

ISSN 2617-1848



# СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (9) декабрь 2019



НАШИ ПАРТНЕРЫ:



Министерство строительства  
и жилищно-коммунального хозяйства ДНР

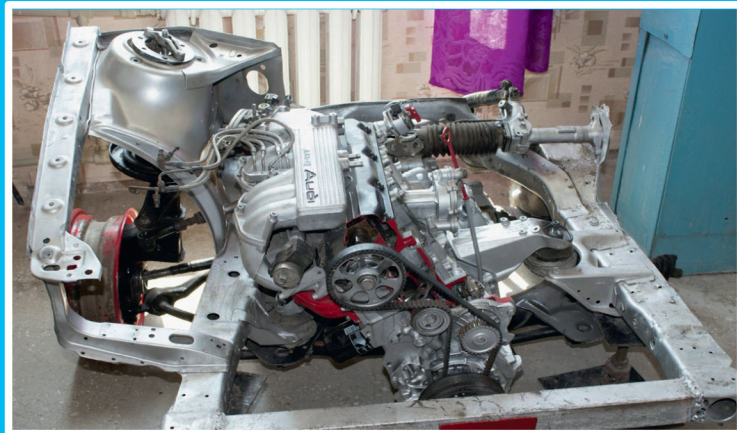


Министерство образования  
и науки ДНР





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»



286123, ДНР, г. Макеевка,  
ул. Державина, 2, каб. 136  
(1-й учебный корпус)



(071) 363-0627

#ПоступайПравильно  
#ВыбирайДОННАСА



ISSN 2617-1848

Научно-практический журнал

# СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА

Издаётся с ноября 2017 года

Выходит один раз в три месяца

№ 4 (9),  
Декабрь 2019 г.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор	<b>Е.В. ГОРОХОВ,</b> д. т. н., профессор
Зам. главного редактора (научный редактор)	<b>Н.М. ЗАЙЧЕНКО,</b> д. т. н., профессор
Ответственная за выпуск (выпускающий редактор)	<b>Н.Х. ДМИТРИЕВА</b>
Ответственный редактор	<b>Б.В. КЛЯУС</b>

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»  
Министерства образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
при поддержке Министерства строительства  
и жилищно-коммунального хозяйства  
Донецкой Народной Республики

## АДРЕС РЕДАКЦИИ

86123, Донецкая Народная Республика,  
г. Макеевка, ул. Державина, дом 2. ГОУ ВПО «ДОННАСА»  
Web: strdon.donnasa.ru  
Электронная почта: strdon@donnasa.ru  
Контактный телефон: (071) 363-74-63

Печатается по решению Ученