величины скорости взаимодействия подвижных балок и металла в приводе балок формируется новая волна напряжений. После того, как волна пройдет несколько раз вдоль стержня, теряя при каждом проходе свою энергию, значение ее становится незначимым и в дальнейшем расчете не учитывается. Определение напряжения в материале от каждой волны характеризуется следующими условиями. В силу того, что удар между подвижными балками и металлом осуществляется на плоскости, его в каждый момент времени t можно рассматривать как линейное взаимодействие двух масс. Одна из этих масс соответствует приведенной массе элементов одного из двигателей привода холодильников и представлена в виде стержня 2 с приведенными характери-

ками упругости и плотности их материалов (рис. 1). Вторая масса – это масса охлаждаемого на холодильнике металла, приходящаяся на один двигатель привода холодильника, которая в расчетной схеме рис. 1 представлена в виде единой массы l . Между первой и второй массами в момент их контакта происходит удар. Известно, что в том случае, когда в некоторой точке упругой среды производится какое-то возмущение, то из этой точки во все стороны начинают исходить упругие волны [6, 7, 10]. На расстоянии от центра возмущения эти волны можно рассматривать как плоские. При исследовании продольных колебаний в стержне 2 (рис. 1) используется гипотеза плоских сечений, где рассматриваются только продольные колебания. Волна в стержне возникает в результате взаимодействия масс m охлаждаемого металла и стержня, которые двигаются со скоростями V_m и V_c . Считая, что произведен один акт взаимодействия массы m со стержнем с относительной скоростью $V_0 = V_m - V_c$, прикладывая при этом нагрузки, действующие на элементарный участок стержня и применяя принцип Даламбера, получим дифференциальное уравнение баланса сил. После ряда математических преобразований получается известное уравнение Сен-Венана, которое и описывает движение одной волны напряжений в стержне [7, 8]:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где $a^2 = \frac{E}{\rho}$; E – приведенный модуль упругости материала стержня; ρ – приведенная плотность материала стержня; ξ – смещение рассматриваемого поперечного участка вдоль оси x .

Для решения уравнения Сен-Венана в данном случае используется метод разрывных функций [13]. В основе этого решения лежит уравнение деформации слоя материала в стержне:

$$\xi = f(at - x) + \varphi(at + x). \quad (2)$$

Физический смысл уравнения (2) сводится к следующему. Первое слагаемое $\xi_1 = f(at - x)$ представляет волну деформации, движущуюся вдоль стержня в направлении оси x со скоростью $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$. Точно так же второе слагаемое $\xi_2 = \varphi(at + x)$ представляет волну деформации, движущуюся с той же скоростью в противополо-

жном направлении. Для использования уравнения (2) нужно выбрать вид функций f и φ так, чтобы выполнялись начальные и граничные условия. Решение этой задачи согласно методу, изложенному в работе [13], приводит к следующему.

При $0 < z < 2l$ функция $f'(z)$ определяется выражением

$$f'(x) = \frac{v_0}{a} e^{-x/l}; \quad (3)$$

здесь аргумент z соответствует пути, пройденному упругой волной в стержне (может принимать любые значения).

Зная функцию $f(z)$ для значения $z < 2l$, можно определить изменение усилий и скоростей в любом сечении стержня: начиная с первого момента удара и до тех пор, пока $at < 2l - x$, т.е. пока до данного сечения не дойдет отраженная от опоры волна деформации.

При $at < 2l - x$ функция $f(at + x - 2l) = 0$, и выражение для перемещений имеет вид $\xi = f(at - x)$.

Соответственно скорости (v) и деформация (ε) в любом сечении определяются так:

$$\begin{aligned} v &= \frac{\partial \xi}{\partial t} = af'(at - x); \\ \varepsilon &= \frac{\partial \xi}{\partial x} = -f'(at - x). \end{aligned}$$

Подставляя сюда значение $f'(z)$, по формуле (3) найдем, что при $x < at < 2l - x$ имеем

$$\left. \begin{aligned} v &= v_0 e^{-\frac{x}{l}(at-x)} \\ \varepsilon &= -\frac{v_0}{a} e^{-\frac{x}{l}(at-x)} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Пока волна деформации не дошла до опоры, скорости и деформации в любом сечении оказываются связанными простым соотношением $v_0 = -a\varepsilon$. Однако эти функции являются разрывными; на фронте волны скорость скачкообразно изменяется от нуля до v_0 , а деформация – от нуля до $-v_0/a$. Таким образом, деформация стержня, возникающая в нем в первый момент удара, полностью определяется скоростью удара и не зависит от массы ударяющего груза.

Выше описан лишь первый этап удара, когда имеется только прямая волна деформации, идущая по стержню сверху вниз и обратно. Для построения функции $f(z)$ следующего интервала изменения аргумента $2l < z < 4l$ нужно подставить в правую часть исходного уравнения найденное выше значение функции $f(z)$ для $0 < z < 2l$. В этом случае получим для интервала $2l < z < 4l$ уравнение вида [9]:

$$f''(z) + \frac{\chi}{l} f'(z) = -2 \frac{v_0 \chi}{al} e^{-\frac{\chi(z-2l)}{l}}. \quad (5)$$

Произвольная постоянная при интегрировании этого уравнения определяется из условия, что скорость груза, а значит и скорость конца стержня ($z = 0$), не могут изменяться скачкообразно, т.е. выражение

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t} \right)_{z=0} = a[f'(at) - f'(at - 2l)]$$

представляет собой непрерывную функцию. Это условие удовлетворяется, если разрывы функции $f'(z)$ будут в точности повторяться при изменении аргумента на $2l$. Так как при $z = 0$ функция $f'(z)$ скачком повысится на величину v_0/a , то этот же скачок повторится и при $z = 2l, z = 4l, z = 6l$ и т.д. В частности, при $z = 2l$ функция $f'(z)$ с определяемого формулой (3) значения

$$f'(z) - (2l) = \left(\frac{v_0}{a} \right) e^{-2\chi},$$

должна увеличиться:

$$f'(z) - (2l) = \left(\frac{v_0}{a} \right) (e^{-2\chi} + 1).$$

Последнее значение $f'(z)$ и является начальным условием для интегрирования уравнения (5), интегрируя которое, получим для интервала $2l < z < 4l$

$$f'(z) = \frac{v_0}{a} e^{-\frac{\chi z}{l}} + \frac{v_0}{a} \left(1 - 2\chi \frac{z-2l}{l} \right) e^{-\frac{\chi(z-2l)}{l}}.$$

Аналогично находим для интервала $4l < z < 6l$:

$$f'(z) = \frac{v_0}{a} e^{-\frac{\chi z}{l}} + \frac{v_0}{a} \left(1 - 2\chi \frac{z-2l}{l} \right) e^{-\frac{\chi(z-2l)}{l}} + \frac{v_0}{a} \left[1 - 2\chi \frac{z-4l}{l} \right] e^{-\frac{\chi(z-4l)}{l}}.$$

Таким образом, шаг за шагом конструируется функция $f'(z)$ для любых значений аргумента.

Далее можно интегрированием получить функцию $f(z)$, которая является непрерывной: при $0 < z < 2l$

$$f(z) = \frac{v_0 l}{a \chi} \left(1 - e^{-\frac{\chi z}{l}} \right);$$

при $2l < z < 4l$

$$f(z) = \frac{v_0 l}{a \chi} \left[1 - e^{-\frac{\chi z}{l}} + \left(1 + 2\chi \frac{z-2l}{l} \right) e^{-\frac{\chi(z-2l)}{l}} \right];$$

при $4l < z < 6l$

$$f(z) = \frac{v_0 l}{a \chi} \left\{ 1 - e^{-\frac{\chi z}{l}} + \left(1 + 2\chi \frac{z-2l}{l} \right) e^{-\frac{\chi(z-2l)}{l}} - \left[1 + 2\chi^2 \left(\frac{z-2l}{l} \right)^2 \right] e^{-\frac{\chi(z-4l)}{l}} \right\}$$

и т.д.

Зная функцию $f'(z)$, можно найти перемещение x . Проинтегрировав по z выражение (4), находим деформацию

$$\varepsilon = \frac{\partial x}{\partial t} = -[f'(at - z) + f'(at + z - 2l)].$$

Расчет нагрузок в зоне делителя потока, где встречаются волнопроводы двух двигателей подвижных балок, можно по вышеописанному методу определить суммарное волновое давление в делителе потока. Составленная по вышеописанному методу программа позволяет моделировать картину нагружения делителя потока многодвигательного привода в зависимости от скоростных параметров зоны контакта подвижных балок с металлом при многократном процессе их взаимодействия. Для учета многообразия волновых потоков необходимо знать характер принудительного изменения разности относительных скоростей v_{0i} подвижных балок и металла.

Скоростные характеристики в зоне контакта подвижных балок холодильника с металлом в представленном расчете получены путем рассмотрения динамики низкочастотных колебаний элементов привода, выполненного в работах [11 – 13]. В них весь привод представлен в виде дискретной восьмимассовой динамической модели с упругими связями и зазорами в связях. Математическое описание восьмимассовой динамической модели позволяет получить скоростные параметры взаимодействия подвижных балок холодильника и охлаждаемого на нем металла. Пример таких скоростных параметров одного из вариантов взаимодействия подвижных балок и металла [12, 13] приведен на рис. 2, а. Характер волнового давления в зоне делителя потока от одного волнового канала показан на рис. 3, а.

Результаты расчета давления, возникающего в гидроприводе от волн напряжений при взаимодействии охлаждаемого на холодильнике ме-

талла различной массы с подвижными балками холодильника, показаны на рис. 3, б. Волновая составляющая нагрузки при статическом давлении в гидроприводе подвижных балок холодильника в 16 МПа от одного волновода в делителе потока гидропривода составляет порядка 17 МПа. При наложении волн напряжений от двух волноводов в делителе потока давление удваивается (34 МПа). Это давление при соотношении масс металла и подвижных балок $x_1/x_3 = 1,12$ и скорости подвода подвижных балок к металлу 0,7 м/с в исследуемом диапазоне масс и скоростей является максимальным и составляет 34 МПа. Минимальное волновое давление наблюдается при соотношении масс металла и подвижных балок $x_1/x_3 = 2,3$ и скорости контакта балок с металлом 0,3 м/с. Полученные в работе результаты позволяют обоснованно принимать скоростные и весовые параметры привода подвижных балок холодильников МНЛЗ.

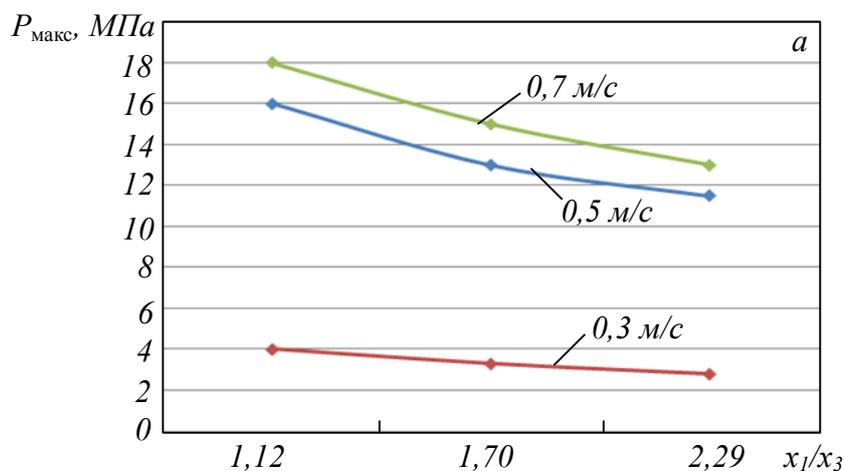
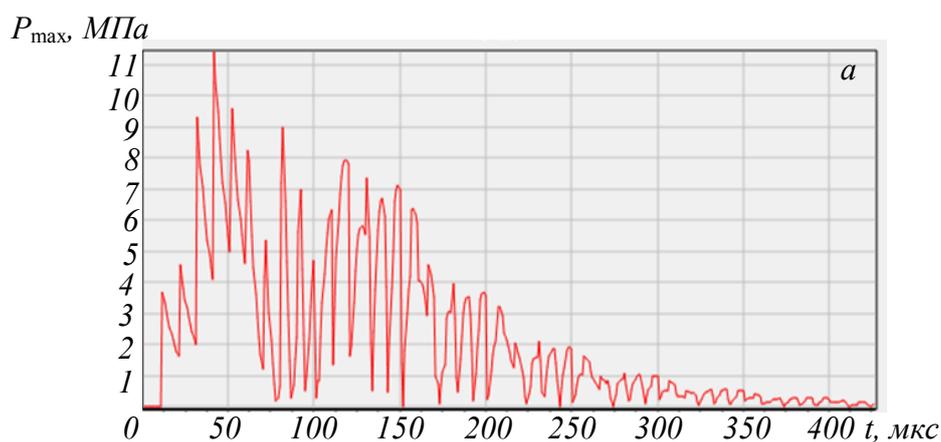


Рис. 3. Давление, возникающее в гидроприводе от волн напряжений при взаимодействии охлаждаемого на холодильнике металла различной массы с подвижными балками холодильника:
 а – пример характера изменения давления волны напряжений в зоне делителя потока от одного волнового канала; б – характер изменения давления от скоростных и весовых параметров

Выводы. Проанализировано влияние соотношения масс металла и подвижных балок холодильников при разных скоростях их передвижения на величину волновых процессов в гидроприводе. Наибольшее значение давления в гидроприводе подвижных балок соответствует 34 МПа и возникает при отношении массы металла к массе подвижных балок 1,12 и скорости взаимодействия масс 0,7 м/с. По величине волновое давление может значительно превышать статическое давление в гидроприводе холодильника, а значит обязательно должно учитываться при конструировании приводов холодильников МНЛЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев А.Н., Савельев Н.В. Анализ нагрузок во вкладыше универсального шпинделя привода прокатной клетки // Изв. вуз. Черная металлургия. 2007. № 10. С. 57 – 59.
2. Савельев А.Н., Савельев Н.В., Локтева Н.А. Визуальная оценка динамических процессов в шарнирах головок универсальных шпинделей // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 4. С. 50 – 55.
3. Савельев А.Н., Савельев А.Н. Исследование динамики движения полосы в установившейся стадии прокатки // Изв. вуз. Черная металлургия. 1982. № 10. С. 71 – 74.
4. Савельев А.Н., Савельев Н.В. Экспериментальная оценка динамических нагрузок в зоне трения вкладышей универсального шпинделя прокатного стана // Изв. вуз. Черная металлургия. 2002. № 8. С. 51 – 53.
5. Савельев А.Н., Савельев Н.В., Локтева Н.А. Метод расчета давления в зоне контакта лопасть – вкладыш универсального шпинделя с учетом происходящих в ней волновых процессов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 4. С. 50 – 55.
6. Динамика машин и управление машинами: Справочник / В.К. Асташев, В.И. Бабитский и др. Под ред. Г.В. Крейнина. – М: Машиностроение, 1988. – 240 с.
7. Волновая динамика машин / Под ред. К.В. Фролова, Г.К. Сорокина. – М: Наука, 1991. – 188 с.
8. Манжосов В.К. Модели продольного удара. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 160 с.
9. Савельев А.Н., Козлов С.В., Живаго Э.Я., Прохоренко О.Д. Формирование математической модели продольных колебаний, возникающих в многодвигательном гидроприводе холодильников МНЛЗ // Вестник СибГИУ. 2018. № 2 (24). С. 58 – 64.
10. Савельев А.Н., Козлов С.В., Анисимов Д.О. Особенности формирования динамических моделей многодвигательных гидроприводов холодильников МНЛЗ // Вестник СибГИУ. 2016. № 2 (16). С. 28 – 31.
11. Савельев А.Н., Козлов С.В., Винокуров Н.Е. Динамические нагрузки, воздействующие на элементы многодвигательного гидропривода холодильника МНЛЗ // Изв. вуз. Черная металлургия. 2018. Т. 61. № 2. С. 149 – 155.
12. Расчет на прочность в машиностроении. Т. III. Инерционные нагрузки. Колебания и ударные нагрузки. Выносливость. Усталость: Справочник / Под ред. С.Д. Пономарева. – М.: Машгиз, 1959. – 1123 с.

© 2019 г. А.Н. Савельев, С.В. Козлов,
И.А. Булатов, О.Д. Прохоренко
Поступила 25 января 2019 г.

В.А. Кузнецов, Р.А. Шевченко, А.О. Патрушев, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев
Сибирский государственный индустриальный университет

ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для расчета режимов контактной стыковой сварки рельсов оплавлением необходимо знание удельного электросопротивления свариваемого материала. Отличительной особенностью процесса сварки оплавлением от сварки сопротивлением является наличие оплавленного слоя между торцами деталей. При этом необходимо понимать, что электрический ток протекает не по всему сечению сварного стыка [1 – 6].

При нагреве сопротивлением происходит оплавление, тепло выделяется в контакте между деталями при прохождении по ним тока. Напряжение подается на несоприкасающиеся друг с другом свариваемые детали, после этого начинается медленное сближение этих деталей. При соприкосновении даже ровно обрезанных торцов деталей контакт между ними возникает в отдельных местах по имеющимся микронеровностям. Контакты в данном случае (нагрев сопротивлением) доводятся до расплавления. Для этого подводимое напряжение и плотность тока в контактах должны быть достаточно велики, чтобы контакты успели разрушиться раньше, чем их площадь успеет существенно увеличиться в процессе сближения деталей. После взрыва контактов на их месте образуются кратера и поверхность постепенно становится неровной. Контакты в каждой точке на поверхности торцов возникают через определенные промежутки времени, а места контактирования непрерывно изменяются. В любой момент общая площадь, занимаемая контактами, значительно меньше площади поперечного сечения свариваемых деталей. На большей части поверхности оплавления между торцами имеется зазор, величина которого неодинакова по сечению деталей [7]. При этом нагрев и расплавление микроконтактов между торцами свариваемых деталей происходит за счет тепла Q , выделяемого по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где I – сила тока, А; R – сопротивление, Ом; t – время, с.

Знание количества выделившейся теплоты позволит корректировать тепловложения при

сварке, глубину зоны термического влияния, процесс формирования структуры шва. При этом можно будет заранее предсказать ожидаемое качество сварного соединения, а также предотвратить возможное образование дефектов в рельсовой стали.

Количество выделяемой теплоты за определенный промежуток времени зависит от площади контактируемых поверхностей и от удельного электросопротивления свариваемого материала. Удельное электрическое сопротивление ρ рассчитывается по формуле:

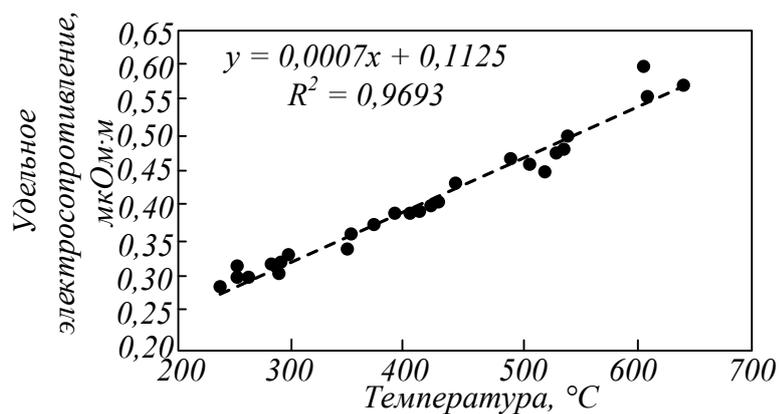
$$\rho = \frac{RS}{l},$$

где S – площадь поперечного сечения, м²; l – длина проводника, м.

Характер изменения электропроводности сплава зависит от фаз и структур в сплаве. При нагревании стали образуется неравновесная структура с большими искажениями кристаллической решетки и внутренними напряжениями. Плотность дефектов по всему объему кристалла резко возрастает, что приводит к значительному росту удельного сопротивления [8, 9]. Также при нагревании рельсовой стали (эвтектический сплав) выше 727 °С происходит превращение перлитной структуры в аустенитную.

В работе [10] исследовали влияние химического состава рельсовой стали на удельное электрическое сопротивление. В настоящей работе проведено измерение электросопротивления рельсовой стали в интервале температур 200 – 700 °С. Использовали образцы размером 90×30×10 мм. Химический состав рельсовой стали, используемой при исследовании электросопротивления, следующий: 0,76 % С; 0,77 % Мn; 0,53 % Si; 0,37 % Cr; 0,04 % V; 0,009 % Р; 0,005 % S; 0,003 % Al; 0,07 % Ni; 0,11 % Cu; 0,005 % Mo; 0,001 % Nb; 0,005 % Sn; 0,002 % Sb (по массе).

Для нагрева образца использовали муфельную печь ЭКПС-50. Печь нагревали до 950 °С, устанавливали образцы и выдерживали их в течение 10 мин. Образцы вынимали из печи при 900 °С. Проводили замеры температуры и электросопротивления.



Зависимость удельного электросопротивления от температуры образцов

Температуру измеряли тепловизором HotFind-D (позволяет проводить измерение температур до 1500 °С). Тепловизор снабжен не охлаждаемой микроболометрической матрицей в фокальной плоскости объектива разрешением 160×120 пикс. Передача видеоизображения термограмм на персональный компьютер проводится с помощью платы видеозахвата аналогового сигнала в формате NTSC частотой 60 Гц.

Для замера электрического сопротивления рельсовой стали применяли прибор MI 3250 MicroOhm 10A (компактный микроомметр с испытательным током 10 А), предназначенный для измерения сопротивлений сварных соединений, соединений рельсовых путей, обмоток двигателей и генераторов и т.п. Во время измерения использовали электроды, позволяющие проникать через образовавшуюся при высоких температурах оксидную пленку.

На рисунке показана зависимость удельного электросопротивления образца.

На основе полученных данных построена регрессионная зависимость влияния температуры на удельное электрическое сопротивление рельсовой стали Э76ХФ.

Выводы. Проведено измерение электросопротивления образцов рельсовой стали Э76ХФ в диапазоне температур 200 – 700 °С. На основе полученных данных построена регрессионная зависимость влияния температуры на удельное электрическое сопротивление рельсовой стали Э76ХФ. Использование полученной регрессионной зависимости позволит производить расчет режимов контактной стыковой сварки рельсов оплавлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Weingrill L., Krutzler J., Enzinger N. Temperature field evolution during flash-butt welding of railway rails // Materials Science Forum. 2016. Vol. 879. P. 2088 – 2093.
2. Шевченко Р.А., Базайкин В.И., Кратько С.Н., Козырев Н.А., Патрушев А.О. Анализ токового режима работы сварочной машины К 1100 при сварке рельсов на этапе оплавления. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. Вып. 38. – М.; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 81 – 87.
3. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Шишкин П.Е., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. Вып. 37. – М.; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. С. 175 – 180.
4. Шевченко Р.А., Базайкин В.И., Кратько С.Н., Козырев Н.А., Шишкин П.Е. Исследование токового режима сварочной машины К1000 при сварке рельсов. – В кн.: Вестник Российской Академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. Вып. 20. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2017. С. 106 – 111.
5. Шевченко Р.А., Шишкин П.Е., Патрушев А.О. Расчет оптимальных режимов электроконтактной сварки железнодорожных рельсов. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 16 – 18 мая 2017 г. Вып. 21. Ч. 2. Естественные и технические науки. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 225 – 229.
6. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Патрушев А.О., Шишкин П.Е. Статистическая модель управления процессами контактной сварки рельсов // Вестник СибГИУ. 2017. № 1 (19). С. 4 – 8.

7. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением. – Киев: Наукова думка, 1976. – 213 с.
8. Привалов Е.Е. Электротехническое материаловедение: учебное пособие. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 234 с.
9. Петрова Л.Г., Потапов М.А., Чудина О.В. Электротехнические материалы: учебное пособие. – М.: изд. МАДИ (ГТУ), 2008. – 198 с.
10. Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Методика определения электрического сопротивления рельсовой стали. – В кн.: Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сборник научных трудов. Вып. 40. – М.; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. С. 111 – 117.

© 2019 г. *В.А. Кузнецов, Р.А. Шевченко, А.О. Патрушев, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев*
Поступила 19 февраля 2019 г.

В.В. Стерлигов, Д.О. Мигель, Р.О. Мигель

Сибирский государственный индустриальный университет

УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЭЦ

Экологические проблемы чрезвычайно актуальны как для отдельного предприятия или всего промышленного комплекса страны, так и для Земли в целом. Развитие промышленности – результат научно-технического прогресса и производственной деятельности людей. С другой стороны, промышленность – это основной потребитель природных ресурсов и мощный источник загрязнения.

Парниковый эффект заключается в регистрируемом из космоса повышении температуры нижних слоев атмосферы Земли в сравнении с эффективной температурой, а именно температурой теплового излучения планеты. Первые упоминания об этом явлении появились еще в 1827 г.: Жозеф Фурье высказал предположение о том, что оптические характеристики атмосферы Земли аналогичны характеристикам стекла, уровень прозрачности которого в инфракрасном диапазоне ниже, чем в оптическом [1]. При поглощении видимого света температура поверхности повышается и возникает тепловое (инфракрасное) излучение, и, так как для теплового излучения атмосфера не прозрачна, это тепло собирается у поверхности планеты и со временем повышается ее температура.

Тот факт, что атмосфера способна не пропускать тепловое излучение, вызван присутствием в ней “парниковых” газов, которые состоят, в основном, из углекислого газа, метана, оксида азота (I), гексафторида серы, перфторуглеродов и гидрофторуглеродов [2]. На протяжении последних десятилетий концентрация парниковых газов в атмосфере сильно увеличилась и основной причиной ученые считают человеческую деятельность. Наибольший вклад вносит диоксид углерода CO₂ (70 % диоксида углерода антропогенного происхождения) [3]. Источником диоксида углерода является углеводородное топливо, используемое при сжигании для различных целей: CO₂ образуется при окислении углерода кислородом. Главная

опасность парникового эффекта заключается в вызываемых им изменениях климата. Ученые считают, что усиление парникового эффекта становится и причиной увеличения рисков для здоровья всего человечества. Прежде всего, страдают представители малообеспеченных слоев населения. Уменьшение производства продуктов питания, которое является последствием гибели посевов и уничтожения пастбищ засухой или, наоборот, затоплениями, неизбежно приведет к нехватке продуктов [4]. Кроме этого, повышенная температура воздуха вызывает обострение сердечных и сосудистых заболеваний, органов дыхания. Рост температуры воздуха может стать причиной расширения ареала обитания животных тех видов, которые являются переносчиками опасных болезней. Из-за этого, к примеру, энцефалитные клещи и малярийные комары могут переселиться в места, где у людей отсутствует иммунитет к переносимым ими заболеваниям.

Основные поставщики парниковых газов – промышленные предприятия, которые являются крупнейшими потребителями энергоресурсов: на их долю приходится до 50 % энергопотребления в стране [1]. Половина потребляемого промышленностью топлива и более трети электроэнергии преобразуется на специальных установках в энергетический потенциал разнообразных энергоносителей (теплоту пара и горячей воды; энергию сжатого воздуха, кислорода и т.п.), применяемых в технологических комплексах предприятия. Остальная часть топлива и электроэнергии используется непосредственно в технологических комплексах. Представление о потреблении энергоресурсов в различных сферах показано в табл. 1.

Общие тенденции в отношении различных отраслей экономики одинаковы для всех стран,

Т а б л и ц а 1

Основные направления использования энергии в мире [5]

Страна	Количество использованной энергии, %, по направлению			
	транспорт	промышленность	выработка электроэнергии	быт
Россия	8	45	25	24
США	27	23	37	13
Великобритания	20	34	30	15
Китай	3	69	18	10
Япония	20	49	20	9

Структура энергопотребления России отраслями промышленности [5]

Вид промышленности	Энергопотребление, %
Промышленность	42,0
в том числе	
металлургия	17,0
машиностроение и металлообработка	6,0
химическая промышленность	5,0
газовая промышленность	2,5
строительная промышленность	2,8
энергетика	4,7
нефтехимическая промышленность	4,0
Транспорт	13,5
Сельское хозяйство	12,5
Коммунальное хозяйство	32,0

отклонение значений в каждом кластере относительно невелико от усредненных значений [5]. Подробнее структура энергопотребления России представлена в табл. 2.

В настоящий момент в РФ действуют нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ для котельных установок, регламентированные ГОСТ Р 50831 – 95 [6], в котором указаны нормативы удельных выбросов для вновь вводимых котельных установок, но нет показателей для действующих установок, введенных до 2000 г. Таким образом, для большей части работающего парка котельных установок не установлены нормативы удельных выбросов. Анализ существующего состояния котельных установок, сжигающих уголь, газ, мазут, показывает большой диапазон значений удельных выбросов загрязняющих веществ. Эти различия могут быть объяснены влиянием на работу котельной установки различных факторов: паропроизводительности котельной установки; сроков эксплуатации котлов (и, соответственно, их технического состояния); структуры сжигаемого топлива; качества сжигаемого топлива; различных объемов внедренных мероприятий по подавлению образования оксидов азота (или их отсутствия), иных факторов.

Норматив удельного выброса загрязняющего вещества в атмосферу для котлоагрегата ТЭЦ может быть рассчитан: на единицу вводимого в топку тепла, г/МДж; на тонну условного топли-

ва, кг/т у.т.; на единицу объема дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу (при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,4$ и нормальных условиях (температуре 0 °С, давлении 101,3 кПа), мг/м³ [7].

К котельным установкам, вводимым в эксплуатацию после 2013 г., предъявляются нормативные требования, указанные в табл. 3 – 5.

На основе нормативных данных проведены расчеты для котельного агрегата ТП-87. Такие котлы установлены на II очереди «Западно-Сибирской ТЭЦ АО ЕВРАЗ ЗСМК». Основные показатели работы котельного агрегата ТП-87 приведены в табл. 6.

Расчет массовой концентрации оксида азота проводится по формуле [7]:

$$M_j = c_j V_{c,r} B_p k_n,$$

где c_j – массовая концентрация загрязняющего вещества j в сухих дымовых газах при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$ и нормальных условиях, мг/м³; $V_{c,r}$ – объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании 1 кг (1 м³) топлива; B_p – расчетный расход топлива (при определении выбросов в г/с берется в т/ч (тыс. м³/ч), в тоннах за отчетный период – берется в т/год, т/квартал, т/мес (тыс. м³/год, тыс. м³/квартал, тыс. м³/мес);

Предельные значения концентрации твердых частиц для котельных установок при использовании твердых и жидких топлив (за исключением газовых турбин и газовых двигателей), которые будут действовать после 01.01.2016 г. [8]

Тепловая мощность котельной установки, МВт	Предельные значения концентраций твердых частиц, мг/м ³
50 – 300	20
>300	10

Т а б л и ц а 4

Предельные значения концентрации ($\text{мг}/\text{м}^3$) твердых частиц для котельных установок, сжигающих твердое или жидкое топливо (кроме газовых турбин и газовых двигателей), которые будут действовать после 01.01.2016 г. [8]

Тепловая мощность установки, МВт	Предельная концентрация вредных частиц, $\text{мг}/\text{м}^3$		
	Каменный и бурый уголь, др. твердое топливо	Биомасса и торф	Жидкое топливо
50 – 100	30	30	30
100 – 300	25	20	25
>300	20	20	20

Т а б л и ц а 5

Предельные значения концентрации оксидов азота для котельных установок при использовании твердых и жидких топлив (за исключением газовых турбин), которые будут действовать после 01.01.2016 г. [8]

Тепловая мощность котельной установки, МВт	Предельная концентрация вредных частиц, $\text{мг}/\text{м}^3$		
	Уголь и другие твердые топлива	Биомасса и торф	Жидкое топливо
50 – 100	300 – каменный уголь 400 – бурый уголь	250	300
100 – 300	200	200	150
>300	150 200 – бурый уголь	150	100

Т а б л и ц а 6

Основные показатели работы котельного агрегата ТП-87

Показатель	Значение показателя
Тип котла	ТП-87
Максимальная нагрузка, т/ч	420
Средняя нагрузка в течение года, т/ч	370
Сжигаемое топливо	Природный газ, уголь
Сорт угля	Кузнецкий тощий
Максимальная доля угля по теплу при максимальной нагрузке	0,2
Средняя в течение года доля угля (по теплу)	0,08
Расход топлива при максимальной нагрузке, т у.т./ч	40,0
Расход топлива при средней нагрузке, т у.т./ч	35,5
Годовой расход топлива на котел, т у.т.	213000

k_n – коэффициент пересчета (при определении выбросов в г/с $k_n = 0,278 \times 10^{-3}$; в тоннах $k_n = 10^{-6}$, при этом расход топлива V_p берется в т у.т./ч для определения максимальных выбросов и в т.у.т за отчетный период (для определения валовых выбросов) [7]. Экспериментальные зависимости концентрации оксидов азота NO_x от нагрузки котла для случаев раздельного сжигания угля и газа представлены на рис. 1. Зависимость концентрации оксида углерода CO_2 представлена на рис. 2.

Наибольшее количество выбросов ТЭЦ в атмосферу происходит во время пиковой нагрузки котельного агрегата. Эта проблема особенно актуальна в зимнее время, когда требуется увели-

чение нагрузки для отопления жилого фонда. Кроме того, работа на пиковых параметрах может возникать при нестационарных ситуациях или во время аварий при выходе из строя технологического оборудования. В этих ситуациях вся нагрузка распределяется на резервное оборудование. Основное оборудование в кратчайший срок должно было выведено на режимные параметры. В качестве резерва было бы рационально использовать газотурбинные установки. Главное достоинство таких установок – минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу. Снижению выбросов в последнее время уделяется все больше внимания.

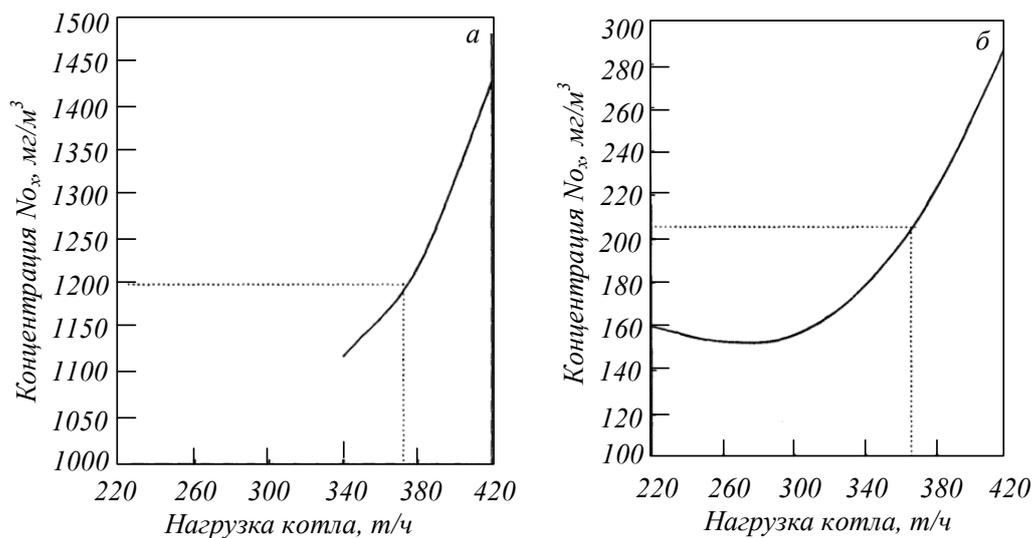


Рис. 1. Зависимость концентрации оксидов азота от нагрузки котла при сжигании угля (а) и газа (б)

Рассмотрим влияние выбросов на здоровье человека. Известно, что наибольшее антропогенное воздействие топливно-энергетических комплексов на окружающую среду оказывают вещества, выбрасываемые с дымовыми газами ТЭЦ и со сточными водами [9, 10]. Дополнительным аргументом является то, что наибольший вред человеку наносят вещества, попадающие в организм человека через дыхательные пути (до 68 % болезней человечества). Следует отметить, что определить влияние каждого отдельного вещества в общей гамме загрязнителей атмосферы чрезвычайно сложно. Это обстоятельство затрудняет и без того непростую проблему оценки воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду.

Выводы. Приведенные данные по выделению и влиянию отдельных выбросов показывают реальное воздействие предприятия (ТЭЦ и всей теплоэнергетики) на экологию региона. Необходимо исследование влияния различных факторов рабо-

ты ТЭЦ (вида топлива, нагрузки, стабильности работы и др.) на экологию региона и экономику производства. Но задача экология – экономика выводит исследование на макроуровень и может быть решена путем большой и скоординированной работы большой группы исследователей. В конечном счете такая информация должна быть отражена в технических картах работы котлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Причины, проблемы и последствия парникового эффекта. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mining-prom.ru/toplivodob/geotermiya/parnikovyy-effekt/> (Дата обращения 17.02.2019).
2. Киотский протокол к рамочной конференции организации объединенных наций об изменении климата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12131392> (Дата обращения 17.02.2019).

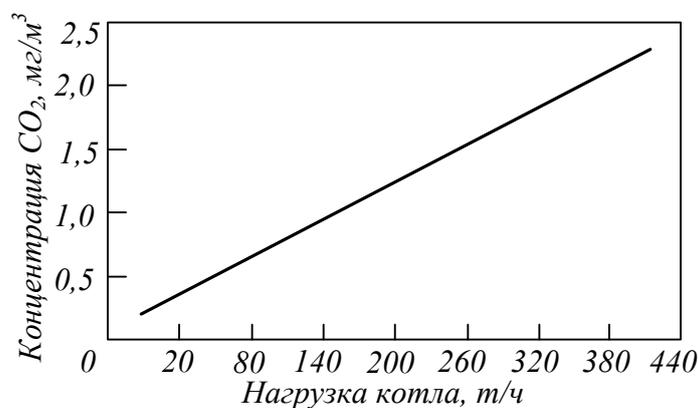


Рис. 2. Зависимость концентрации углекислого газа от нагрузки котла

3. Экобаланс. Независимая экологическая экспертиза. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekobalans.ru/investigations/uglekisluijgas> (Дата обращения 18.02.2019).
4. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста. – М.: Прогресс, 1994. – 303 с.
5. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев В.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание. В 2 кн. Кн. 1. / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2010. – 688 с.
6. ГОСТ Р 50831 – 95. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200026436> (Дата обращения 17.02.2019).
7. РД 34.02.305 – 98. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://snipov.net/c_4691_snip_103942 (Дата обращения 17.02.2019).
8. Нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://urist-edu.ru/akts/66609/index.html> (Дата обращения: 17.02.2019).
9. Пугач Л.И. Энергетика и экология: учебное пособие. – Новосибирск: изд. НГТУ, 1999. – 197 с.
10. Гаврилов Е.И., Гуглина Л.Л., Покровская Л.С., Васильев К.М., Васильева Н.О., Берснев А.П., Микушевич В.М., Шумило Т.И., Земчихин Н.Н., Сердюков В.А. Экологический мониторинг Рязанской ТРЭС // Теплоэнергетика. 1999. № 5. С. 44 – 53.
11. Пугач Л.И. Проблемы рационального использования канско-ачинских углей на ТЭС. – Новосибирск: изд. НЭТИ, 1992. – 215 с.
12. Яворский И.А. О путях предотвращения выбросов оксидов азота технологическими методами сжигания твердых топлив // Теплоэнергетика. 1995. № 2. С. 17 – 23.

© 2019 г. *В.В. Стерлигов, Д.О. Мигель, Р.О. Мигель*
Поступила 25 февраля 2019 г.

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.817.4

М.К. Ларин, М.А. Бибик, Д.И. Елкина

Сибирский государственный индустриальный университет

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В современных условиях добыча угля подземным способом сопровождается обработкой газоносных угольных пластов с применением высокопроизводительного горно-шахтного оборудования, эффективность функционирования которого зависит от горно-геологических условий и ограничивается газовым фактором. Существенное значение для повышения объемов и безопасности добычи угля имеет совершенствование систем и средств дегазации угольных пластов, соответственно, уже при проектировании необходимо использовать информацию о газоносности угольных пластов, обуславливающую интенсивность поступления метана в горные выработки.

Дегазацию необходимо проводить с учетом полученных в процессе геологоразведочных работ прогнозных значений газоносности угля, а также уточнять эти данные при строительстве и эксплуатации шахты.

В Кузбассе коэффициент извлечения газа из угольных пластов составляет в среднем 0,15 – 0,17, а на шахтах, где проводится дегазация, – 0,23 – 0,26 [1]. Для оценки эффективности дегазации необходимо знать остаточную газоносность до и после проведения дегазации на подготовленном к обработке выемочном столбе. Исследования, испытания и измерения должны проводиться по существующим методикам с учетом требований по типовым методическим указаниям по испытаниям и измерениям.

В основе наиболее распространенных способов управления газовой выделением из пластов – механизм воздействия на угленосную толщу с целью возникновения переходного процесса системы уголь – метан путем приложения механической или тепловой энергии. В результате повышается газопроницаемость угольного массива и формируется направленное движение десорбированного метана в дегазационные выработки и скважины [2].

Неразгруженный от горного давления угольный пласт представляет собой пористую природную систему, которая имеет замкнутые, изолированные друг от друга поры, и является газоносной нефилтующей средой. Разгрузка такой среды от горного давления приводит к увеличе-

нию проницаемости, появлению трещин и объединению их в фильтрационные каналы, что, в свою очередь, увеличивает количество десорбированного метана и выделение его в горную выработку или скважину. При этом учитывается, что наличие растворенного метана является фактором, способствующим росту трещин, так как он снижает эффективную трещиностойкость угля, разрывает микроструктурные связи при изменении напряженного состояния угольного скелета, а также уже в свободном состоянии участвует непосредственно в развитии трещины. Сорбированный газ обладает упругостью, ранее не учитываемой при анализе системы уголь – метан, а его наличие в угле в несколько раз уменьшает трещиностойкость.

Весь ряд существующих и разрабатываемых методов интенсификации процессов газовой выделении из углей и угольных пластов можно разделить на три большие группы [3, 4]:

- методы, основанные на механическом дроблении угля, повышении его газопроницаемости и высвобождении адсорбированных газов, находящихся в макропорах;

- так называемые физико-химические методы, основанные на растворении неорганических минеральных компонентов угля или на вытеснении сорбированных газов поверхностно-активными веществами;

- методы воздействия, в которых деструкция системы уголь – газ осуществляется на молекулярном и надмолекулярном уровне (термобарогradientный и виброволновой (ультразвуковое и электромагнитное воздействие).

Значения энергии деструкции природной системы уголь – газ приведены в таблице [5].

Гидроразрыв угольных пластов рассматривается как процесс развития разрывных нарушений в элементах массива горных пород за счет изменения гидрогеомеханической ситуации при фильтрации жидкости под давлением. Для изучения задач фильтрации и разрушения массива преимущественно используется метод конечных элементов с применением процедуры фиктивных узловых сил.

Деструкции природной системы уголь – газ

№	Форма нахождения газа	Относительное содержание, %	Тип связи	Энергия деструкции		
				эВ/м	кДж/м	ккал/м
1	Свободный газ	5 – 6	Адгезионная	0,01 – 0,02	0,96 – 1,92	0,23 – 0,46
2	Сорбированный на поверхности и в макропорах	8 – 10	Физическая сорбция	0,1 – 0,2	9,60 – 19,20	2,30 – 4,60
3	Сорбированный в микропорах	20 – 25	Объемное заполнение	0,4 – 0,5	38,40 – 48,00	9,20 – 11,50
	Клатратные соединения	10 – 12	Хемосорбция	0,8 – 1,2	76,80 – 115,20	18,40 – 27,60
	Твердо-газовый раствор	40 – 50	Раствор внедрения	1,5 – 2,0	144,00 – 192,00	34,50 – 46,00
	Внутримолекулярное и надмолекулярное Ассоциаты	3 – 5	Химическое взаимодействие	3,5 – 4,0	334,00 – 384,00	80,00 – 90,00

Во время проведения мероприятий по осуществлению гидроразрыва в выбранном интервале скважины, при закачке в нее жидкости создается высокое давление. На первом этапе в призабойной зоне происходит расширение естественных трещин. Когда давление нагнетаемой жидкости превысило определенную величину, трещины соединяются, причем образование одних может приводить к закрытию других. В породах создается несколько широких трещин большой протяженности, то есть происходит гидравлический разрыв.

В исследованиях механических процессов, происходящих в горных породах при гидроразрыве, обычно рассматривается возникновение и развитие одиночной трещины при закачке нефилтующейся жидкости. Полагают, что закономерности гидроразрыва фильтрующейся жидкостью будут аналогичными. Трещины гидроразрыва зарождаются и развиваются в результате взаимовлияния гидродинамических и геомеханических сил. Закачка жидкости в определенном интервале скважины приводит к изменению гидростатического давления и гидродинамических сил вокруг скважины, что создает в породе вокруг нее дополнительные деформации и напряжения, при которых и происходит гидроразрыв. Деформирование и разрушение пород влияют на фильтрационные процессы.

Особенностью процесса гидродинамического воздействия является приложение к свободным поверхностям угольного пласта знакопеременных нагрузок. Эти нагрузки создаются повышением и сбросом давления закачанной в пласт рабочей жидкости. При этом открытые поры угля заполняются водой (в трещинах и порах

происходит прямая фильтрация, а поры с меньшими размерами заполняются жидкостью посредством сил капиллярного поднятия). Газ, находящийся в заполняемом жидкостью фильтрующем объеме, вытесняется в глубь массива. При сбросе давления происходит резкое изменение в напряженном состоянии массива. Жидкость и вытесняющий ее газ перемещаются в сторону скважины. Однако скорость изменения давления на стенках скважины значительно превышает скорость обратной фильтрации жидкости в поровом пространстве угля. В результате в пласте возникают силы, направленные на отрыв заполненного жидкостью слоя угля. Образование при отрыве этого слоя новых поверхностей вызывает десорбцию газа с этих поверхностей, что способствует дальнейшему разрушению пласта угля [6].

Следующая группа активных методов интенсификации выделения метана в угле породного массива основана на использовании камуфлетных (торпедующих) взрывов малых зарядов взрывчатых веществ, размещаемых в дегазационных скважинах. Известно, что при таком воздействии на пласт возникает волна дробления, распространяющаяся от очага взрыва в окружающую среду и обеспечивающая развитие локальных очагов разгрузки, эффективный радиус которых зависит от мощности заряда, физико-механических свойств угля и вмещающих пород, конкретных геологоструктурных особенностей залегания пласта и других факторов.

При торпедировании скважин или взрывании камуфлетных зарядов в угольном пласте образуются зоны разгрузки и переуплотнения, что в два – три раза увеличивает интенсивность дега-

зации не только за счет повышения трещиноватости и газопроницаемости пород, но и в результате действия механизма «отсоса» газов в очаг взрыва, где формируется волна разрежения.

Эффективность торпедирования скважин или камуфлетного взрывания достаточно высока: газоотдача увеличивается до 55 – 60 %. Однако развитие этих методов сдерживается их высокой сложностью и трудоемкостью.

Перспективным воздействием для интенсификации газоотдачи угольных пластов, направленной на деструкцию микропоровых и надмолекулярных структур угольного вещества, следует принимать термобароградиентный способ воздействия на систему уголь – газ. Этот способ реализуется путем применения специального скважинно-бурового оборудования, обеспечивающего создание на скважинах забоя высоких перепадов давления и температуры. При этом наблюдаемые депрессионно-вакуумные эффекты вызывают образование постепенно продвигающихся в глубь угольного пласта зон разупрочнения-сжатия, активирующих деструкцию надмолекулярных структур угольного вещества и интенсивное выделение связанных газов. Несомненным преимуществом этого метода является возможность его применения не только для среднеметаморфизованных каменных углей, но и антрацитов, что существенно увеличивает количество возможных объектов для извлечения угольного метана. Интерес представляют развиваемые рядом исследователей способы интенсификации процессов дегазации, основанные на вибрационно-волновом воздействии на угольный пласт. В основе этих электрофизических способов лежит поэтапное «закачивание» в пласт энергии упругих деформаций с последующим или одновременным воздействием на молекулярные и надмолекулярные структуры угольного вещества средне- или высокочастотным электромагнитным излучением (от 60 Гц до 100 МГц).

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что степень дегазации угольного пласта, а значит и скорость газовыделения из него определяются уровнем деструкции природной системы уголь – метан, для которой требуется определенная внешняя энергии в зависимости от формы нахождения в рассматриваемой системе газовой компоненты.

Технологии по увеличению газовыделения из угольного массива не позволяют установить однозначно критерии выбора вида техногенного воздействия на угольный пласт с целью увеличения его газовыделения. Это обусловлено тем, что критерии выбора вида техногенного воздействия на угольный пласт должны учитывать,

какой вид воздействия является оптимальным для конкретного угольного пласта, состоящего из угольного достигшего определенной степени метаморфизма вещества [7 – 12]. В работе [13] показана реакция природной системы уголь – газ на различные техногенные воздействия, а именно, силовое, тепловое и виброволновое. При этом все три вида внешнего воздействия исследованы как теоретически, так и экспериментально.

Исследования [13] показали, что методы внешнего воздействия эффективны в своей области изменения степени метаморфизма углей (тепловой – $V_T = 2 \div 42 \%$; силовой – $V_T = 2,0 \div 17,6 \%$; виброволновой – $V_T > 25 \%$), а в комплексе они перекрывают всю область известных значений степени метаморфизма углей от 2 до 42 %.

В качестве основных критериев выбора вида техногенного воздействия с целью повышения коллекторских свойств угольного пласта выбраны следующие:

- горно-геологические условия залегания угольного пласта;
- степень метаморфизма вещества угольного пласта;
- степень извлечения угольного метана в результате интенсификации газовыделения метана из угольного пласта после применения техногенного воздействия и возможность обеспечения требуемых дебитов угольного метана;
- энергетические затраты на реализацию техногенного воздействия;
- энергетические затраты на 1 м³ добываемого угольного метана.

В ходе настоящего исследования получены следующие результаты:

- установлено, что методы воздействия на угольный массив, способствующие увеличению количества метана, заблаговременно добываемого из угольного месторождения, являются важным элементом технологии дегазации;
- наиболее перспективным путем увеличения добычи метана из неразгруженных пластов на больших глубинах являются трансформации структуры газоносного угольного вещества на высших уровнях строения;
- по результатам выполненного анализа рассмотренные методы интенсификации газовыделения из угольных пластов были разделены на три группы:

1 – методы, основанные на механическом дроблении угля, повышении его газопроницаемости и высвобождении адсорбированных газов, находящихся в макропорах;

2 – физико-химические методы, основанные на растворении неорганических минеральных

компонентов угля или на вытеснении сорбированных газов поверхностно-активными веществами;

3 – методы, основанные на высвобождении метана на молекулярном и надмолекулярном уровне (термобароградиентный и виброволновой).

Силовой вид воздействия наиболее эффективен для углей типа антрацитов, тощих и паровично-сжигающихся, то есть углей, имеющих $V_T = 4,0 \div 17,6 \%$.

При этом использование энергии гидроразрыва составляет менее 1 %; тепловое воздействие эффективно для степени метаморфизма углей 2 – 42 %; для достижения существенного эффекта (до 20 %) требуется, чтобы тепловое воздействие проводилось в сравнительно легко достижимом на практике диапазоне температур 40 – 800 °С; виброволновой вид воздействия обеспечивает дополнительный эффект интенсификации извлечения метана за счет воздействия на мезо- и макропоры угольного вещества, то есть этот вид воздействия дает наибольший эффект для мезопористых углей, к которым относятся угли с $V_T > 25 \%$.

Выводы. Рассмотренные методы внешнего воздействия на угольное вещество эффективны в своей области изменения степени метаморфизма углей (тепловой $V_T = 2,0 \div 42 \%$, силовой $V_T = 2,0 \div 17,6 \%$; виброволновой $V_T > 25 \%$), а в комплексе они перекрывают весь диапазон известных значений степени метаморфизма углей от 2 до 42 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Airey E.M. Gas emission from broken coal. An experimental and theoretical investigation // Int. J. Rock Mech. Pergamon Press. 1968. P. 475 – 494.
2. Walker P.L.Ir., Austin L.G., Nandi S.G. Chemistri and phisics of carbon. Vol. 2. "Activated diffusion of gases in molekularsive materials". – Mercel Deccer, Ins., New York, 1966.
3. Анализ результатов исследований и промышленных экспериментов по применению искусственных воздействий на горный массив в целях интенсификации извлечения углеводородов из нефтяных, газовых и угольных месторождений. – М.: изд. МГГУ, 1998. – 100 с.
4. Угольная база России. Т. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
5. Алексеев А.Д., Молчанов А.Н. Физическое состояние метана в ископаемом угле в аспекте его извлечения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. Отд. вып. 1. С. 113 – 122.
6. Броннер Д.Дж., Томпсон С., Ванги В. Обзор появляющихся технологий извлечения газа. – В кн.: Сокращение эмиссии метана: Доклады II Международной конференции. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. С. 364 – 372.
7. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. О возможности повышения газоотдачи угольных пластов на основе управления геотехническим состоянием углевмещающей толщи // Уголь. 2006. № 2. С. 64 – 66.
8. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. Интенсификация газоотдачи угольных пластов на основе регулирования их напряженно-деформированного состояния // Уголь. 2006. № 7. С. 60 – 63.
9. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. О государственной поддержке решения проблемы угольного метана в России. – М.: изд. МГГУ, 2006. – 45 с.
10. Гурьянов В.В. Комплексное освоение георесурсов угленосных отложений и заблаговременное извлечение угольного метана. – М.: изд. МГГУ, 2006. – 67 с.
11. Трубецкой К.Н. Оценка ресурсного потенциала метанугольных месторождений России и обоснование инвестиционной привлекательности его промышленного освоения. – В кн.: Геомеханические и газодинамические аспекты повышения эффективности добычи шахтного и угольного метана. IV Международное совещание (Промгаз, ВНИМИ). – М.: ВНИМИ, 2006. – 56 с.
12. Трубецкой К.Н., Гурьянов В.В. Важнейшие вопросы освоения ресурсов метана угольных месторождений. – В кн.: Труды VIII Международной научно-практической конференции "Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности". – Кемерово: ЗАО КВК "Экспо-Сибирь", 2006. – 45 с.
13. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф. Булат, К.К. Софийский, Д.М. Жигленок и др. – Днепропетровск: Полиграфист, 2003. – 220 с.

© 2019 г. М.К. Ларин, М.А. Бирик,
Д.И. Елкина

Поступила 23 ноября 2018 г.

Г.Н. Волченко¹, А.Н. Инжуватов¹, А.Г. Кочетов¹, В.Н. Фрянов², О.В. Челпанов¹

¹ООО «ПРОМЭКОКЛИНИНГ»

²Сибирский государственный индустриальный университет

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ КИСЛОУПОРНЫМ СОСТАВОМ ПРИ РЕМОНТЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ С АГРЕССИВНОЙ СРЕДОЙ

Капитальный ремонт производственных зданий и сооружений проводится в основном для того, чтобы остановить разрушительный процесс в конструкциях стен и кровли, который вызван пылью, химическими реакциями газов, налетом, ржавчиной, вибрациями, перепадами температур и др. При этом часто необходимо обеспечить безостановочный режим производственного процесса, играющего важную экономическую роль. Кроме того, при ремонте должны обеспечиваться безопасные условия труда. Важно выполнение основной задачи – обеспечения конкурентоспособности предприятия. При этом проект и осуществление капитального ремонта должны быть рентабельными [1].

В настоящей работе представлен пример производственного опыта капитального ремонта производственных сооружений газоподводящих боровов дымовых труб № 1, 2 агломерационной фабрики АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ ЗСМК) (транс-

портирование дымовых газов от агломашин № 1, 2, 3).

Характеристики дымовых газов:

- продукты сжигания природного газа и углерода в слое шихты;
- температура 120 – 200 °С;
- объем газов, подводимых к каждой трубе, – 1390 – 1440 тыс. м³/ч;
- агрессивные составляющие отводимых газов – сернистый ангидрид – 400 – 900 мг/м³ (SO₂) (степень агрессивности – Д);
- запыленность газов – 150 мг/м³.

Сооружение представляет собой монолитный железобетонный короб прямоугольного очертания переменного сечения. Размеры сооружения в плане в осях 4-20 составляют 96,0 × 19,4 м, высота боровов 5,890 – 15,850 м (рис. 1). Дата ввода в эксплуатацию: 1967 г. (борова дымовой трубы № 1), 1971 г. (борова дымовой трубы № 2).

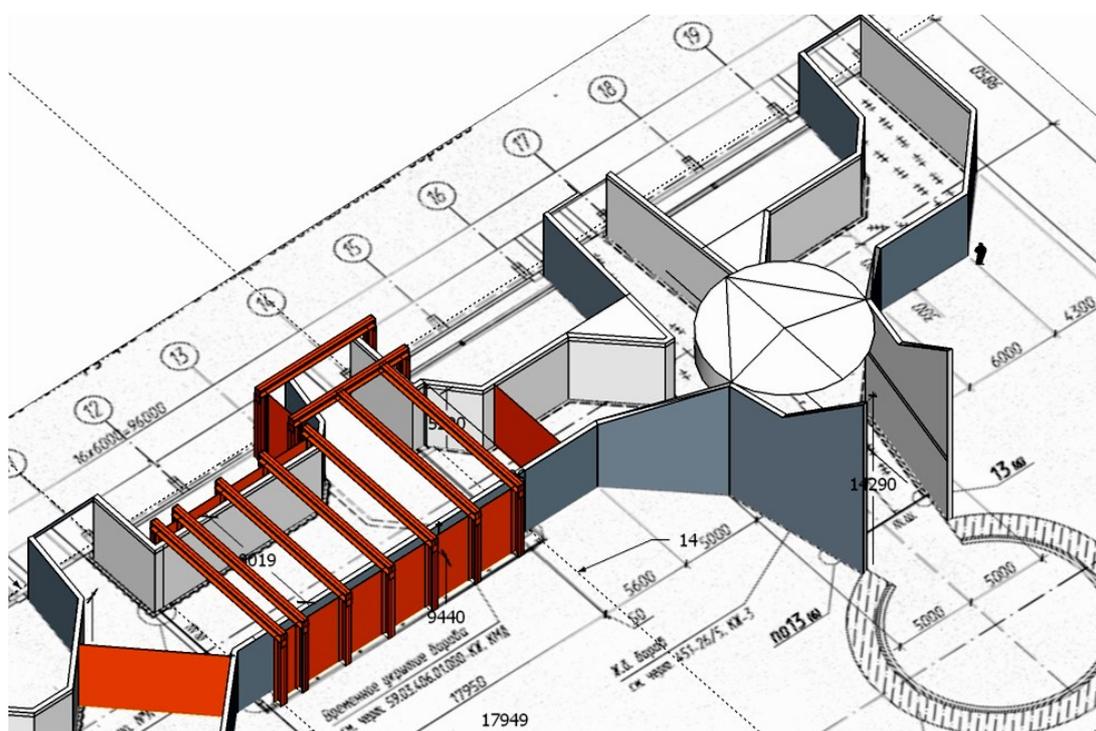


Рис. 1. Схема сооружения боровов дымовых труб № 1, 2



Рис. 2. Характер разрушения поверхности сооружения боровов дымовых труб

По заключению экспертизы промышленной безопасности на сооружения боровов дымовых труб в результате их эксплуатации возникли частичные разрушения железобетонных стен и потолочины с оголением арматуры (рис. 2) [2].

Проектом на ремонт сооружения предусматривалось восстановление стен и потолочины до первоначальных размеров. В проекте предлагался ремонт составом с использованием пластифицированного расширяющегося цемента Macflow (MasterEmaco, производства BASF). Дальнейшие работы включали нанесение и анкерование армирующей металлической сетки на стены и потолок с последующим торкретированием (набрызгбетонированием) подготовленной поверхности кислотоупорным составом на основе жидкого стекла толщиной 40 мм. Проектом предусматривалось проведение торкрет-работ согласно инструкции по составам, технологии изготовления и укладки кислотоупорных торкрет-штукатурок ВСН 421 – 81 [3].

Согласно инструкции [3] для полусухого торкретирования кислотоупорных смесей следует использовать цемент-пушки типа ЦПШК-1М, С-630А и др. Для нанесения кислотоупорных сме-

сей способом набрызга следует применять штукатурные агрегаты (например, передвижной штукатурный агрегат С-372А). Для получения более ровной поверхности торкрет-слоя и предотвращения забивки сопла торкрет-аппарата налипающей на его внутренние стенки торкрет-штукатурки, изготовленной на основе жидкого стекла, следует использовать сопло конструкции ВНИПИТеплопроекта (проект КБ-352).

Необходимые состав и содержание основных компонентов кислотоупорной торкрет-штукатурки по ВСН 421 – 81 приведены в таблице.

Проектом работ выбран состав 2.

Тендер на выполнение работ по капитальному ремонту производственных сооружений газоподводящих боровов дымовых труб № 1, 2 агломерационной фабрики АО «ЕВРАЗ ЗСМК» выиграла организация ООО «ПРОМЭКОКЛИНИНГ» (г. Новокузнецк, Россия) (Регистрационный номер в государственном реестре саморегулируемых организаций СРО-С-211-25032010) («ПЭК»), которая эффективно производит ремонтно-строительные и другие работы на крупных промышленных предприятиях региона: АО «ЕВРАЗ ЗСМК», «ОФ «Антоновская» и др.

Однако в данном случае инженеры компании «ПЭК» столкнулись со следующей проблемой: инструкция ВСН 421 – 81 [3] разработана в 1980 г. и указанное в ней торкрет-оборудование в настоящее время (после развала СССР) не выпускается и полностью утрачено. Современное (в основном зарубежное) дорогостоящее торкрет-оборудование для сухого и мокрого торкрета представлено брендами компаний MEYNADIER MASCHINEN, PUTZMEISTER, SIKA, SPERNO MASCHINENBAU, MEYCO, ORICA и др. Это оборудование предназначено для песчано-цементных смесей, затворяемых водой.

Состав и содержание основных компонентов кислотоупорной торкрет-штукатурки по ВСН 421 – 81

Компонент	Содержание (количество) сухих компонентов, % (по массе), (числитель) и расход компонентов, кг/м ³ , раствора (знаменатель), состава	
	1	2
Тонкомолотая силикат-глыба	15,0/280	–
Кремнефтористый натрий	4,7/87	3,4/60
Тонкомолотый наполнитель	26,3/483	34,0/630
Кварцевый песок	54,0/1000	62,6/1070
Жидкое стекло (плотность 1,25 + 0,05 г/см ³) (сверх 100 %)	–	20,0/440
Вода (сверх 100 %)	16,0/350	–



Рис. 3. Торкрет-установка Termiton на базе бетононасоса СО-241

Торкретирование смесей, затворяемых жидким стеклом, данным оборудованием практически невозможно, так как жидкое стекло имеет специфические физико-технические свойства (высокую плотность, вязкость и др.), что потенциально может вывести оборудование из строя (пробки в материальных рукавах, заклинивание вращающихся частей и др.) и создать аварийную ситуацию. Проведенный литературный анализ отечественного и мирового опыта по этому направлению показывает, что на современном оборудовании торкретирование кислотоупорными составами производят с применением кислотоупорных цементов, затворяемых водой. Однако стоимость материалов, оборудования и работ с применением кислотоупорных цементов в рассматриваемом случае значительно превышало смету на выполнение работ.

Инженерами ООО «ПЭК» совместно с ООО «СИБКОМ» было оперативно разработано новое, не имеющее аналогов (подана заявка на патент на полезную модель) торкрет-оборудование на базе выпускаемого в России пневмонагнетателя (бетононасоса) СО-241. Простая конструкция изделия СО-241 с применением разработанных «ноу-хау» позволила получить надежную торкрет-установку для решения сложных инженерных задач (подачи на большую высоту и др.) (рис. 3).

При торкретировании кислотоупорного состава, затворяемого жидким стеклом, отвердителем для жидкого стекла является кремнефтористый натрий, который может быть опасен для здоровья человека, так как является протоплазматическим ядом. Кремнефтористый натрий может проникать в организм человека через желудочно-кишечный тракт, дыхательные пути, кожу. Этот порошок относится к опасным веществам второго класса. При работе необходимо

использование защитных перчаток для рук, респираторов типа ТВ, специальной обуви и костюмов, противогазов типа БКФ и М. Это является дополнительным сдерживающим фактором использования такой технологии.

Разработанная технология занимает промежуточное место между сухим и мокрым торкретированием, использует достоинства обеих технологий. Предлагаемая технология предусматривает подачу раствора по материальному рукаву порциями: то есть подается раствор (как поршень), за ним воздух и опять раствор. Это позволяет легко удерживать рукав и ствол (торкрет-сопло) в руках: рукав полупустой, легкий. Возможна также подача раствора на большие расстояния и высоту. Полученный таким способом полусухой торкрет подробно описан в работе [4].

Инженерами ООО «ПЭК» постоянно совершенствуются уникальная техника и технология набрызгбетонирования (торкретирования) *Termiton* [5 – 7]. Технология *Termiton* предусматривает применение первоначального гидромонтажа поврежденной поверхности установкой высокого давления водяной струи (до 500 Бар). Команда высококвалифицированных инженерно-технических работников имеет современное оборудование (промышленные моечные аппараты высокого давления OERTZEN E500-30, RO-JET 90/150 на базе автомобиля «Газель») и многочисленные наработки по использованию режущей способности воды как инструмента по размывке твердых отложений и очистки емкостей, отстойников, инженерных сетей (рис. 4, а). Перед процессом торкретирования вся ремонтируемая поверхность сооружений газоподводящих боровов дымовых труб с целью промывки и гидромонтажа была обработана струями воды высокого давления. Последующее восстановле-



Рис. 4. Элементы техники и технологии Termiton:

a – мобильная установка с оборудованием высокого давления водяной струи; *б* – процесс торкретирования поверхности после гидродемонтажа песчано-цементным составом

ние поверхности до проектного контура осуществляют методом торкретирования ремонтным песчано-цементным составом с использованием цемента Macflow (рис. 4, б).

После достаточного набора прочности отремонтированной поверхности (от 3 суток) дальнейшие работы включали нанесение и анкерование армирующей металлической сетки на стены и потолок с последующим торкретированием подготовленной поверхности кислотоупорным составом на основе жидкого стекла толщиной 40 мм (рис. 5). Песчано-цементным составом с использованием цемента Macflow всего было отремонтировано 300 м² разрушенной поверхности сооружения боровов дымовых труб. Кислотоупорным составом на армирующую металлическую сетку было обработано 700 м².

В лаборатории кафедры геотехнологии института горного дела и геосистем Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ) были проведены испытания образцов моделей из применяемого кислотоупорного состава с жидким стеклом (состав 2) с целью определения физических характеристик бетона. Испытания проведены по методике работы [8] на гидравлическом прессе ПСУ-50 (рис. 6) при помощи молотка Кашкарова по ГОСТ 22690 – 88. Средний предел прочности материала моделей на сжатие (срок выдержки 30 дней) составил 25 МПа, средняя плотность образца 3200 кг/м³. Эти параметры полностью удовлетворяют требуемому качеству торкрет-штукатурки по ВСН 421 – 81 [3].



Рис. 5. Торкретирование кислотоупорным составом

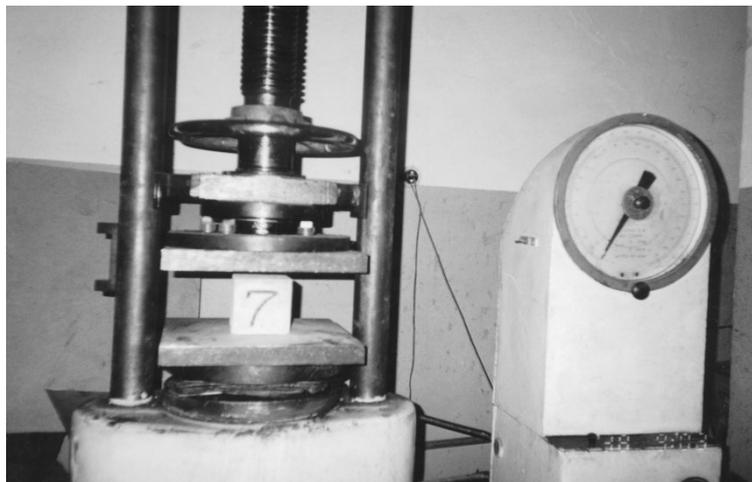


Рис. 6. Испытание образцов материала физических моделей на одноосное сжатие на гидравлическом прессе ПСУ-50

Выводы. Простая конструкция пневмонагнетателя СО-241 с применением разработанных «ноу-хау» позволила изготовить надежную торкрет-установку. С использованием этой установки в дальнейшем возможно совершенствование техники и технологии *Termiton*, решение сложных инженерных задач (подачи раствора на большую высоту и др.) по торкретированию кислотоупорным составом, затворяемого жидким стеклом. Торкретирование кислотоупорным составом на основе жидкого стекла на разработанном оборудовании использовано впервые в России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волченко Г.Н., Фрянов В.Н., Приб В.В., Волченко Н.Г. Нестандартный подход к повышению эффективности и ресурсосбережения малобюджетной технологии набрызгбетонирования при креплении горных выработок. – В кн.: Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 133 – 137.
2. Заключение экспертизы промышленной безопасности № 164/2016-зс на сооружения боровов дымовых труб № 1, 2 (инв. № 131000000305-00) агломерационной фабрики АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». – М.: ООО «ЦИЭКС», 2016. – 34 с.
3. ВСН 421 – 81. Инструкция по составам, технологии изготовления и укладки кислотоупорных торкрет-штукатурок. – М.: ММСС СССР, 1980.
4. Волченко Г.Н., Челпанов В.Г., Фрянов В.Н. Совершенствование техники и технологии набрызгбетонирования для расширения сферы применения при чрезвычайных ситуациях // Вестник СибГИУ. 2017. № 4 (22). С. 36 – 45.
5. Волченко Г.Н., Исахаров Б.Д., Фрянов В.Н., Волченко Н.Г., Волков Е.А., Приб В.В. Промышленные испытания ствола обеспыливающего набрызгбетонирования *Termiton X4* // Вестник СибГИУ. 2015. № 1 (11). С. 32 – 35.
6. Волченко Г.Н., Серяков В.М., Фрянов В.Н., Волченко Н.Г. Техника и технология набрызгбетонирования *Termiton*[®] для крепления горных выработок в сложных условиях. – В кн.: Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. С. 82 – 93.
7. Волченко Г.Н., Ярыгин И.Г., Фрянов В.Н. Резюме проекта «Техника и технология набрызгбетонирования *Termiton*[®]» для инвестора. – В кн.: Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2017. С. 148 – 152.
8. Волченко Г.Н. Энергоресурсосберегающие технологии взрывной отбойки напряженных горных пород на рудниках. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. – 238 с.

© 2019 г. Г.Н. Волченко, И.Н. Инжуватов,
А.Г. Кочетов, В.Н. Фрянов, О.В. Челпанов
Поступила 1 декабря 2018 г.

О.В. Шугаев

Сибирский государственный индустриальный университет

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ РАЗВИТИЯ БЕЗРЕЛЬСОВОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В сфере городской системы передвижения пассажиров троллейбусный транспорт занимает периферийное положение. Однако безрельсовый электрический общественный транспорт несравнимо экологичнее автомобильного, он значительно дешевле в обслуживании и эксплуатации. При этом троллейбусный транспорт имеет и недостатки, связанные с полным отсутствием автономии и низкой скоростью передвижения из-за привязки к контактной сети.

Одним из вариантов решения проблемы автономности и увеличения скорости передвижения троллейбусного транспорта может послужить применение топливных элементов (ТЭ), оснащенных твердополимерным электролитом, которые способны вырабатывать необходимую для полноценной работы безрельсового электрического общественного транспорта электроэнергию.

Целью настоящей работы является определение экономического эффекта от внедрения топливных элементов в безрельсовый электрический общественный транспорт:

– сравнение затрат на обслуживание троллейбусного, автомобильного и общественного электрического транспорта на колесном ходу, оснащенного топливными элементами;

– выявление срока окупаемости капитальных вложений, необходимых для переоборудования одной подвижной единицы безрельсового электрического общественного транспорта.

Объектом исследования выбран наиболее распространенный в Новокузнецке троллейбус марки ЗИУ-682Г-016.03, в табл. 1 приведены основные технические характеристики подвижной единицы [1]. Для переоборудования электрического пассажирского средства передвижения возможно применение твердополимерных топливных элементов марки НуРМ HD-30, которые способны вырабатывать эклектическую энергию, достаточную для полного перевода троллейбуса в автономный режим работы. Эксплуатационные характеристики электрохимических генераторов приведены в табл. 2 [2, 3].

Анализируя приведенные данные, можно сделать вывод, что для обеспечения непрерывной и бесперебойной эксплуатации троллейбуса во всех режимах работы требуется использование четырех блоков топливных элементов марки НуРМ HD-30. Для минимального изменения конструкции возможно расположение электрохимических генераторов на крыше транспортного средства. Также предполагается демонтаж токосъемного оборудования. Предлагаемая расстановка топливных элементов представлена на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные технические характеристики троллейбуса марки ЗИУ-682Г-016.03

Параметр	Значение
Длина, мм	11830
Ширина, мм	2476
Высота, мм	3435
Максимальная скорость движения с полной нагрузкой на горизонтальном участке дороги, км/ч	50
Мощность тягового электродвигателя, кВт	110
Номинальное напряжение (переменный ток), В	550
Снаряженная масса, кг	10335

Эксплуатационные характеристики топливных элементов марки НуРМ HD-30

Характеристика	Значение
Удельный расход топлива (0 °С, 760 мм рт.ст.), нм ³ /(кВт·ч) (кг/(кВт·ч))	0,648 (0,0583)
Расход топлива (учитывая мощность ТЭ), нм ³ /ч (кг/ч)	19,44 (1,75)
Рабочее давление, кПа	101,3
Напряжение, В	60 – 120
Допустимая сила тока, А	500
Номинальная мощность, кВт	30
КПД, %	55
Рабочая температура, °С	от –40 до +65
Степень чистоты водорода, требуемая для работы ТЭ, %	99,98
Масса, т	0,07
Габаритные размеры, мм:	
длина	950
ширина	1630
высота	265
Объем, м ³	0,041

В табл. 3 приведены данные работ [4 – 8] для сравнения энергозатрат на эксплуатацию реконструированного троллейбуса, работающего на водородном топливе, безрельсового общественного транспорта ЗИУ-682Г-016.03, функционирующего на электрической тяге, и автобуса (наиболее распространенного в городе Новокузнецк вида транспорта), сопоставимого по мощности. Потребление дизельного топлива автобусом ПАЗ-4234 рассчитывается исходя из среднего расхода топлива и разрешенной скорости.

Расчет стоимости потребленного водорода проведен с учетом уравнения Менделеева-Клапейрона и цены на баллон (40 л) водорода ГОСТ 9909 – 81 [4, 9] (не рассматривая расходы на емкость).

Анализируя приведенные в табл. 3 данные, можно сделать вывод, что использование топ-

ливных элементов марки НуРМ HD-30 позволит сократить эксплуатационные затраты практически в 4,6 раз, а по сравнению с автобусным транспортом – в 6,6 раз.

Для переоборудования системы питания троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03 с учетом стоимости топливных элементов [10, 11] и курса доллара на 20.02.2018 потребуется 407 400 рублей.

Для определения срока окупаемости капитальных вложений на переоборудование троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03 твердополимерными топливными элементами с платино-никелевым катализатором использована модель Брауна [12], которая учитывает прогнозируемое изменение затрат на водородное топливо на длительный период. Учитывается стоимость водорода по состоянию

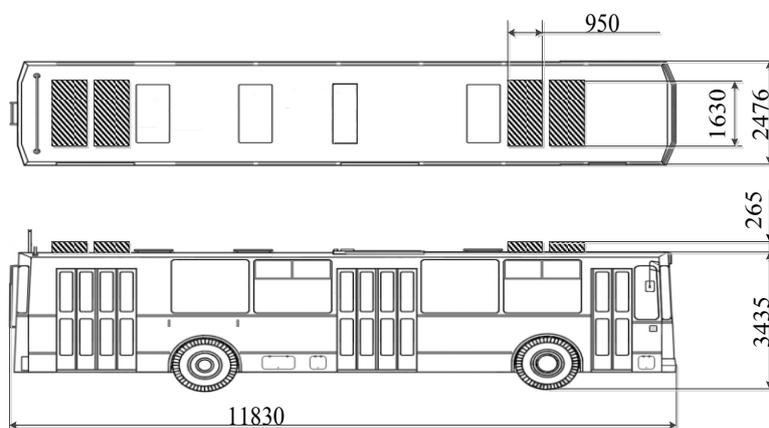


Рис. 1. Предлагаемая схема расположения топливных элементов на троллейбусе ЗИУ-682Г-016.03

Потребление различных видов энергоресурсов подвижным составом

Вид подвижного состава	Общая мощность, необходимая для работы, кВт (л.с.)	Топливо	Требуемое количество топлива	Стоимость, руб./ч
Троллейбус ЗИУ-682Г-016.03 на топливных элементах марки НуРМ HD-30	110	Водород газообразный технический марки А ГОСТ 3022 – 80, степень чистоты 99,99 %	71,2 нм ³ /ч (6,41 кг/ч)	87,7
Троллейбус ЗИУ-682Г-016.03, использующий контактную сеть	110	Эл.энергия (по среднесуточному тарифу)	110 кВт·ч	405,9
ПАЗ-4234	100 (136)	Дизельное топливо	14,4 л·ч	583,2

на январь 2018 г. [8] и значение инфляции (%) в период с июня по декабрь 2017 г. [13]. Расчет затрат на топливо для топливных элементов проведен в информационной среде Microsoft Excel. Аналогично рассчитано предполагаемое изменение стоимости электроэнергии в 2018 – 2019 гг. (с учетом данных [14 – 16] стоимости электроэнергии для юридических лиц на период с 2014 по 2017 гг.).

С целью выявления срока окупаемости затрат на переоборудование троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03 топливными элементами составлена имитационная модель для нахождения наименьшего срока эксплуатации оборудованного электрохимическими генераторами пассажирского подвижного состава, за который финансовые вложения на модернизацию в полной мере окупятся. Неиспользованные экономические ресурсы, предназначенные для работы транспорта на электрической тяге, будут являться средствами, возмещающими затраты на переоборудование. Расчетный период принят с 1 февраля 2018 г. при ежедневной средней нагрузке троллейбуса 16 ч [17].

Введем следующие обозначения: a, b, c, d, e, f, g, q – количество дней расчетного месяца; T – затраты на водородное топливо в зависимости от действия инфляции для расчетного месяца; E – затраты на электроэнергию в зависимости от действия инфляции для расчетного года; k – суточная норма работы одного троллейбуса ЗИУ-

682Г-016.03; L – затраты на переоборудование одного троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03 топливными элементами (407 400 руб.).

Целевая функция:

$$F = a + b + c + d + e + f + g + q \rightarrow \min.$$

Ограничения модели:

$$L \leq a(k(E1 - T12)) + b(k(E2 - T1)) + c(k(E2 - T2)) + d(k(E2 - T3)) + e(k(E2 - T4)) + f(k(E2 - T5)) + g(k(E2 - T6)) + q(k(E2 - T7));$$

$$a \leq 28; b \leq 31; c \leq 30; d \leq 31; e \leq 30; f \leq 31; g \leq 31; q \leq 30.$$

Поиск решения данной целевой функции выполнен методом обобщенного приведенного градиента (рис. 2).

С целью детального отображения экономии денежных средств от внедрения твердополимерных топливных элементов марки НуРМ HD-30 с платино-никелевым катализатором составлены диаграммы (рис. 3 и 4), где показаны доходы от экономии энергоресурсов с учетом инфляции за каждый месяц и накопление общего остатка за расчетный период.

Капитальные затраты на переоборудование троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03 топливными элементами НуРМ HD-30 окупятся при ежедневной нагрузке 16 ч за 79 дней.

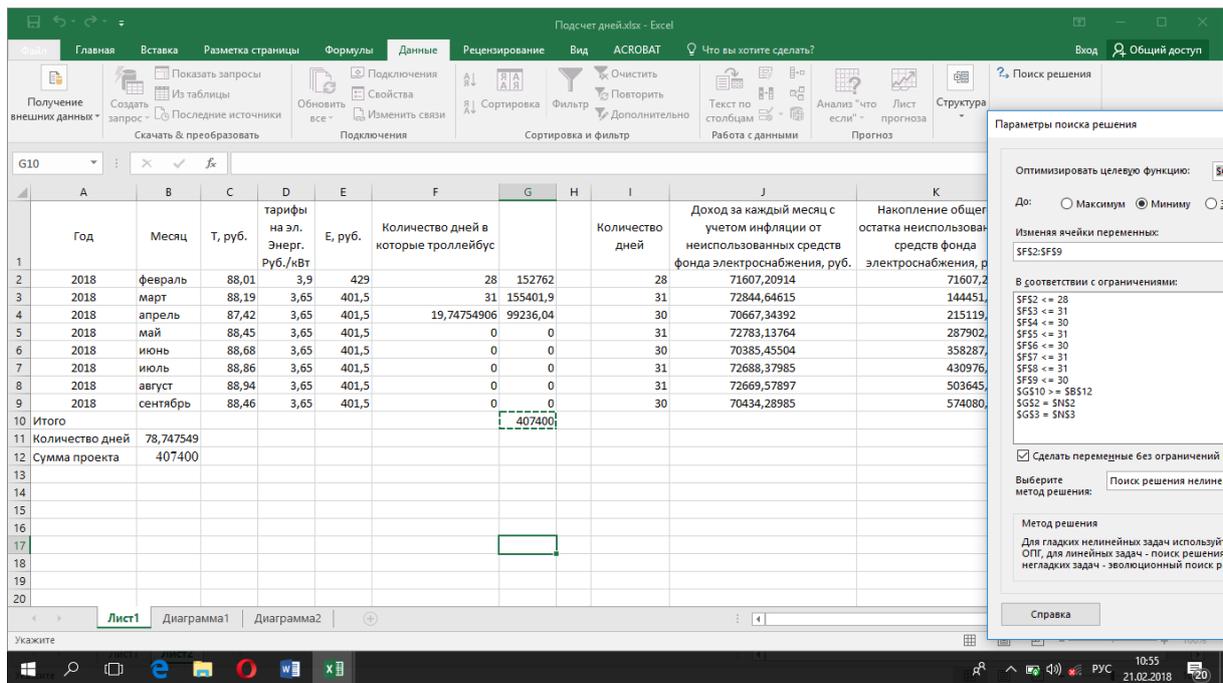


Рис. 2. Решения целевой функции определения срока окупаемости проекта внедрения автономных водородных ТЭ троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03 на период 8 месяцев

Выводы. Троллейбус ЗИУ-682Г-016.03, работающий на топливных элементах НурМ HD-30, полностью автономен и не требует затрат на монтаж и обслуживание контактной сети. Безрельсовый пассажирский подвижной состав, использующий электрохимические генераторы, способен передвигаться с более высокой скоростью за счет исключения токосъемного оборудования. Эксплуатационные расходы на обслуживание троллейбуса, оснащенного топливными

элементами, в 4,6 раза ниже по сравнению с затратами на эксплуатацию троллейбусов и в 6,6 раза по сравнению с затратами на автобусный транспорт. Срок окупаемости капитальных вложений, связанных с приобретением твердотопливных элементов с платиновым катализатором для переоборудования троллейбуса ЗИУ-682Г-016.03, при средней нагрузке 16 ч составляет не более 3 месяцев.



Рис. 3. Доходы от неиспользованных средств фонда электроснабжения за каждый месяц с учетом инфляции

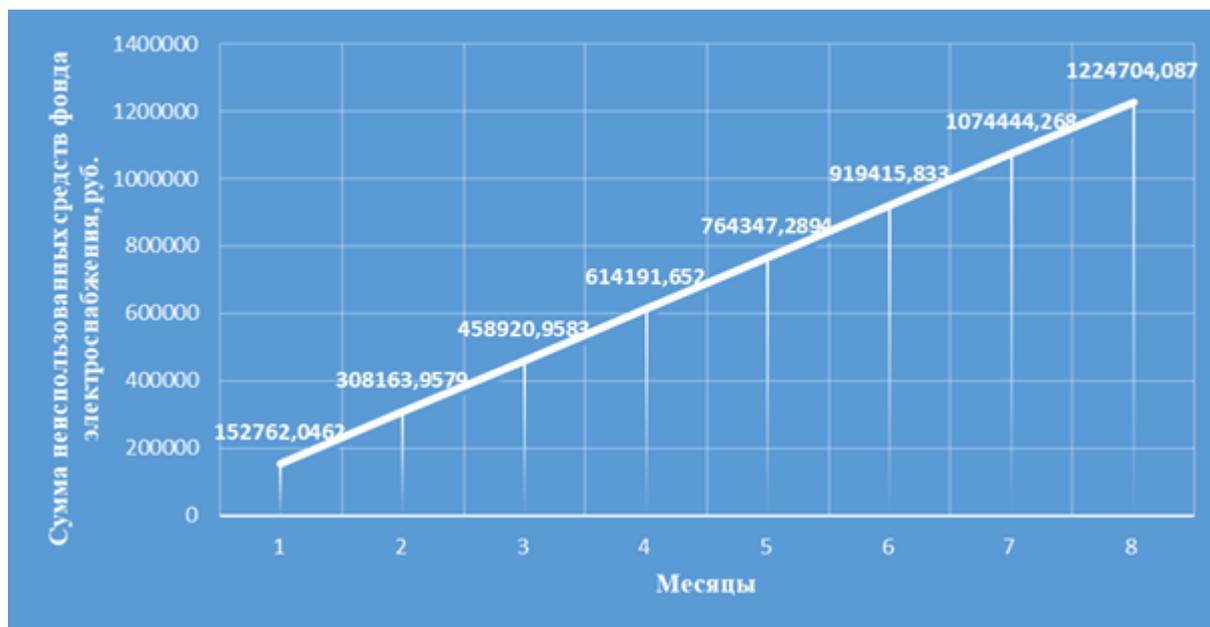


Рис. 4. Диаграмма накопления общего остатка неиспользованных средств фонда электроснабжения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Троллейбус ЗиУ-682Г-016.02, ЗиУ-682Г-016.03. Открытое акционерное общество "Троллейбусный завод" TROLZA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eltroll.ru/Troll/ZiU_682.pdf/ (Дата обращения 07.02.2018).
- HyPM™ HD30(33 kW): Hydrogenics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hydrail.appstate.edu/sites/hydrail.appstate.edu/files/9_Kammerer.pdf/ (Дата обращения 08.02.2018).
- Fuel Cell Technologies Office Accomplishments and Progress: energy.gov. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-technologies-office-accomplishments-and-progress/> (Дата обращения 08.02.2018).
- Сырбаков А.П., Корчуганова М.А. Топливо и смазочные материалы: учебное пособие. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2015. – 159 с.
- Тарифы на электроэнергию для Кемерово и Кемеровской области с 1 января 2018 года: Тарифы-24! Тарифы на энергоресурсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tarif-24.ru/russia/electro/2018/546-tarif-na-elektroenergiyu-dlya-keмеровo-i-keмеровskoj-oblasti-s-1-iyulya-2018-goda.html> (Дата обращения 13.02.2018).
- Автобус ПАЗ-4234: технические характеристики и фото. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
- Цены на бензин, ДТ, газ в Кемеровской области. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.benzin-price.ru/price.php?region_id=42/ (Дата обращения 13.02.2018).
- Водород газообразный технический марки А: НИИ КМ 2000-2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.niikm.ru/products/hydrogen/hydrogen_40/ (Дата обращения 08.01.2018).
- Водородный баллон 40 л: Промышленная компания Волга. Технические газы, газовые баллоны, газосварочное оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pkvolga.ru/vodorodni-ballon-40l/> (Дата обращения 20.02.2018).
- Fuel cells: IOP Institute of Physics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iop.org/resources/topic/archive/fuel/index.html/> (Дата обращения 20.02.2018).
- Fuel Cell Technologies Office Accomplishments and Progress [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-technologies-office-accomplishments-and-progress/> (Дата обращения 20.02.2018).
- Федосеев В.В., Гармаш А.Н., Орлова И.В. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебник для бакалавров. – М.: Юрайт, 2012. – 328 с.
- Таблица инфляции: Уровень инфляции в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://уровень-инфля->

ции.рф/%D1%82%D0%B0%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D0%B8.aspx/ (Дата обращения 22.11.2017).

14. Тарифы на электроэнергию, поставляемую Мосэнергосбыт для юридических лиц (предприятий) Московской области (МО), действующие с 1 июля 2014 года: Народная Служба Тарифов – НСТ: новые тарифы на электроэнергию, цены на газ, тепло, Россия – Украина. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newtariffs.ru/tariff/tarify-na-elektricheskuyu-energiyu-postavlyaemyu-mosenergobyt-dlya-yuridicheskikh-lits-na--2/> (Дата обращения 20.02.2018).
15. Тарифы на электроэнергию для предприятий и прочих потребителей Московской области, действующие с 1 июля 2015 года: Народная Служба Тарифов – НСТ: новые тарифы на электроэнергию, цены на газ, тепло, Россия – Украина. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newtariffs.ru/tariff/tarify-na-elektroenergiyu-dlya-predpriyatii-i-prochikh-potrebitelei-moskovskoi-oblasti-deist-0> (Дата обращения 20.02.2018).
16. Тарифы на электроэнергию, поставляемую Мосэнергосбыт для предприятий и прочих потребителей Московской области (МО), действующие с 1 января 2016 года: Народная Служба Тарифов – НСТ: новые тарифы на электроэнергию, цены на газ, тепло, Россия – Украина. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newtariffs.ru/tariff/tarify-na-elektroenergiyu-postavlyaemyu-mosenergobyt-dlya-predpriyatii-i-prochikh-potrebitelei-moskovskoi-oblasti-deist-0> (Дата обращения 20.02.2018).
17. Расписание троллейбусов в Новокузнецке: novokuznetsk.su городская электронная газета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://novokuznetsk.su/auto/trol/> (Дата обращения 20.02.2018).

© 2019 г. *О.В. Шугаев*
Поступила 13 сентября 2018 г.

Дж.Х. Джайлоев¹, И.Н. Ганиев¹, И.Т. Амонов², У.Ш. Якубов¹

¹Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан

²Технологический университет Таджикистана

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА Al + 2,18 % Fe, ЛЕГИРОВАННОГО СТРОНЦИЕМ В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Изучение сплавов системы Al – Fe представляет большой практический интерес, поскольку открывает путь к использованию как вторичного алюминия, так и первичного металла с повышенным содержанием железа. В настоящее время низкосортный алюминий с повышенным содержанием железа не находит применения, за исключением дегазации и раскисления стали.

Авторами работы [1] изучено влияние добавок железа к алюминию на дифференц – эффект, выражающийся в изменении скорости саморастворения при анодной поляризации. Исследования проведены в среде электролита 3 %-ного NaCl, моделирующего морскую воду. Было показано, что чем выше содержание железа в алюминии, тем более положительными устанавливаются потенциалы. Коррозионный процесс определяется скоростью растворения из пассивного состояния. Показано, что с увеличением времени взаимодействия сплава с раствором скорость коррозии начинает зависеть от содержания железа в сплаве, увеличивается также предельный диффузионный ток по кислороду: для чистого алюминия $i_{\text{дифф}} = 0,006 - 0,010 \text{ А/м}^2$, а при содержании в сплаве 3 % железа $i_{\text{дифф}} = 0,145 \text{ А/м}^2$, т.е. приближается к расчетному значению [1].

Для используемых в качестве анода сплавов с содержанием железа менее 1,5 % коэффициент полезного использования (КПИ) достигает значения 75 % [2]. Таким образом, показана возможность разработки протекторных сплавов на основе вторичного алюминия при легировании третьим компонентом. Цель настоящих исследований заключается в разработке сплавов на основе низкосортного алюминия с повышенным содержанием железа для того, чтобы получить такой сплав, который отличался бы особыми свойствами и мог применяться в промышленности. Для достижения поставленной цели в качестве объекта исследования выбран сплав эвтектического состава Al + 2,18 % Fe, который подвергался легированию стронцием в количествах

от 0,005 до 0,5 % (по массе). Выбор стронция как легирующего компонента объясняется его модифицирующим действием на структуру алюминиевых сплавов [3].

Сплавы для коррозионно-электрохимических исследований получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ с использованием двойных алюминиевых лигатур с железом (2,18 %) и стронцием (5 %). Применение лигатур дает возможность уменьшить угар легирующих металлов, а также получить сплавы исследуемых систем при более низких температурах. Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали стержни диам. 8 и длиной 140 мм. Нерабочая часть образцов изолировалась диэлектриком (смесь 50 % канифоли и 50 % парафина). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Перед погружением образца в рабочий раствор его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжиривали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянной 20 °С с помощью термостата МЛШ-8.

Для изучения электрохимических свойств тройных сплавов применяли потенциостатический метод исследования [4]. Электрохимические испытания образцов проводили в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с в среде электролита NaCl. ГОСТ 908 – 85 «Металлы и сплавы. Определение показателей коррозии и коррозионной стойкости» рекомендует провести определение коррозионной стойкости металлов в среде электролита 3 %-ного NaCl. Для выяснения влияния хлорид-ионов на коррозионную стойкость сплавов исследования также проводились при 10-кратном (0,3 % NaCl) и 100-кратном (0,03 % NaCl) уменьшении концентрации коррозионно-активного хлорида. Электродом сравнения служил хлорсеребряный, вспомогательным – платиновый.

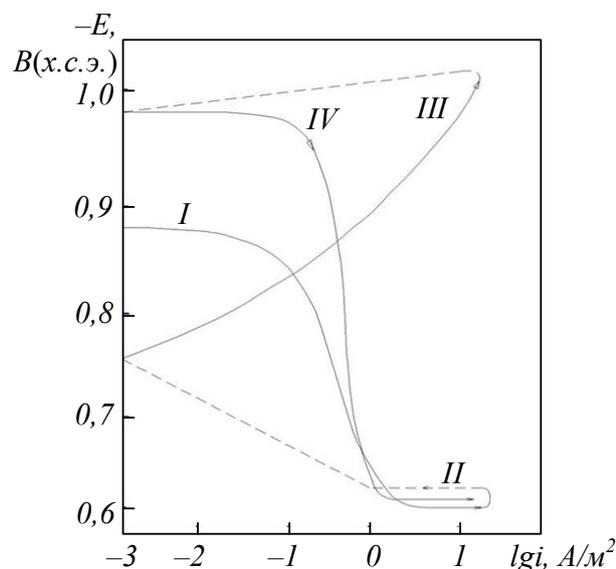


Рис. 1. Полная поляризационная кривая сплав Al + 2,18 % Fe, в среде электролита 3 %-ого NaCl

Образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис. 1, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (кривая II) и по пересечению кривых I и II определяли величину потенциала репассивации. Далее переходили в катодную область до значения потенциала $-1,1$ В для удаления оксидных пленок с поверхности электрода (кривая III) в результате подщелачивания при электродной поверхности. Наконец образцы поляризовали вновь в положительном направлении и из анодных кривых определяли основные электрохимические параметры (кривая IV).

В качестве примера на рис. 1 представлена полная поляризационная диаграмма для исходного сплава Al + 2,18 % Fe в среде электролита 3 %-ного NaCl. Из полученных таким образом поляризационных кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: потенциал питтингообразования ($E_{\text{по}}$), потенциал и ток коррозии ($E_{\text{кор}}$ и $i_{\text{кор}}$). Потенциал репассивации ($E_{\text{рп}}$) определялся графически как первый изгиб на обратном ходе анодной кривой, или как точка пересечения прямого и обратного ходов. Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафелевской наклонной $B_k = 0,12$ В, поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода [5]. Скорость коррозии в свою очередь является функцией тока коррозии, находимой по формуле

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

где $k = 0,335$ г/(А·ч) для алюминия.

Методика снятия поляризационных кривых сплавов в среде электролита NaCl подробно описана в работах [5 – 8] и показана на рис. 1 – 3.

Результаты исследований представлены в таблице и на рис. 2. Обобщены временные зависимости потенциала свободной коррозии (стационарного потенциала) сплава Al + 2,18 % Fe, легированного различным количеством стронция в средах 0,03, 0,3 и 3%-ного NaCl. Результаты исследования свидетельствуют, что в первые минуты погружения сплава в раствор электролита NaCl происходит резкое смещение потенциала в положительную область. У сплавов со стронцием стабилизация потенциала коррозии наблюдается в течение 30 – 40 мин. Динамика изменения потенциала свободной коррозии в среде электролита NaCl различной концентрации имеет одинаковый характер.

Исследования показывают, что добавки стронция в пределах 0,005 – 0,5 % (по массе) способствуют смещению потенциала свободной коррозии в положительную область во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом потенциалы питтингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (см. таблицу).

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0,005 – 0,5 % стронция, почти в 1,5 раза меньше, чем у исходного алюминиевого сплава Al + 2,18 % Fe (см. таблицу). Добавки стронция способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чем свидетельствует смещение анодных кривых легированных сплавов в более положительную область потенциалов (рис. 3). При этом по мере увеличения концентрации хлорид-ионов в электролите NaCl скорость коррозии сплавов

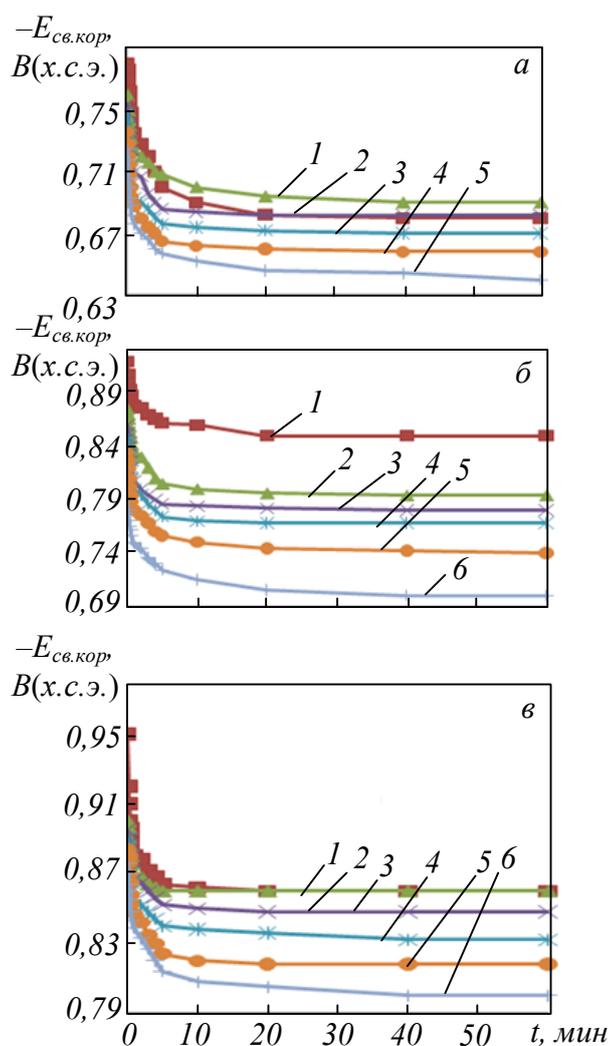


Рис. 2. Временная зависимость потенциала свободной коррозии ($-E_{св.корр}$, В) сплава Al + 2,18 % Fe, содержащего стронций, % (по массе): 0 (1), 0,005 (2), 0,01(3), 0,05(4), 0,1(5), 0,5(6), в среде электролита: 0,03 % (а); 0,3 % (б) и 3 %-ого (в) NaCl

увеличивается независимо от содержания легирующего компонента – стронция, что сопровождается смещением в положительную область потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации.

Как известно, алюминий в хлоридсодержащих растворах подвергается питтинговой коррозии. При этом адсорбционный Cl⁻-ион образует растворимый комплекс с металлом, который диффундирует в раствор. При этом адсорбция хлорид-иона идет в тех местах, которые в последующем являются зародышами питтингов. По данным работы [9] адсорбция хлорид-иона зависит от потенциала электрода. Отмечен рост концентрации хлорид-ионов в оксидной пленке при потенциале коррозии вблизи потенциала питтингообразования. Хлорид находился на внешней поверхности пленки толщиной 15 – 20 Å.

Применительно к настоящему исследованию следует отметить, что с увеличением концентрации хлорид-ионов в растворе потенциал питтингообразования уменьшается (см. таблицу). Ско-

рость инициирования питтингов увеличивается с ростом концентрации хлорид-ионов. Показано, что в нейтральных хлоридных электролитах pH среды внутри питтингов, щелей, коррозионных трещин поверхности алюминия достигает значения 3,2 – 3,5, когда в основном растворе pH = 7,0 – 7,8 [9]. Снижение pH раствора сокращает продолжительность инкубационного периода питтингов и щелевой коррозии и ускоряет ее развитие.

Выводы. Модифицирование сплава Al + 2,18 % Fe стронцием способствует облагораживанию электрохимических потенциалов исходного сплава, что способствует снижению скорости коррозии в исследованной среде электролита NaCl различной концентрации. Сплав Al + 2,18 % Fe является эвтектическим и состоит из включений α -Al-вого твердого раствора и кристаллов FeAl₃. Модифицирование стронцием способствует измельчению кристаллов эвтектики, следствием которого является повышение устойчивости тройных сплавов в агрессивной среде электролита NaCl.

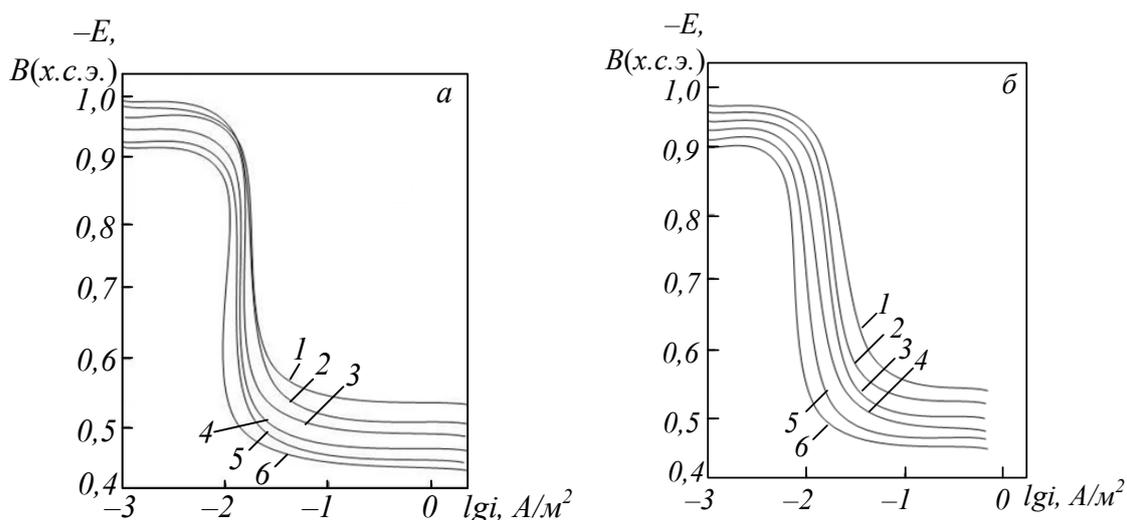


Рис. 3 Потенциодинамические анодные поляризационные кривые (2 мВ/с) сплава Al + 2,18 % Fe, содержащего стронция, % (по массе): 0(1), 0,005(2), 0,01(3), 0,05(4), 0,1(5), 0,5(6), в среде электролита 3 % (а) и 0,3 %-ого (б) NaCl

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.) сплава Al + 2,18 % Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, % (по массе)	Содержание стронция, % (по массе)	Электрохимические потенциалы (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{св.корр}$, В	$-E_{корр}$, В	$-E_{п.о.}$, В	$-E_{рп.}$, В	$i_{кор} \cdot 10^{-2}$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/(м ² ·ч)
0,03	0	0,680	0,960	0,484	0,580	0,130	4,35
	0,005	0,690	0,970	0,518	0,560	0,122	4,09
	0,01	0,682	0,956	0,500	0,550	0,118	3,95
	0,05	0,670	0,930	0,478	0,546	0,115	3,85
	0,1	0,658	0,910	0,460	0,520	0,112	3,69
	0,5	0,640	0,898	0,450	0,500	0,100	3,35
0,3	0	0,850	0,978	0,560	0,600	0,160	5,36
	0,005	0,794	0,980	0,530	0,570	0,145	4,86
	0,01	0,780	0,960	0,510	0,565	0,130	4,36
	0,05	0,768	0,942	0,500	0,560	0,124	4,15
	0,1	0,740	0,920	0,480	0,526	0,120	4,02
	0,5	0,700	0,900	0,464	0,515	0,118	3,95
3,0	0	0,860	0,994	0,600	0,620	0,170	5,70
	0,005	0,860	0,998	0,550	0,580	0,162	5,42
	0,01	0,848	0,970	0,534	0,570	0,150	5,03
	0,05	0,832	0,960	0,518	0,562	0,146	4,89
	0,1	0,818	0,954	0,500	0,540	0,134	4,48
	0,5	0,800	0,925	0,480	0,522	0,130	4,35

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красноярский В.В., Сайдалиев Н.Р. Коррозионно-электрохимические свойства сплавов алюминия с железом в нейтральных растворах // Защита от коррозии и окружающей среды. 1991. Вып. 3. С. 14 – 19.
2. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах. – Душанбе: Дониш, 2007. – 258 с.
3. Ганиев И.Н., Пархутик П.А., Вахобов А.В., Куприянова И.Ю. Модифицирование силуминов стронцием. – Минск: Наука и техника, 1985. – 143 с.
4. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите / Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
5. Одинаев Ф.Р., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш. Потенциодинамическое исследование сплава АЖ4,5, легированного свинцом, в среде электролита NaCl // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2016. № 2 (45). С. 64 – 68.
6. Одинаев Ф.Р., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш. Стационарные потенциалы и анодное поведение сплава АЖ4,5, легированного висмутом // Известия СПбГТИ(ТУ). 2017. № 38. С. 8 – 12.
7. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Сангов М.М., Хакимов А.Х. Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl // Вестник СибГИУ. 2017. № 4 (22). С. 57 – 62.
8. Джайлоев Дж. Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Азимов Х.Х. Анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe, легированного кальцием, в среде электролита NaCl // Изв. вуз. Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 12. С. 38 – 42.
9. Foley R.T. Localized corrosion of aluminum alloys // Corrosion (USA). 1986. Vol. 42. No. 55. P. 277 – 288.

© 2018 г. Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев,
И.Т. Амонов, У.Ш. Якубов
Поступила 16 апреля 2018 г.

Ю.К. Осипов, О.В. Матехина

Сибирский государственный индустриальный университет

СТЕКЛО В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Стекло имеет богатейшую историю использования. И в настоящее время стекло широко применяется в современном строительстве. Специалист, участвующий в проектировании и строительстве, должен иметь в виду, что светопрозрачные ограждения (в просторечии – окна) позволяют с успехом использовать лучистую энергию солнца для естественного освещения зданий. Вместе с тем чрезмерное увлечение применением остекления (больших площадей) неизбежно приводит к ухудшению внутренней среды зданий. Разумное сочетание противоречий и условий применения остекления в современных зданиях наряду с использованием специфических свойств специальных строительных стекол и средств искусственного регулирования внутренней среды – единственный путь к созданию зданий, полноценных в функциональном отношении и выразительных по архитектурному облику.

В арсенале современного архитектора стекло находится в ряду основных строительных материалов. Трудно переоценить роль новых строительных материалов и конструкций в рождении современной архитектуры, однако их настоящее значение становится понятным только при рассмотрении всей истории архитектуры, ее философских аспектов. И дело не в том, что на смену известных архитектурных стилей пришли другие. Новые конструкции явились материально-технической основой новой пространственной концепции архитектуры XXI века. Речь идет о принципиальных изменениях, творческом, функционально-художественном освоении реальности пространства и его выразительных возможностей.

На смену изобразительно-ордерной архитектуре, основной задачей которой были организация и художественное оформление громоздких объемов зданий, пришла архитектура, существенными признаками которой стал подавляющий перевес элементов свободного пространства и его форм над ограждающими массами. Применение стекла в качестве полноценного стенового материала в современных сооружениях разрушило жесткую зависимость между ар-

хитектурными элементами зданий: высотой помещения, пролетом, размером окон, толщиной стен и т.д. Это дало архитекторам новые возможности для выражения своих творческих замыслов.

К современным зданиям предъявляются трудносовместимые требования, среди которых архитектурная выразительность, комфорт внутренней среды, экономичность, низкий уровень энергозатрат при эксплуатации, надежность и в то же время малая материалоемкость и т.д. Воплотить эти требования в реальном объекте без научных знаний материальной базы архитектуры (конструкций и материалов) – задача трудно-выполнимая.

Для архитектурной теории проблемы взаимоотношений конструкций и архитектурных форм всегда были основными.

У стекла счастливая судьба в строительстве. Более 2 тыс. лет зодчие применяют стекло при возведении зданий различных архитектурных стилей [1]. Сейчас оно заняло исключительное положение среди материалов для ограждающих конструкций. Стекланные поверхности стали одним из основных средств выразительности в современной архитектуре, при этом речь идет не столько о форме, размерах, количестве и расположении окон, сколько о соотношении глухих и остекленных участков зданий.

Наблюдается рост объемов применения строительного стекла. Светопрозрачные ограждения в современных зданиях достигают порой 70 – 80 % и более от площади фасада. В настоящее время для стекла наступил новый этап развития, главной особенностью которого является использование строительных стекол с заданными свойствами.

Современное стекло – это продукт, основанный на достижениях в области физики, химии, материаловедения и высоком уровне развития технологий. С тех пор, как площади остекления одних зданий начали соперничать по величине с площадью стен, а стены других стали выполнять сплошь из стекла, требования к свойствам стекла расширились и изменились. Как известно, большая часть функций, которые выполняет со-

временное остекление (формирование микроклимата и гигиенической обстановки помещений), раньше приходилась на долю каменных стен [2].

Г.А. Градов в книге «Город и быт» значение вопросов, связанных с созданием микроклимата помещений, определил следующим образом: «Микроклимат в общественных и жилых зданиях является решающим показателем комфортности и одним из важнейших факторов увеличения продолжительности жизни человека» [3]. Нет сомнений, что вопросам создания комфортной внутренней среды помещений следует уделять большое внимание, а ее характеристики следует приближать к оптимальным. Это и исключение температурных колебаний (перепадов) на внутренней поверхности остекления, и улучшение светового режима помещений, и повышение звукоизоляционных качеств остекления, и уменьшение теплопотерь через остекление.

Каждый вид стекла обладает присущим ему комплексом свойств и имеет свои области применения. Знание свойств различных видов стекла – одно из главных условий при выборе стекла для остекления конкретного здания.

Рассмотрим основные виды строительного стекла, используемого в гражданском строительстве.

Обычное листовое строительное стекло – наиболее широко используемый вид стекла для заполнения светопроемов, изготовления стеклопакетов и создания различных светопрозрачных ограждений. Оконное стекло применяется для заполнения светопроемов в сочетании с оконными переплетами самых разнообразных конструкций. Вопрос о выборе одинарного, спаренного, двойного или тройного остекления должен решаться в соответствии с климатическими условиями района строительства. Обычное листовое стекло находит применение и во внутренних перегородках, для устройства систем второго света, зрительной связи отдельных помещений.

В тех случаях, когда требуется исключить видимость через светопроемы или остекленные перегородки, используют **узорчатое стекло**. Светопропускание бесцветного узорчатого стекла колеблется от 40 до 60 %, а светопропускание цветного узорчатого стекла не нормируется.

В тех случаях, когда важно предотвратить выпадение осколков при разрушении остекления, применяют **армированное стекло**. Стекло армируется термически обработанной проволокой диаметром 0,45 – 0,5 мм. Армированное стекло выпускается как бесцветным, так и цветным. Светопропускание такого стекла не менее 60 %. Бесцветное армированное стекло в основном применяется в остеклении проемов верхне-

го света, цветное – в ограждении балконов, для устройства внутренних перегородок. При использовании цветного армированного стекла в ограждении балконов жилых домов оно устанавливается в виде экранов, обрамленных металлической рамой, или в виде сплошной ленты.

К разновидностям листового стекла относится **строительное стекло со специальными свойствами**. Такое стекло позволяет ультрафиолетовой радиации: проникнуть в помещение; снизить перегрев помещений лучистым теплом; устранить дискомфортные явления, возникающие в непосредственной близости от остекления в холодное время года; снизить теплопотери через светопрозрачные ограждения. Для получения стекол со специальными свойствами изменяют химический состав стекломассы по всей толщине листа или в тонком слое у его поверхности, а также наносят на поверхность обычного стекла пленки металлов и их оксидов.

Стекло, пропускающее ультрафиолетовые лучи. При строительстве жилья особое значение приобретает использование природного ультрафиолетового излучения. Так, в некоторых промышленных районах потери ультрафиолетовой радиации достигают 40 %, а в районах жилой застройки – 26 %. Кроме того, в I климатическом районе России наблюдается значительная неравномерность распределения ультрафиолетовой радиации в течение года. Особенно велика неравномерность в северных районах, где в течение нескольких месяцев ультрафиолетовая радиация отсутствует. Ультрафиолетовое голодание может привести к нарушению или ослаблению некоторых функций организма. Применение в окнах в качестве светопрозрачного остекления обычного силикатного стекла является непреодолимой преградой для биологически активной части ультрафиолетового излучения солнца. Устранить этот недостаток может остекление, пропускающее ультрафиолетовые лучи.

Способность данного вида стекол пропускать лучи ультрафиолетовой области спектра определяется химическим составом стекла. По химическому составу стекла разделяются на силикатные, боросиликатные и фосфатные. Фосфатные стекла по пропусканию ультрафиолетовых лучей имеют преимущества перед силикатными. При проектировании оконных проемов для такого остекления следует стремиться к тому, чтобы они имели минимальное количество затеняющих элементов, а стекло было бы доступным для тщательной очистки.

Стекло, поглощающее ультрафиолетовые лучи. Это специальный вид стекла, который используется для устройства светопроемов в об-

ществленных зданиях. Это стекло ограничено применяется и в жилых зданиях (особняки, частные городские дома и т.п.) для защиты помещений, где хранятся произведения искусства, библиотеки. По всем основным показателям стекла, поглощающие ультрафиолетовые лучи, должны соответствовать стандарту на обычное оконное стекло.

Стекло с полупрозрачным зеркальным покрытием. Стекло, обладающее высоким отражением в видимой части спектра, является современным видом стекла для строительства. Этот вид стекла получают нанесением металлических полупрозрачных пленок на стекло, которое может быть обычным оконным, витринным полированным и неполированным, цветным, узорчатым, армированным. Бесцветные стекла с высокоотражающим покрытием получают путем нанесения пленки оксида титана, цветные – нанесения пленки оксидов железа, кобальта, меди.

Стекла с бесцветными полупрозрачными покрытиями из оксида титана хорошо отражают не только видимую, но и инфракрасную часть солнечного спектра, а это значит, что они обладают солнцезащитными свойствами и могут быть использованы с этой целью в наружном остеклении. Стекла с полупрозрачными зеркальными покрытиями могут использоваться во внутренних перегородках, а в тех случаях, когда нежелателен просмотр помещений со стороны улицы, их применяют в наружном остеклении жилых зданий.

Стекло для солнцезащитного остекления. При неблагоприятной организации светопроемов и неудачно выбранной ориентации жилого здания в летние месяцы наблюдается значительный перегрев помещений. Для устранения этого отрицательного явления применяется солнцезащитное остекление, в котором используются теплопоглощающие, теплоотражающие и нейтрально окрашенные стекла. Как видно из самих названий этих стекол, одни из них поглощают, а другие отражают значительную часть инфракрасных солнечных лучей. Нейтральные же стекла имеют пониженное пропускание по всему оптическому диапазону солнечного спектра.

Выбор вида стекла для солнцезащитного остекления является важным моментом в проектировании здания и должен осуществляться с учетом всех определяющих факторов: назначения здания, географической широты местности, климата, ориентации светопроемов по румбам горизонта, конструктивного решения остекления, реальных свойств стекол. При выборе вида стекла для солнцезащитного остекления следует

учитывать границы допустимого снижения светопропускания в зависимости от климатического района строительства: для районов севернее 60° с.ш. – 60 %, для районов южнее 60° с.ш. – 45 %.

Теплопоглощающие стекла рационально применять в I – II климатических районах, при этом они устанавливаются только в наружном ряду остекления. Для защиты помещений от слепящего действия низко стоящего солнца и уменьшения яркостных контрастов целесообразно применять теплопоглощающее стекло в светопроемах зданий, располагаемых на высоких широтах.

Применение теплоотражающих стекол, как правило, не вызывает конструктивных изменений в остеклении. Проектирование же солнцезащитного остекления из теплопоглощающего и нейтрального стекла требует выполнения ряда правил и условий, связанных с особенностями их применения:

- теплопоглощающее стекло следует всегда устанавливать в наружном ряду двойного остекления. Это вызвано тем, что во время инсоляции такое стекло сильно нагревается;

- для интенсивного теплосъема со стекол устраивают вентилируемое межстекольное пространство. Количество воздуха, поступающего в межстекольное пространство, регулируется с помощью фраг или дроссельных заслонок. Избежать устройства вентиляции межстекольного пространства можно путем применения во внутреннем слое солнцезащитного стекла, хорошо отражающего тепловой поток от нагретого теплопоглощающего стекла. Такое остекление является универсальным, так как в зимнее время снижает теплопотери из помещения.

Стекло для теплоизоляционного остекления. В зимний период в зоне, расположенной вблизи светопроемов, могут возникнуть дискомфортные явления, связанные с отрицательным воздействием от холодных поверхностей остекления и усилением конвективных потоков холодного воздуха. Эти явления часто служат причиной простудных заболеваний. Низкая температура внутренней поверхности остекления является причиной возникновения конденсата и наледи на стекле в холодные периоды года, а это нежелательно не только по санитарно-гигиеническим условиям, но и с точки зрения светового комфорта в помещении. И, наконец, низкое сопротивление теплопередаче у обычных конструкций остекления приводит к значительным теплопотерям. С целью сокращения энергетических затрат при эксплуатации жилых зданий СНиП 23-02 – 2003 «Тепловая защита зданий» введено ограничение суммарной площади светопроемов жилых зданий. Так, в жилых зда-

ниях площадь окон с приведенным сопротивлением теплопередаче меньше $0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ по отношению к суммарной площади светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций стен должна быть не более 18 %.

Среди методов улучшения теплозащиты светопрозрачных конструкций в мировой строительной практике, помимо совершенствования конструкции переплетов, используют увеличение числа слоев стекла в остеклении, устройство кондиционированных окон, стекла с селективными оптическими свойствами, которые в значительной степени отражают энергию длинноволнового инфракрасного диапазона. Такими свойствами обладают некоторые полупрозрачные покрытия из металлов и оксидов. Например, золотое покрытие толщиной $0,1 - 0,2 \text{ мкм}$ на одном из листов стеклопакета позволяет повысить его сопротивление теплопередаче на 35 – 40 %.

Для строительства наибольший интерес представляют менее дорогие стекла, например, стекла с покрытием из оксида олова. Стекла с таким покрытием при высоком (75 – 79 %) коэффициенте светопропускания весьма хорошо отражают длинноволновую часть инфракрасной радиации, излучаемой приборами отопления и предметами, находящимися в помещении. Соответственно, такое стекло обладает очень низкой (0,25) степенью черноты поверхности по сравнению с обычным стеклом в диапазоне температур $0 - 100 \text{ °C}$, то есть в условиях теплообмена при комнатных температурах. Такое теплозащитное стекло устанавливается во внутреннем ряду остекления и обращено покрытием в межстекольное пространство; наружным стеклом может быть обычное или солнцезащитное. При

применении теплозащитного стекла сопротивление теплопередаче конструкции остекления возрастает приблизительно на 40 %.

Выводы. Необходимо более полно использовать возможности, которые предоставляет ассортимент строительных стекол, с учетом их влияния на архитектуру и внутреннюю среду здания. Несомненно, что современное строительное стекло является материалом, разнообразие свойств которого позволяет создать эффективные ограждающие конструкции, наполняющие здания естественным светом и одновременно защищающие их от чрезмерной инсоляции в летнее время и от теплопотерь в зимнее время.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев С.П., Динева Ю.М. Стекло в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1981. – 191 с.
2. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Архитектурно-типологические основы проектирования жилых зданий: учеб. пособие. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – 253 с.
3. Градов Г.А. Город и быт – М.: Стройиздат, 1968. – 252 с.
4. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Комфорт и безопасность жилой среды // Вестник СибГИУ. 2014. № 4 (10). С. 43 – 47.
5. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Обобщенная теоретическая модель тепловой защиты жилых зданий с помощью наружных ограждающих конструкций // Вестник СибГИУ. 2015. № 1 (11). С. 50 – 55.

© 2019 г. Ю.К. Осипов, О.В. Матехина
Поступила 23 января 2019 г.

УДК 624.05

Д.Н. Алешин¹, Е.А. Алешина¹, Н.Н. Бащенко², Е.И. Попова²

¹Сибирский государственный индустриальный университет

²Санкт-Петербургский государственный университет им. Петра Великого

АНАЛИЗ ОШИБОК, ДОПУЩЕННЫХ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КИРПИЧНОГО ДОМА ХОЗЯЙСТВЕННЫМ СПОСОБОМ

При эксплуатации зданий и сооружений повреждения несущих и ограждающих конструкций нередко обусловлены ошибками, допущенными при возведении этих зданий или сооружений. Наиболее явно последствия таких ошибок проявляются при эксплуатации зданий и сооружений, возведенных хозяйственным способом.

Хозяйственный способ строительства – форма организации строительных и монтажных работ, когда они выполняются собственными силами застройщика, без привлечения специализированных монтажных организаций [1].

Как правило, хозяйственный способ позволяет заметно уменьшить стоимость строительно-монтажных работ и сократить сроки возведения строительного объекта. При этом пренебрежение строительными нормами и правилами может повлечь за собой ряд серьезных ошибок.

В настоящей работе проведено обследование пятиэтажного кирпичного жилого дома в городе Гурьевске Кемеровской области (рис. 1). Были выявлены дефекты и повреждения строительных конструкций, которые ухудшают эксплуатаци-

онную пригодность конструкций и всего здания в целом, снижают уровень безопасности и уменьшают долговечность конструкций.

Здание построено по типовому проекту. Рабочая документация имелась в наличии. В начале строительства при забивке свай привлекалась специализированная строительно-монтажная организация. Дальнейшие строительно-монтажные работы велись собственными силами без привлечения специализированных организаций.

Рассмотрим характерные ошибки, допущенные при возведении этого кирпичного дома хозяйственным способом. Ошибки, которые привели к наиболее значительным дефектам и повреждениям строительных конструкций по причине выполнения работ неквалифицированными специалистами, сгруппированы в три группы.

1. Геометрические отклонения кирпичной кладки: не везде соблюдена перевязка швов; имеются отклонения от вертикали и от горизонтали (рис. 2).

2. Отсутствие деформационных швов.



Рис. 1. Общий вид жилого дома



Рис. 2. Геометрические отклонения кирпичной кладки от вертикали

Здание в плане имеет сложную форму. Необходимо было предусмотреть и выполнить деформационные швы, разделяющие здание на прямоугольные в плане участки. Из-за отсутствия деформационных швов в осенне-весенний период проявляется образование трещин в местах, где должен был бы быть выполнен деформационный шов. Все мероприятия по заделке трещин не приводили ни к какому положительному результату (рис. 3).

3. Некачественное выполнение обратной засыпки фундамента (грунт не утрамбован). В результате произошло проседание насыпного грунта (рис. 4).

Основной причиной, оказывающей негативное влияние на эксплуатационные свойства здания, явилось отсутствие деформационных швов. В соответствии с рекомендациями, выданными по результатам обследования, было принято ре-

шение об обустройстве деформационного шва. Специализированной организацией по отдельной разработанной документации выполнен пропил кирпичной кладки.

В настоящее время жилой дом находится в эксплуатации.

Выводы. Рассмотрены характерные дефекты и повреждения строительных конструкций, возникшие на стадии возведения многоэтажного кирпичного дома, построенного хозяйственным способом с привлечением неквалифицированных специалистов. Проанализированы причины возникновения дефектов и повреждений. Предложены меры по устранению основной ошибки, допущенной при возведении здания, – обустройство отсутствующих деформационных швов.



а



б

Рис. 3. Трещины в месте невыполненного деформационного шва с наружной (а) и с внутренней (б) стороны стены



а



б

Рис. 4. Проседание грунта в районе отмостки:
а – разрушение отмостки; *б* – деформация крыльца

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разумов И.Ю., Алешин Д.Н., Алешина Е.А. Анализ недостатков строительства сооружений хозяйственным способом на примере угольных предприятий Кемеровской области. – В кн.: Научно-технический прогресс как фактор развития современной цивилизации. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции (Магнитогорск, 14 ноября 2017 г.) / В 3 ч. Ч. 3. – Стерлитамак: изд. АМИ, 2017. С. 161 – 165.
2. Алешин Д.Н., Саломатин Н.С., Алешина Е.А. Дефекты монолитных железобетонных конструкций. – В кн.: Фундаментальные и прикладные научные исследования. Сборник статей Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 5 ноября 2015 г. Ч. 2. – Уфа: Аэтерна, 2015. С. 10 – 13.
3. Алешин Д.Н., Дудин А.А., Алешина Е.А. Восстановление и усиление несущих конструкций из кирпичной кладки общественного здания в г. Осинники. – В кн.: Новая наука: теоретический и практический взгляд. Международное научное периодическое издание по итогам международной научно-практической конференции, г. Ижевск, 4 ноября 2016 г. Ч. 1. – Стерлитамак: изд. АМИ, 2016. С. 5 – 8.
4. Бедов А.И., Знаменский В.В., Габитов А.И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Часть I. Обследование и оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. – М.: изд. АСВ, 2014. – 704 с.
5. ГОСТ 27751 – 2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Введ. 2015-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2015. – 14 с.

© 2019 г. *Д.Н. Алешин, Е.А. Алешина, Н.Н. Бащенко, Е.И. Попова*
Поступила 4 февраля 2019 г.

В.А. Петрова

Сибирский государственный индустриальный университет

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

С целью активизации познавательной деятельности обучающихся возникает необходимость изменения процесса обучения, которое предполагает не автоматическое преподавание программного материала, а подготовку обучающихся «вырабатывать способность познания мира, к творческой работе и взаимосвязи с другими людьми». Современная концепция образования рассматривает студента, как обучающегося, а не обучаемого.

Главным новшеством современного образовательного процесса является компетенция. Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) определяют требования к результатам усвоения основной образовательной программы через формирование общекультурных и профессиональных компетенций, которые трактуются как способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области. Согласно ФГОС «реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий» [1].

Процесс обучения с применением интерактивных методов в СибГИУ имеет объективные предпосылки, а именно:

- существование *учебно-информационной среды*, стержнем которой сегодня являются современные информационные технологии;
- сформулированные Людвигом фон Бергланфи *положения Общей теории систем*, которые расширяют понимание интерактивности как взаимодействие в режиме диалога с чем-либо (например, компьютером) или кем-либо (человеком).

Учебная дисциплина «Инженерная графика» включает элементы начертательной геометрии (лекции и практические занятия), проекционно-го и машиностроительного черчения (практические занятия и лабораторные работы с применением графических редакторов). Аудиторные занятия по данной и по подобным дисциплинам («Инженерная графика и начертательная геометрия», «Инженерная и компьютерная графика») отличаются спецификой проведения и

предполагают использование различных методов интерактивного обучения, поскольку обучающемуся целесообразно сочетать различные методы и формы организации образовательного процесса, чтобы достичь наибольшего эффекта от их использования [2]. Следует отметить, что уже значительное время ряд заданий по темам, предусмотренным программой по дисциплине «Инженерная графика», выполняется с применением графических пакетов типа AutoCAD или Bricscad, а также некоторых мультимедийных средств.

В нижеприведенных примерах организации и проведения занятий по инженерной графике применялись три наиболее оптимальных для этих занятий метода интерактивного обучения: синтетический, алгоритмический, мультимедийный.

Синтетический, или лекционно-практический метод, имеет свои особенности и признаки [3]:

- лекция – это основная форма передачи большого объема систематизированной информации как ориентировочной основы для самостоятельной работы студентов;
- практическое занятие – это форма организации детализации, анализа, расширения, углубления, закрепления, применения и контроля за усвоением полученной учебной информации (на лекции и в ходе самостоятельной работы) под руководством преподавателя вуза;
- самостоятельная деятельность студента выступает в качестве основы обучения в вузе.

Синтетический метод резонно использовать на практических занятиях по инженерной графике (машиностроительное черчение), когда теоретическая часть материала излагается преподавателем, а студенты используют полученные знания, выполняя графические работы (ГР). Метод ориентирован на равноправное творческое диалоговое взаимодействие обучающихся с преподавателем.

Алгоритмический метод имеет смысл применять на практических занятиях по начертательной геометрии, используя, например, нелинейный алгоритм («*дерево решений*»). При рабо-

те по такому алгоритму «содержание деятельности при выполнении очередной инструкции зависит от результатов выполнения других, чаще всего, предыдущих или параллельных инструкций». При переходе от одной инструкции к другой оценивается ситуация и с учетом начальных условий определяется направление дальнейшего решения поставленной задачи. В данном случае конечный результат – выбор способа графического решения для выполнения требуемых построений (линий и точек пересечения геометрических объектов), осуществляющегося в процессе дискуссии, в которой принимают участие и преподаватель, и студенты. Этот метод позволяет формировать способности усвоения новых знаний и овладения умениями.

Проведение занятий по компьютерной графике предполагает применение метода интерактивного обучения 2-го (высшего) уровня – *мультимедийного*, т.е. метода, построенного на диалоговом взаимодействии обучающихся с учебно-информационной средой (УИС) (ПК, интерактивные доски, презентация) в «контексте диалоговых взаимодействий друг с другом и с преподавателем при доминировании творческой деятельности студентов». Мультимедийные средства обучения являются перспективным и высокоэффективным инструментарием, позволяющим предоставлять массивы информации в большем объеме, чем традиционные источники информации; наглядно в интегрированном виде включать не только текст, графики, схемы, но и звук, анимацию, видео и т.п.; учитывать индивидуальные особенности обучающихся и способствовать повышению их мотивации [4].

При разработке возможных вариантов интерактивных занятий учитывались такие формы интерактивного обучения, как дискуссия, тестирование и творческое задание.

Дискуссия (учебная дискуссия) применялась в групповых формах занятий: собеседование по обсуждению итогов выполнения заданий на практических и лабораторных занятиях, защита ГР, когда происходит взаимодействие преподавателя и обучающихся, свободный обмен мнениями, идеями и взглядами. Это активный метод, требующий основательной предварительной подготовки обучаемых, позволяет научиться отстаивать свое мнение и слушать других.

С помощью *тестирования* определяется уровень информированности обучающихся или их отношение к обсуждаемой теме. Итоги тестирования подводятся после совместного с преподавателем обсуждения ответов.

Творческое задание (в нашем случае – это графическая работа) составляет содержание, основу любого интерактивного метода, придает

смысл обучению, мотивирует обучающихся, а также создает фундамент для сотрудничества и общения участников образовательного процесса.

С целью оценки соответствия форм компетенций целям и задачам обучения каждый студент выполняет индивидуальные задания – графические работы – в количестве, предусмотренном учебным планом. Из принятых преподавателем ГР формируется портфолио, наличие которого является допуском к экзамену или зачету.

СИНТЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Занятие проводится по схеме активного метода обучения, представленного на рис. 1, а.

Организация занятия

Занятие по теме «Соединение болтом» рассчитано на три академических часа и включает 2 раздела:

- раздел 1 «Изображение и классификация резьбы», затраченное время – 1,2 ч;
- раздел 2 «Резьбовые соединения», затраченное время – 1,2 ч.

Цель занятия – изучить теоретический материал для выполнения индивидуальной графической работы «Соединение болтом».

В помощь студентам предоставляются плакаты и методические указания «Изображение и обозначение резьбы», «Соединение болтом».

Этапы проведения занятия приведены на рис. 1, б.

1 этап. Преподаватель излагает материал по первому разделу «Изображение и классификация резьбы» и выдает каждому студенту локальное проблемное задание – карту программированного контроля, затраченное время – 25 мин.

2 этап. Обучающийся выполняет проблемное задание (тестирование) в течение 15 мин либо самостоятельно, либо при поддержке преподавателя (фасилитатора).

3 этап. Дискуссия по результатам 2-го этапа (участвуют и студенты, и преподаватель) продолжительностью 15 мин.

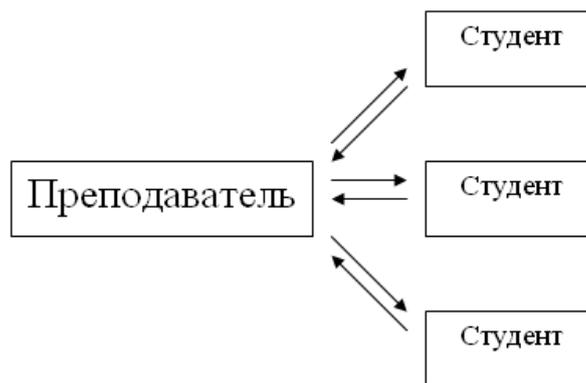
Примеры предлагаемых вопросов:

- что называется резьбой?
- основные параметры резьбы?
- классификация резьбы по назначению?
- как обозначается резьба?
- условное изображение резьбы на чертеже? и др.

4 этап. Преподаватель излагает материал по второму разделу «Резьбовые соединения» и выдает локальное проблемное задание (чертеж), затраченное время – 20 мин.

5 этап. Обучающийся выполняет проблемное задание – соединение двух деталей, имеющих резьбу, в течение 20 мин.

6 этап. Дискуссия по результатам 5-го этапа (участвуют и студенты, и преподаватель), продолжительность 15 мин.



а



б

Рис. 1. Синтетический метод:
а – схема метода активного обучения; б – этапы проведения занятия

Примеры предлагаемых вопросов:

- на какой из соединяемых деталей резьба изображается видимой?
- как изображается резьба на стержне?
- как изображается резьба в отверстии?
- как обозначается внутренняя и наружная резьба? и др.

7 этап. Выводы по проведенному занятию: обобщаются рассмотренные проблемные задания и их решения, отмечаются успехи отдельных студентов, анализируются типичные ошибки. Затраченное время – 10 мин.

8 этап. Студентам выдаются индивидуальные задания (ГР) по теме «Соединение болтом», которые в дальнейшем проверяются преподавателем и защищаются студентами на занятии или консультации.

9 этап. Рефлексия проводится в течение 15 мин.

Рекомендуемые вопросы:

- что вам помогало в процессе выполнения задания и что мешало?
- имелись ли вопросы, которые вас удивили или оказались непонятными?
- чем вы руководствовались в процессе принятия решения?

- учитывалось ли мнение студентов группы при формировании собственного мнения?
 - как вы оцениваете свои действия и действия участников группы?
 - что полезного для себя в будущей профессиональной деятельности вы извлекли?
- Оглашается тема следующего занятия, рекомендуются информационные источники – учебники, методические пособия, справочники, ГОСТы, ПО и др.

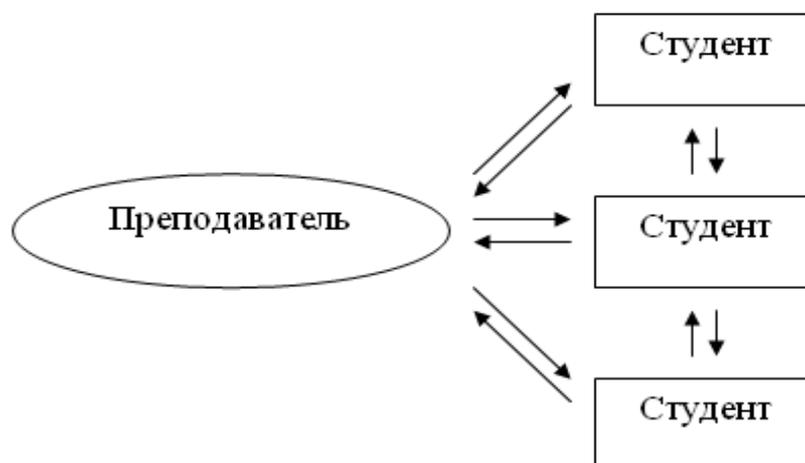
АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ МЕТОД

Занятие проводится по схеме метода интерактивного обучения, представленной на рис. 2, а.

Организация занятия

Тема занятия «Пересечение поверхностей» рассчитана на три академических часа.

Цель занятия – изучить теоретический материал для выполнения индивидуальной графической работы «Пересечение поверхностей».

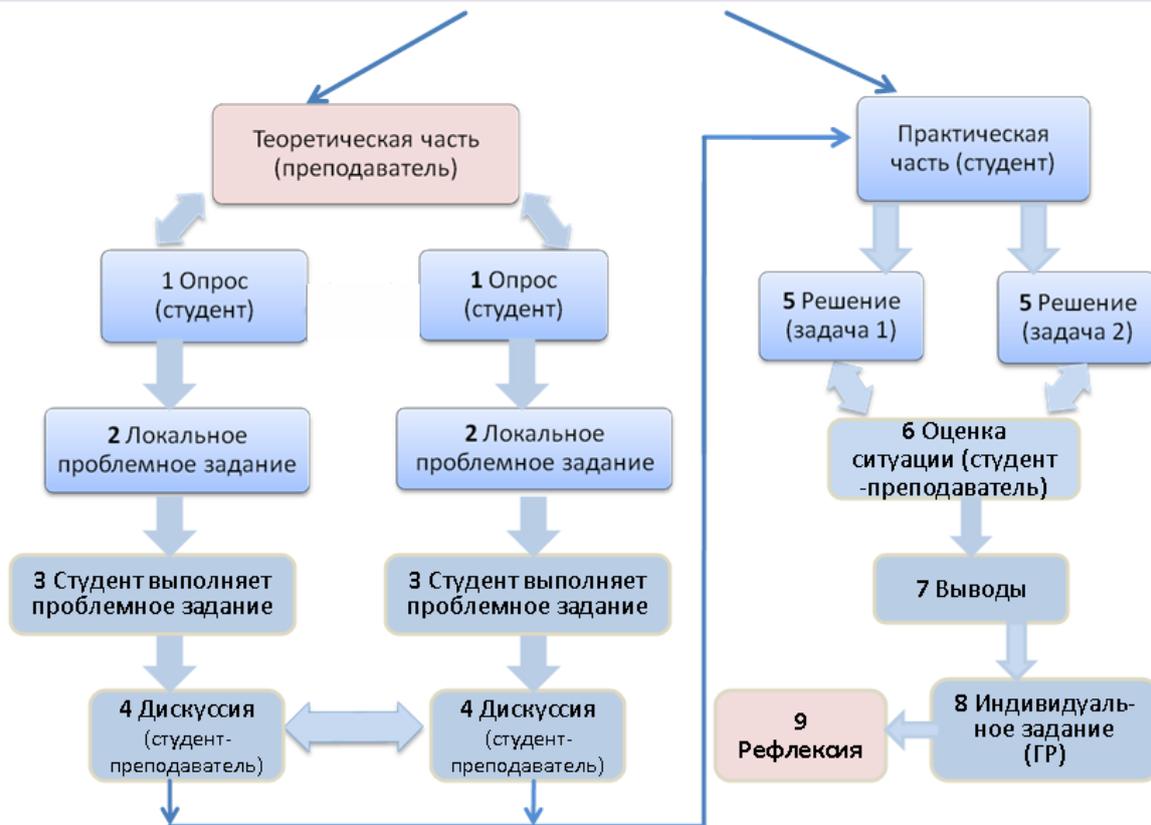


а



б

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ



6

Рис. 2. Алгоритмический метод:

а – схема метода интерактивного обучения; б – алгоритм решения задачи; в – этапы проведения занятия

В помощь обучающимся предоставляются методические указания «Выполнение сквозных вырезов в поверхностях», «Пересечение поверхностей».

План-анализ решения задачи приведен на рис. 2, б.

1 этап. Занятие формируется из двух частей: теоретической и практической. В первой, согласно вышеприведенному алгоритму, анализируется лекционный материал в виде опроса студентов в течение 10 мин.

2 этап. Преподаватель выдает каждому студенту локальное проблемное задание – карту программированного контроля.

3 этап. Студент выполняет проблемное задание (тестирование) либо самостоятельно, либо при поддержке преподавателя (фасилитатора) в течение 15 мин.

4 этап. Дискуссия по результатам 3-го этапа (участвуют и студенты, и преподаватель) продолжительностью 15 мин.

Примеры предлагаемых вопросов:

- какие условия образования поверхности?
- что называют поверхностью вращения и многогранником?

- какие линии выделяются на поверхности вращения?

- какие задачи называются позиционными?

- какие условия применения способа вспомогательных секущих плоскостей и концентрических сфер? и др.

5 этап. Практическая часть. Студенты решают задачи. Например, задача 1 – построить линию пересечения поверхностей способом секущих плоскостей; задача 2 – построить линию пересечения поверхностей способом концентрических сфер. Затраченное время – 60 мин.

6 этап. Оценивается ситуация, в которой участвуют и обучающиеся, и преподаватель, и выбирается направление: либо дополнительное решение задач, либо выполнение индивидуальных заданий. Затраченное время – 10 мин.

7 этап. Выводы. Преподаватель обобщает результаты тестирования и решения задач, отмечает успехи отдельных студентов, выясняет причину ошибок в ответе и подсказывает студенту, на что он должен обратить внимание. Затраченное время – 10 мин.

8 этап. По теме проведенного занятия «Пересечение поверхностей» выдаются индивиду-

альные задания (ГР), которые в дальнейшем проверяются преподавателем и защищаются обучающимся на занятии или консультации.

9 этап. Рефлексия. Затраченное время – 15 мин. Вопросы представлены в разделе «Синтетический метод», этап 9.

Оглашается тема следующего занятия, рекомендуются информационные источники – учебники, методические пособия, монографии, ПО и др.

Этапы проведения занятия приведены на рис. 2, в.

МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ МЕТОД

Занятие проводится по схеме метода интерактивного обучения высшего уровня согласно схеме на рис. 3, а.

Организация занятия

Тема занятия «Проекционное черчение» рассчитана на 2 академических часа.

Цель занятия – изучить теоретический материал по компьютерной графике для выполнения индивидуальной графической работы «Проекционное черчение» с использованием графического пакета AutoCAD (или Bricscad). Базовые основы построения изображений предметов на плоскости (виды, разрезы, сечения) студенты повторяют самостоятельно по ранее прочитанным лекциям по дисциплине «Инженерная графика».

Каждый студент работает за персональным компьютером – рабочей станцией (РС). В помощь им предоставляются презентации «Основы работы в графическом редакторе» и «Объектные привязки в системе BricsCAD»; методические указания «Проекционное черчение» и «Правила оформления конструкторской документации»; рабочая тетрадь с индивидуальными

заданиями, примерами выполнения и оформления подобных задач.

1 этап. Используя мультимедийные средства, преподаватель знакомит обучающихся с основами работы в графическом редакторе (интерфейс, графические примитивы, команды редактирования и др.). Затраченное время – 25 мин.

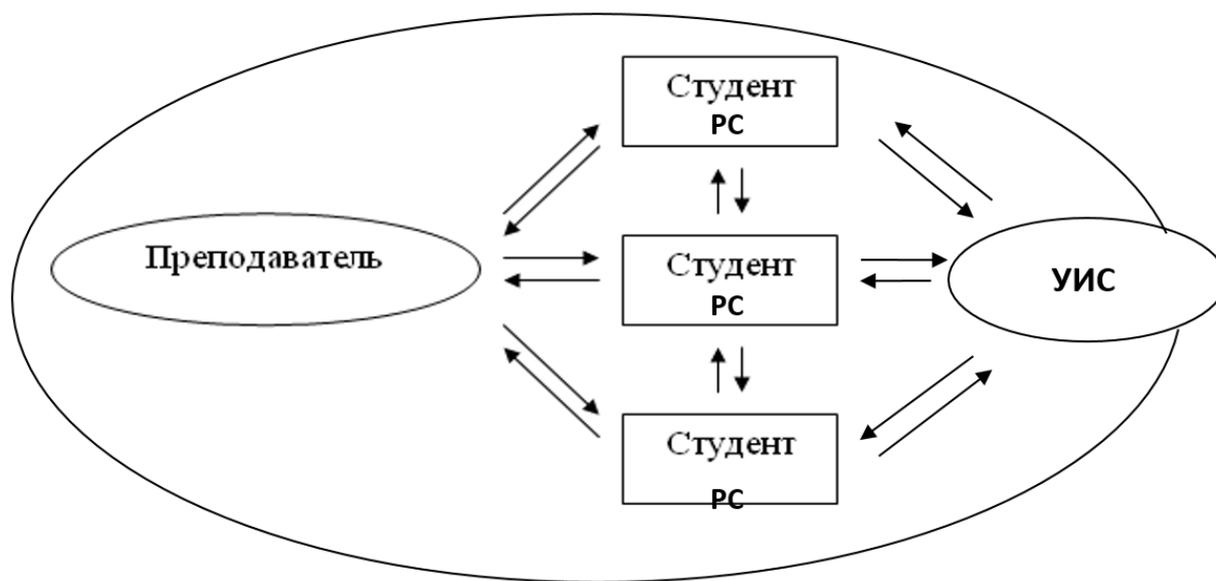
2 этап. Выдается несколько локальных проблемных заданий, единых для всех. Количество выполняемых заданий зависит от уровня подготовки обучающихся.

3 этап. На персональных компьютерах (РС) обучающиеся выполняют проблемные задания либо самостоятельно, либо при поддержке преподавателя (фасилитатора). Например, построить отрезок по заданным координатам и изменить его параметры; построить окружность заданного радиуса и вырезать $\frac{1}{4}$ часть; перенести объект на заданное расстояние; сформировать структуры слоя на чертеже и т.п. Затраченное время – 30 мин.

4 этап. Дискуссия, которая основана на взаимодействии обучающиеся – преподаватель – УИС. Затраченное время – 15 мин.

Примеры вопросов для дискуссии:

- каково назначение команд общего редактирования?
- что такое редактирование с помощью ручек?
- как изменить форму и положение геометрического примитива, выбрав оптимальный вариант редактирования?
- какие имеются системы координат в рабочем пространстве?
- как построить отрезок заданной длины и заданным углом к оси, выбрав оптимальную систему координат?



а



б

Рис. 3. Мультимедийный метод:

а – схема метода интерактивного обучения 2-го уровня; б – этапы проведения занятия

5 этап. Выводы: обобщаются рассмотренные проблемные задания и их решения, отмечаются успехи отдельных студентов, анализируются типичные ошибки. Затраченное время – 5 мин.

6 этап. Выдаются индивидуальные задания (ГР) по теме «Проекционное черчение». Графическая работа выполняется обучающимся согласно учебному плану как внеаудиторная, предусмотрено также время для консультаций.

7 этап. Рефлексия. Затраченное время – 15 мин. Вопросы представлены в разделе «Синтетический метод», этап 9.

Этапы проведения занятия приведены на рис. 3, б.

Выводы. Как следует из описания этапов и их графического представления, рассмотренные формы организации и проведения интерактивного занятия по дисциплине «Инженерная графика» предполагают метод портфолио, так как конечным продуктом являются индивидуальные задания (графические работы), выполненные студентом в соответствии с учебным планом. По-

казана эффективность применения интерактивных форм обучения, так как в процессе познания участвуют все студенты группы, которые вносят свой индивидуальный вклад, а в состоявшейся дискуссии обмениваются полученными знаниями, новыми идеями. Проведение занятий с применением интерактивных форм обучения позволяет достичь следующих результатов: умение обмениваться информацией; способность адаптироваться в группе; приобретаются навыки анализа и самоанализа, а также способность выдвигать идеи; толерантность; новый опыт деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анацкая А.Г. Интерактивные методы обучения // Инновационное образование и экономика. 2011. № 9. С. 44 – 48.
2. Дзуличанская Н.Н. Интерактивные методы обучения как средство формирования ключевых компетенций // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 1. С. 104 – 108.

- чевых компетенций // Наука и образование: электронное научно-техническое издание, 2011. Режим доступа. <http://technomag.edu.ru/doc/172651>.
3. Интерактивные формы обучения. Информационно-аналитический обзор. Академия ФСИН России. Отдел организации межвузовской учебно-методической работы. [Электронный ресурс]. Режим доступа. [http://apu-fsin.ru > service/omumr/material_int_form.html](http://apu-fsin.ru/service/omumr/material_int_form.html).
 4. Елистратова Н.Н. Мультимедийный метод обучения в ВУЗе в системе открытого образования // Современные научные исследования и инновации. Июнь, 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/06/15026>.

© 2019 г. *В.А. Петрова*
Поступила 1 марта 2019 г.

А.Н. Домрачев, С.В. Риб

Сибирский государственный индустриальный университет

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ»

Реализация образовательных программ в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) осуществляется с использованием современных информационно-развивающих образовательных технологий, которые позволяют достичь поставленных учебных целей за счет вариативности используемых форм трехстороннего взаимодействия: преподаватель – обучающийся – информационная среда. Именно единая информационная образовательная среда стала тем фундаментом, который создал условия для обновления форм, средств, технологий и методов реализации образовательных программ [1].

Преподавателю необходимо в полной мере овладеть принципами компьютерных интерактивных технологий, чтобы использовать их в учебном процессе, знать принципы разработки и применения электронных дидактических материалов. Основными принципами использования электронных дидактических материалов можно считать следующие: наглядность, проблемность, индивидуальная направленность, доступность, структурированность.

В своей педагогической практике преподаватель может разработать небольшие игровые интерактивные элементы по отдельным темам занятий или учебным модулям. Существующее и создаваемое вновь прикладное программное обеспечение позволяет самостоятельно осваивать и создавать интерактивные дидактические материалы, ориентированные на повышение эффективности учебного процесса [2].

Внедрение в учебный процесс информационных образовательных технологий при подготовке специалистов горного профиля позволяет использовать их при проведении промежуточной аттестации [3], а усовершенствование лабораторных работ на основе компьютерных программ является инновацией для вуза. Созданные программы для ЭВМ, а также базы данных защищаются свидетельствами Роспатента и могут быть успешно коммерциализированы [4].

Отдельным классом программ являются средства разработки самих обучающих систем, которые создают рабочую среду для процессов обучения и проведения тестов. Некоторые из них позволяют осуществлять связь тестовых во-

просов с теоретическими темами: например, при неправильном ответе на вопрос обучаемый может получить пояснение, в чем состоит его ошибка, или вернуться к изучению связанного теоретического материала.

В настоящее время многим техническим специальностям, ориентированным на приобретение обучаемыми не только знаний, но и на формирование у них профессиональных навыков и умений, необходима обучающая система, объединяющая процессы обучения и тренинга, что подразумевает создание модели предметной области [5].

На кафедре геотехнологии СибГИУ в 2005 – 2018 гг. реализовано несколько программ тестирования обучающихся по дисциплине «Технология отработки пологих пластов» [6 – 9]. Однако в связи с ограниченностью возможностей для поддержания одновременно нескольких программ и сложностью адаптации обучающихся к нескольким формам промежуточной аттестации была поставлена и успешно решена задача разработки обучающе-тестирующей программы по дисциплине «Технология отработки пологих пластов». На кафедре проведен в два этапа сравнительный анализ разработанных и используемых программных средств обучения и тестирования.

На первом этапе была выполнена сравнительная оценка обучающе-тестирующих программ (традиционные тесты и компьютерная лабораторная работа) с точки зрения дидактической ценности и эффективности использования в учебном процессе (см. табл. 1).

На втором этапе в соответствии с рекомендацией семинара кафедры геотехнологии по итогам зимней сессии 2018 г. была выполнена численная оценка соответствия различных вариантов обучающе-тестирующих программ (в виде компьютерной лабораторной работы и тестов). В табл. 2 приведены основные статистические показатели.

По результатам обработки двух выборок критерий Фишера $F_{\text{расч}}$ составил 1,16, что меньше табличного значения ($F_{\text{табл}} = 2,41$) при установленной величине выборки. Таким образом, выборки оценок с использованием варианта компьютерных тестов и компьютерных лабораторных работ не принадлежат одной генеральной

Сравнительный анализ дидактических особенностей обучающе-тестирующих программ

Показатель	Значения показателя	
	Тесты	Компьютерная лабораторная работа
Число тем дисциплин в одном сеансе тестирования	5	8
Число рисунков (графических примитивов), используемых в одном сеансе работы (тестирования)	до 30	до 8
Допустимое число попыток тестирования	1	3
Время подготовки задания для теста/лабораторной работы	0	5 – 7 мин
Возможность выполнения работы/проведения теста при нехватке компьютерной техники	Нет	Есть
Возможность подготовки к тестированию/лабораторной работе при отсутствии компьютерной техники	Нет	Есть
Уровень сложности корректировки/расширения программы	Средний	Высокий
Возможность использования для выполнения НИР студентов и заданий в рамках проектной деятельности	Нет	Есть
Число тем смежных дисциплин, задействуемых в одном сеансе работы	3	3
Возможность использования программы при наполнении курса «Технология обработки пологих пластов» в Moodle	Есть	Нет
Возможность использования ресурсов программы при выполнении курсовых проектов и выпускной квалификационной работы	Нет	Есть
Возможность использования ресурсов программы при подготовке к защите курсовых проектов и выпускной квалификационной работы	Есть	Нет

совокупности, т.е. программы представляют различные подходы к оцениванию знаний обучающихся.

Выводы. На основании вышеизложенного установлено, что компьютерные лабораторные работы, реализованные в виде обучающе-тестирующей программы, несмотря на большую трудоемкость подготовки заданий и расширения программы представляют собой более гибкий и универсальный инструмент компьютерной реализации промежуточной аттестации обучающихся по дисциплинам, связанным с технологией и механизацией обработки пологих пластов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Феоктистов А.В., Кольчурина И.Ю., Приходько О.Г. СибГИУ: 85 лет успешной работы по подготовке высококвалифицированных специалистов // Современные вопросы теор-

рии и практики обучения в вузе: Сборник научных трудов. Вып. 18. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 7 – 15.

2. Тихобаев А.Г. Интерактивные компьютерные технологии обучения // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. № 8. С. 81 – 84.
3. Картозия Б.А., Корчак А.В., Латыпов Д.В. Внедрение информационных технологий при подготовке горных инженеров для освоения подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № S1. С. 590 – 595.
4. Васильева В.В., Филинберг И.Н. Некоторые вопросы инновационной деятельности в вузе // Современные вопросы теории и практики обучения в вузе. Вып. 19. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. С. 24 – 30.

Основные статистические показатели результатов аттестации

Показатель	Компьютерная лабораторная работа	Тестирующая программа
Максимальная оценка	4,75	4,71
Минимальная оценка	2,75	3,04
Средняя оценка	3,42	3,81
Коэффициент вариации оценки	0,18	0,15

5. Затылкин А.В., Граб И.Д., Алмаметов В.Б., Юрков Н.К., Трусов В.А. Анализ современных компьютерных обучающих систем // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2009. Т. 1. С. 225, 226.
6. Домрачев А.Н. Алгоритм и структура контента обучающе-тестирующей программы для базовых дисциплин специальности 130400 «Горное дело» // Научные труды технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С.184 – 187.
7. Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н. Разработка и внедрение в учебный процесс системы поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка // Известия Тульского государственного университета. 2018. Вып. 1. С. 159 – 165.
8. Домрачев А.Н., Риб С.В. Совершенствование критерия оценки компьютерных лабораторных работ по курсу «Технология отработки пологих пластов» специальности 21.05.04 «Горное дело» // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. №4 (26). С. 63 – 65.
9. Риб С.В., Никитина А.М., Любогощев В.И. Анализ опыта разработки и первого этапа внедрения компьютерной лабораторной работы «Выбор параметров технологии подготовки и отработки пологого пласта» // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2016. № 4 (18). С. 20 – 23.

© 2019 г. *А.Н. Домрачев, С.В. Риб*
Поступила 14 марта 2019 г.

ЛЕОНИДУ ТРОФИМОВИЧУ ДВОРНИКОВУ – 85



6 февраля 2019 г. профессору кафедры механики и машиностроения Сибирского государственного индустриального университета (г. Новокузнецк) Дворникову Л.Т. исполнилось 85 лет. Леонид Трофимович Дворников – заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, основатель научной школы «Теория структуры механических систем и практика ее использования при синтезе сложных машин, включая горные и металлургические».

Творческую деятельность Л.Т. Дворникова можно условно разделить на три этапа: томский, где уже существовала научная школа профессора О.Д. Алимова; фрунзенский и новокузнецкий, где научные школы были созданы Л.Т. Дворниковым по основным научным направлениям, им развиваемым.

В 1958 г. Л.Т. Дворников закончил с отличием Томский политехнический институт по специальности горная электромеханика и остался на преподавательской деятельности, параллельно обучаясь в аспирантуре. На первоначальном этапе научный интерес Леонида Трофимовича был связан с режимами бурения горных пород машинами вращательного действия, а с 1963 г. он занялся глубоким изучением теории механизмов и машин, чему и посвятил всю свою дальнейшую жизнь.

В 1965 г. Л.Т. Дворников был приглашен на заведование кафедрой «Теория механизмов и машин» Фрунзенского политехнического инсти-

тута (г. Фрунзе Киргизской ССР), где им было создано новое научное направление по теории механизмов и горным машинам, используемым при добыче полезных ископаемых. В 1974 г. Леонид Трофимович защищает докторскую диссертацию, избирается деканом механико-машиностроительного факультета и становится директором научно-исследовательского института проблем машиностроения. С 1965 по 1989 гг. им были подготовлены в Киргизии 20 кандидатов наук, опубликованы более 200 научных статей, получено более 100 авторских свидетельств на изобретения. За вклад в науку и подготовку высококвалифицированных кадров для республики он был награжден орденом СССР Дружбы народов (1986 г.), удостоен звания лауреата Государственной премии Киргизской ССР (1976 г.), звания заслуженного деятеля науки Киргизии и избрания членом-корреспондентом Академии наук Киргизии. Позже в 2004 г. указом Президента Киргизии А.А. Акаева Л.Т. Дворников был награжден орденом «Данакер» за большой вклад в науку и технику республики.

Многие ученики фрунзенской школы Л.Т. Дворникова стали директорами крупных предприятий, фирм, ректорами, деканами и заведующими кафедрами, сами создали научные школы, воспитывают своих учеников.

Работая в Киргизии, Л.Т. Дворников не прерывал тесных научных связей с Кузбассом, в частности с Кузнецким машиностроительным заводом (КМЗ), где при его участии и под его научным руководством были созданы многие высокопроизводительные буровые агрегаты для угольных шахт. Восемь инженеров КМЗ, занимаясь совершенствованием горных машин под научным руководством Л.Т. Дворникова, защитили кандидатские диссертации и довели выпускаемую на КМЗ технику до мировых стандартов.

В 1989 г. Леонид Трофимович был приглашен на работу в Сибирский металлургический институт в качестве заведующего кафедрой теории механизмов и машин и основ конструирования. За прошедшие 27 лет им была создана научная школа по «Теории структуры механических систем и практике ее применения при синтезе сложных машин, включая горные и металлургические». По тематике этой школы Л.Т. Дворниковым были подготовлены к защите пять докторских и 25 кандидатских диссертаций, получено около 200 патентов на изобретения,

опубликованы 10 монографий и более 300 научных статей. С 1992 г. им была организована подготовка специалистов по новой специальности «Динамика и прочность машин». К настоящему времени для нужд Кузбасса были выпущены более ста бакалавров и инженеров высшей квалификации, работающих на предприятиях г. Новокузнецка и Кемеровской области. Большинство из этих специалистов являются авторами изобретений, важных технических проектов, научных статей.

Ряд изобретений Л.Т. Дворникова имеют межотраслевое значение, некоторые из них явились, в частности, основаниями для разработки Государственных Стандартов (ГОСТов). По заданию ВПК Л.Т. Дворниковым были разработаны уникальные подземные проходческие роботы, защищенные 37 изобретениями. На изобретенных Л.Т. Дворниковым стендах отрабатывались режимы бурения, использованные на космическом аппарате «Луна – 24». Многие изобретения Л.Т. Дворникова оцениваются пользователями как крупный вклад в технический прогресс, выразившийся в решении инновационных задач, не имеющих аналогов в мировой практике. Активно участвуя в проводимом Администрацией Кемеровской области конкурсе инноваций и изобретений (2003 – 2006 гг.), за свои изобретения Дворников Л.Т. был удостоен четырех дипломов I степени, награжден медалями «За особый вклад в развитие Кузбасса» III и II степени, медалью «За служение Кузбассу». Его изобретения на Международной выставке «Уголь и Майнинг» удостоивались серебряных и бронзовых медалей. Разработки Л.Т. Дворникова демонстрировались на Международной выставке в Китае в 2007 г. (г. Шеньян) и получили высокую оценку, по ним заключено пять международных договоров на реализацию. В течение 2004 – 2008 гг. двадцать запатентованных Дворниковым технических решений нашли прямое использование на шахтах Кузбасса.

Его многолетняя плодотворная изобретательская деятельность неоднократно отмечалась ведомственными Почетными грамотами и благодарностями. Так, за особо активное участие в инновационной программе Кузбасса Л.Т. Дворников в 2004 г. был признан лучшим заведующим кафедрой Кемеровской области. За инновационные технические разработки для угольных шахт Кузбасса по представлению «Южкузбассугля» Л.Т. Дворников решением Министерства энергетики РФ был награжден знаком «Шахтерская слава» всех трех степеней.

К настоящему времени Леонид Трофимович Дворников является автором более 350 изобретений, более 600 научных статей, десяти моно-

графий. Он подготовил к защите десять докторов технических наук, около 60 кандидатов наук, им подготовлены и выпущены сотни высокопрофессиональных инженеров. За эти годы он был удостоен медали ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, ордена Почета (2010 г.). В 1970 г. он был награжден медалью «За доблестный труд. В ознаменование столетия со дня рождения В.И. Ленина», в 1986 г. – медалью «Ветеран труда», в 2000 г. – отраслевой наградой «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», а в 2010 г. награжден знаком «Почетный профессор Кузбасса».

Активная творческая деятельность Л.Т. Дворникова продолжается. Им разработаны более ста изобретений, вовлечены в изобретательскую деятельность десятки аспирантов и студентов. Коллектив кафедры теории механизмов и машин и основ конструирования СибГИУ, возглавляемый профессором Дворниковым Л.Т., в 2012 г. был признан Администрацией Кемеровской области ведущим научно-педагогическим коллективом и удостоен гранта.

Постановлением Совета народных депутатов Кемеровской области Л.Т. Дворникову в 2013 г. присвоено почетное звание «Почетный гражданин Кемеровской области». За это же время им лично были разработаны и опубликованы в центральной печати важные для теории машин научные трактаты «Общая универсальная структурная классификация механизмов» и «Основы теории кинематических соединений (кинематических пар) механических систем». Леонид Трофимович избран академиком Российской академии естественных наук и Международной академии высшей школы.

За период с 2011 по 2017 гг. под научным руководством профессора Л.Т. Дворникова выполнены исследования в области совершенствования машин универсального назначения и горных машин, по которым его учениками А.В. Степановым (2013 г.), И.А. Жуковым (2017 г.) защищены докторские диссертации, а М.Г. Попугаевым (2011 г.), П.Д. Крестовоздвиженским (2011 г.), В.В. Дмитриевым (2011 г.), В.В. Гаршиным (2012 г.), А.С. Фоминым (2013 г.), О.М. Яскевичем (2016 г.) – кандидатские диссертации.

В течение 2015 – 2016 гг. Л.Т. Дворников активно участвовал в качестве научного консультанта и прямого исполнителя научного проекта в рамках «Федеральной целевой программы», возглавляемой премьер-министром РФ Д.А. Медведевым. В результате этого проекта были разработаны и рекомендованы к внедрению принципиально новые подходы к использова-

нию в горном производстве совершенного бурового инструмента с использованием сверхтвердых материалов на основе нитрида бора, разработанного Институтом сверхтвердых материалов имени Курчатова.

Научные достижения профессора Л.Т. Дворникова хорошо известны и за пределами РФ из справочника «Кто есть кто». В 2013 г. он награжден золотой медалью Европейской научно-промышленной палатой.

За период с 2013 по 2015 гг. Российская академия естествознания за значительный вклад в развитие мировой науки, образование и общественную деятельность наградила Л.Т. Дворникова орденом «Labore et Scientia – трудом и знанием», орденом Александра Великого за науч-

ные победы и свершения, орденом Петра Великого «Небываемое Бывает».

В коллективе Сибирского государственного индустриального университета Леонид Трофимович Дворников пользуется глубоким уважением как ученый и как высокопрофессиональный преподаватель. Ум Леонида Трофимовича постоянно занят новыми идеями, которыми он с радостью делится со своими учениками, являющимися главным итогом деятельности и его гордостью.

Редакция журналов «Вестник СибГИУ», «Известия вузов. Черная металлургия», коллеги, друзья сердечно поздравляют Леонида Трофимовича с юбилеем и желают ему многих лет активной и интересной жизни, крепкого здоровья и новых научных свершений.

РЕФЕРАТЫ

Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Sn Alloys Synthesized by Disintegrated Melt Deposition Technique / Jayalakshmi S., Arvind Singh R., Konovalov S., Xizhang Chen, Gupta M. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 3.

Light-weight Magnesium (Mg) materials containing tin (Sn) are suitable for applications in aerospace and automotive sectors due to their better heat resistance. In this paper, the effect of increasing tin (Sn) addition on the microstructure and mechanical properties of pure magnesium (Mg) is presented. Binary Mg – Sn alloys were prepared by incorporating pure magnesium with 5, 10 and 15 (wt. %) tin and prepared using the Disintegrated Melt Deposition (DMD) technique, followed by hot extrusion. From microstructural observations, it was seen that when compared to pure magnesium, the Mg – Sn alloys showed significant grain refinement with the amount of Mg₂Sn eutectic phase increasing with the increase in tin content. The binary alloys showed superior mechanical properties when compared to pure Mg, with micro-hardness values increasing almost by 200 %. Under tensile loading conditions when compared to pure magnesium, the Mg – Sn alloys showed increase in yield strength by ~80 %, while their ultimate strength increased by ~60 % with a slight reduction in ductility. Among the alloys developed, the amount of tin content played a major role in determining their mechanical properties, with the Mg – 5Sn alloy exhibiting the best properties. Table 2. Fig. 3. Ref. 10.

Keywords: light-weight materials; magnesium-tin alloys; processing; microstructure; mechanical properties.

УДК 625.143.48

Исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали / Полевой Е.В., Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Кушев Д.Ю., Юнусов А.М. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 8.

В статье представлены исследования неметаллических включений, присутствующих в сварном соединении образцов из рельсовой стали. Предположительно определено, что причиной снижения механических свойств полученных образцов является наличие неметаллических включений в металле сварного соединения. Химический состав включений, выявленных по месту сварного шва, показал, что основными их составляющими являются оксиды кремния, марганца и что эти включения характерны при образовании высокотемпературной окалины. Химический состав неметаллического включения, выявленного в металле вне зоны шва, типичен для включений, образующихся при выплавке и свидетельствует о шлаковом характере его происхождения. Ил. 3. Табл. 1. Библ. 22.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, железнодорожные рельсы, неметаллические включения, структура металла шва.

Investigation of non-metallic inclusions formed during the electric contact welding of rail steel / Polevoy E.V., Shevchenko R.A., Kozyrev N.A., Kushev D.Yu., Yunusov A.M. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 8.

The article presents the studies of non-metallic inclusions in the welded joint of rail steel samples. It is presumably defined that the cause of the decrease in the mechanical properties of the obtained samples is the presence of non-metallic inclusions in the weld metal. The chemical composition of inclusions identified at the weld zone showed that their main components are oxides of silicon, manganese and that these inclusions are characteristic for the formation of high-temperature scale. The chemical composition of non-metallic inclusions found in the metal outside the weld zone is typical for inclusions formed during smelting and indicates the slag nature of its origin. Fig. 3. Table 1. Ref. 22.

Keywords: resistance butt welding, railway rails, non-metallic inclusions, structure of weld metal.

УДК 621.3.016:621.565

Влияние соотношения масс подвижных балок и металла на величину волновых процессов в многодвигательном гидроприводе холодильников МНЛЗ / Савельев А.Н., Козлов С.В., Булатов И.А., Прохоренко О.Д. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 13.

В работе проанализировано влияние соотношения масс металла и подвижных балок холодильников при разных скоростях их передвижения на величину волновых процессов в гидроприводе. Наибольшее значение давления в гидроприводе подвижных балок соответствует 34 МПа и возникает при отношении массы металла к массе подвижных балок 1,12 и скорости взаимодействия масс 0,7 м/с. По величине волновое давление значительно может превышать статическое давление в гидроприводе холодильника, а значит обязательно должно учитываться при конструировании приводов холодильников МНЛЗ. Ил. 3. Библ. 12.

Ключевые слова: волновые процессы, гидропривод холодильника МНЛЗ, подвижные балки, волны напряжения.

The influence of the mass ratio of movable beams and metal on the magnitude of wave processes in a multi-motor hydraulic drive of a continuous casting machine / Savel'ev A.N., Kozlov S.V., Bulatov I.A., Prokhorenko O.D. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 13.

The influence of the mass ratio of metal and mobile beams of collers at different speeds of their movement on the magnitude of wave processes in the hydraulic drive is analyzed in the paper. The highest value of pressure in the hydraulic drive of movable beams corresponds to 34 MPa and occurs when the ratio of the mass of the metal to the mass of the movable beams is 1.12 and the speed of interaction of the masses 0.7 m/s. The magnitude of the wave pressure can significantly increase the static pressure in the hydraulic drive of the cooler, and therefore must necessarily be taken into account when designing the drives of the CCM coolers. Fig. 3. Ref. 12.

Keywords: wave processes, hydraulic actuator of the CCM cooler, moving beams, stress waves.

УДК 652.143.48

Зависимость удельного электрического сопротивления рельсовых сталей от температуры / Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Патрушев А.О., Козырев Н.А., Усольцев А.А. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 19.

Обоснована необходимость исследования удельного электросопротивления рельсовой стали в условиях высоких температур, соответствующих процессу контактной стыковой сварки железнодорожных рельсов. Описан способ определения электросопротивления методом Кельвина. Экспериментальным путем установлена зависимость удельного электросопротивления рельсовой стали Э76ХФ от температуры в интервале 200 – 700 °С. Использование полученной зависимости позволит проводить расчет режимов контактной стыковой сварки рельсов оплавлением. Ил. 1. Библ. 10.

Ключевые слова: рельсовая сталь, удельное электросопротивление, сварное соединение, контактная стыковая сварка оплавлением.

Dependence of electrical resistivity of rail steel on temperature / Kuznetsov V.A., Shevchenko R.A., Patrushev A.O., Kozyrev N.A., Usoltsev A.A. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No.1 (27). – P. 19.

The necessity of studying the specific electrical resistivity of rail steel at high temperatures, corresponding to the process of butt welding of rails, is substantiated. The technique for determining the electrical resistance by the Kelvin method is described. The dependence of the specific electrical resistivity of rail steel E76HF on the temperature in the range of 200 – 700 °C was established experimentally. Application of the obtained dependence will allow the calculation of the modes of resistance butt welding of rails to be carried out by reflow. Fig. 1. Ref. 10.

Keywords: rail steel, specific electrical resistivity, welded joint, flash butt welding.

УДК 504.054

Учет экологических факторов при организации работы ТЭЦ / Стерлигов В.В., Мигель Д.О., Мигель Р.О. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 22.

Экологические проблемы чрезвычайно актуальны как для отдельного предприятия и всего промышленного комплекса страны, так и для планеты. Развитие промышленности – результат научно-технического прогресса и производственной деятельности людей. С другой стороны, промышленность – основной потребитель природных ресурсов и мощный источник загрязнения. Табл. 5. Ил. 2. Библ. 12.

Ключевые слова: ТЭЦ, парниковый эффект, выбросы, экология, нагрузка.

Consideration of environmental factors in the organization of the heat and power plant / Sterligov V.V., Migel D.O., Migel R.O. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 22.

Environmental problems are very actual for a separate enterprise as well as for the whole industrial complex of the country, and the planet. The development of the industry is a result of scientific and technical progress and people's production activity. On the other side, the industry is the main consumer of natural resources and a powerful source of the pollution. Tables 5. Fig. 2. Ref. 12.

Keywords: thermal power station, greenhouse effect, emissions, environment, load.

УДК 622.817.4

Анализ способов интенсификации газовыделения из угольных пластов / Ларин М.К., Бибик М.А., Елкина Д.И. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 27.

Современная добыча угля подземным способом характеризуется обработкой газоносных угольных пластов с применением высокопроизводительного горно-шахтного оборудования, эффективность которого ограничивается газовым фактором. Для повышения объемов добычи угля и безопасности ведения горных работ на газоносных угольных пластах большое значение имеет совершенствование систем и средств дегазации угольных пластов. При проектировании необходимо знать газоносность угольных пластов, которая обуславливает интенсивность поступления метана в горные выработки при обработке угленосного массива. Анализ существующих методов дегазации угленосного массива в области изменения степени метаморфизма углей (тепловой $V_T = 2 \div 42 \%$; силовой $V_T = 2,0 \div 17,6 \%$; виброволновой $V_T > 25 \%$) показал, что в комплексе они перекрывают весь диапазон известных значений степени метаморфизма углей от 2 до 42 %. Табл. 1. Библ. 13.

Ключевые слова: угольная шахта, интенсификация газовыделения, анализ способов повышения газовой выделенности, гидроразрыв пласта, деструкция природной системы уголь – газ, метан, угольное вещество, метаморфизм углей.

Analysis of the intensification techniques of gas release from coals / Larin M.K., Bibik M.A., Elkina D.I. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 27.

Modern underground mining of coal is characterized by development of gas-bearing coal seams using high-performance mining equipment, the effectiveness of which is limited by the gas factor. The improvement of coal seam drainage systems and facilities is of great importance for the increase of coal production and the safety of mining operations in gas-bearing seams. When designing, it is necessary to use information about the gas bearing capacity, which determines the intensity of methane inflow to mine workings when mining the coal-bearing massif. The analysis of the existing methods for gas drainage from the coal-bearing massif in regard with the change in the degree of coal metamorphism (thermal $V_T = 2 \div 42 \%$; power $V_T = 2,0 \div 17,6 \%$; vibrowave $V_T > 25 \%$) showed that in the complex they cover the entire range of known values of coal metamorphism degree from 2 to 42 %. Table 1. Ref. 13.

Keywords: coal mine, gas release intensification, analysis of gas release enhancement methods, hydraulic fracturing, destruction of the natural coal – gas system, methane, coal substance, coal metamorphism.

УДК 622.281.424

Техника и технология торкретирования кислотоупорным составом при ремонте промышленных сооружений с агрессивной средой / Волченко Г.Н., Инжуватов А.Н., Кочетов А.Г., Фрянов В.Н., Челпанов О.В. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 31.

Рассмотрены техника и технология набрызгбетонирования Termiton кислотоупорным составом при ремонте промышленных сооружений с агрессивной средой. Данный метод впервые в России использован для ремонта боровых дымовых труб аглофабрики кислотоупорным составом на основе жидкого стекла и оригинальной торкрет-установки Termiton. Ил. 6. Библ. 8.

Ключевые слова: деформация, разрушение, ремонт кислотоупорным составом на основе жидкого стекла, бетонное покрытие, полусухое набрызгбетонирование.

Technique and technology of gunite coating with an acid-resistant composition during repair of industrial structures with an aggressive environment / Volchenko G.N., Inzhuvatov A.N., Kochetov A.G., Fryanov V.N., Chelpanov O.V. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 31.

The technique and technology of concrete coating Termiton with an acid-resistant composition during repair of industrial buildings with an aggressive environment are considered. This technique was used for the first time in Russia for repairing chimneys flues at the sintering plant with an acid-resistant composition based on liquid glass and the original gunite installation Termiton. Fig. 6. Ref. 8.

Keywords: deformation, destruction, repair with acid-resistant composition based on liquid glass, concrete coating, semi-dry concrete coating.

УДК 629.3

Обоснование экономических аспектов развития безрельсового механического общественного транспорта с электрическим приводом при использовании твердополимерных топливных элементов / Шугаев О.В. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 36.

Рассматривается экономическая эффективность и возможность применения топливных элементов в безрельсовом механическом общественном транспорте с электрическим приводом. Представлено сравнение затрат на обслуживание троллейбусного, автомобильного и общественного электрического транспорта на колесном ходу, оснащенного топливными элементами. Выявлен срок окупаемости капитальных вложений, необходимых для переоборудования одной подвижной единицы безрельсового электрического общественного транспорта. Табл. 3. Ил. 4. Библ. 18.

Ключевые слова: топливные элементы, общественный электрический транспорт, троллейбус.

Substantiation of economic aspects of the development of trackless mechanical public transport with electric drive when using solid polymer fuel cells / Shugaev O.V. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 36.

The article considers the economic efficiency and the possibility of using fuel cells in a trackless mechanical public transport with an electric drive. A comparison of costs for the maintenance of trolleybus, road and public electric transport on wheels equipped with fuel cells is presented. The payback period of the capital investments required for the conversion of one mobile unit of trackless electric public transport has been determined. Table 3. Fig. 4. Ref. 18.

Keywords: fuel cell, public electric transport, trolleybus.

УДК 669.715:541.127

Анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe, легированного стронцием в среде электролита NaCl / Джайлоев Дж.Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Якубов У.Ш. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 42.

Приведены результаты исследования анодного поведения сплава Al + 2,18 % Fe, легированного 0,005 – 0,5 % (по массе) стронция, в среде электролита NaCl. Ил. 3. Табл. 1. Библ. 9.

Ключевые слова: сплав Al + 2,18 % Fe, стронций, потенциостатический метод, коррозия, анодное поведение, питтингообразование, электролит NaCl.

Anodic behavior of Al + 2,18 % Fe alloy doped with strontium in electrolyte medium NaCl / Dzhayloev Dzh.Kh., Ganiev I.N., Amonov I.T., Yakubov U.Sh. // Bulletin of SibSIU. – 2018. – No. 3 (25). – P. 42.

The research results of anode behavior of Al+2.18% Fe alloy doped with 0.005 – 0.5 wt.% strontium in the medium of the electrolyte NaCl are provided. Fig. 3. Table 1. Ref. 9.

Keywords: Al + 2.18% Fe alloy, strontium, potentiostatic method, corrosion, anodic behavior, pitting, electrolyte NaCl.

УДК 691.6:72

Стекло в строительстве и архитектуре / Осипов Ю.К., Матехина О.В. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 47.

Рассмотрены возможности использования строительного стекла с учетом его свойств и влияния на внутреннюю среду здания. Библ. 5.

Ключевые слова: стекло, архитектура, строительство.

Glass in construction and architecture / Osipov Y.K., Matekhina O.V. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 47.

The possibilities of application of structural glass, in view of its properties and effects on internal environment of a building, are considered. Ref. 5.

Keywords: glass, architecture, construction.

УДК 624.05

Анализ ошибок, допущенных при возведении кирпичного дома хозяйственным способом / Алешин Д.Н., Алешина Е.А., Бащенко Н.Н., Попова Е.И. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 51.

Приведены характерные дефекты и повреждения строительных конструкций, которые возникают на стадии возведения многоэтажного кирпичного дома, построенного хозяйственным способом с привлечением неквалифицированных специалистов. Проанализированы причины возникновения дефектов и повреждений. Предложены меры по устранению основной ошибки, допущенной при возведении здания, – обустройство отсутствующих деформационных швов. Ил. 4. Библ. 5.

Ключевые слова: кирпичный дом, дефекты, повреждения строительных конструкций, хозяйственный способ, деформационный шов, кирпичная кладка, трещины, проседание грунта, пропилен кирпичной кладки.

Analysis of mistakes made in the construction of a brick house without contractors / Aleshin D.N., Aleshina E.A., Baschenko N.N., Popova E.I. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 51.

The characteristic defects and damages of the building structures are described that arise at the stage of the construction of a multi-storey brick house, constructed without contractors with the involvement of unqualified professionals. The causes of defects and damages are analyzed. Measures to eliminate the main mistake made during the construction of the building are proposed, which is the arrangement of the missing expansion joints. Fig. 4. Ref. 5.

Keywords: brick house, defects, damage of building structures, construction without contractors, expansion joint, brickwork, cracks, subsidence of soil, saw cutting through brickwork.

УДК 378.147:744

Организация занятий по инженерной графике с использованием методов интерактивного обучения / Петрова В.А. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 54.

Приведены возможные варианты проведения занятий по инженерной графике с применением методов интерактивного обучения. На практических занятиях по машиностроительному черчению использовался синтетический (активный) метод, по начертательной геометрии – алгоритмический (интерактивный), по компьютерной графике – метод интерактивного обучения высшего уровня – мультимедийный. Разработаны и проиллюстрированы этапы проведения каждого вида занятия. Ил. 3. Библ. 4.

Ключевые слова: интерактивность, компетенция, учебно-информационная среда, синтетический метод, алгоритмический метод, мультимедийный метод, инженерная графика, проблемное задание, расчетно-графическая работа, дискуссия, рефлексия, портфолио, эффективность.

Organization of studies in engineering graphics using the methods of interactive learning / Petrova V.A. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 54.

The possible options for conducting classes in engineering graphics using interactive learning methods are given. During practical classes in mechanical drawing, a synthetic (active) method was used; an algorithmic (interactive) method was used in descriptive geometry; a high-level interactive learning method – multimedia was used in computer graphics. The stages of each type of training were developed and illustrated. Fig. 3. Ref. 4.

Keywords: interactivity, competence, educational and information environment, synthetic method, algorithmic method, multimedia method, engineering graphics, the problem assignment, calculation-graphic work, discussion, reflection, portfolio efficiency.

УДК 622:681.3.07

Опыт применения обучающе-тестирующей программы по дисциплине «Технология отработки пологих пластов» / Домрачев А.Н., Риб С.В. // Вестник СибГИУ. – 2019. – № 1 (27). – С. 62.

В статье выполнен сравнительный анализ результатов использования традиционных тестов и компьютерной лабораторной работы при проведении промежуточной аттестации по дисциплине «Технология отработки пологих пластов». По результатам выполненного анализа предложены направления дальнейшего развития обучающе-тестирующей программы изучения специальных дисциплин на кафедре геотехнологии. Ил. 1. Табл. 2. Библ. 10.

Ключевые слова: горное дело, тестирование, компьютерная лабораторная работа, обучающе-тестирующая программа, сравнительный анализ, итоговая аттестация, статистические показатели.

Experience in the use of training and testing programs for the course “Technology of working flat seams” / Domrachev A.N., Rib S.V. // Bulletin of SibSIU. – 2019. – No. 1 (27). – P. 62.

In this article, a comparative analysis of the results of the use of traditional tests and computer laboratory work during the end-of-course assessment in the discipline “Technology of working flat beds” was performed. According to the results of the analysis, the directions for the further development of the training and testing program were proposed which can be used for teaching special disciplines at the Department of Geotechnology. Fig. 1. Table 2. Ref. 10.

Keywords: mining, testing, computer laboratory work, training and testing program, comparative analysis, end-of-course assessment, statistical indicators.

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.

Гуманитарные науки.

Социальные науки.

Отклики, рецензии, биографии.

К рукописи следует приложить рекомендацию соответствующей кафедры высшего учебного заведения и экспертное заключение.

Кроме того, необходимо 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 два экземпляра текста статьи на бумажном носителе, а также на электронном. Для ускорения процесса рецензирования статей электронный вариант статьи и скан-копии сопроводительных документов рекомендуется направлять по электронной почте на e-mail: 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.). На обратной стороне ри-

сунка должны стоять порядковый номер, соответствующий номеру рисунка в тексте, фамилии авторов, название статьи.

Формулы вписываются четко. Шрифтовое оформление физических величин следующее: 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. Если формулы набираются с помощью редакторов формул Equatn или Math Type, следить, чтобы масштаб формул был 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 8 – 10 страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, и трех рисунков.

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 не в виде подстрочных сносок, а 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 7.2 – 2003: 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 в двух экземплярах объемом не менее 1/2 страницы текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, а также ключевые слова.

В конце статьи необходимо привести на английском языке: название статьи, ФИО 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 несложно-

го 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 оформлению 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) в разделе «Наука и инновации» (Периодические научные издания (Журнал «Вестник СибГИУ»)).

На д номером работали

Темлянцев М.В., *главный редактор*

Новичихин А.В., *ответственный секретарь*

Бащенко Л.П., *ведущий редактор*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Темлянцева Е.Н., *верстка*

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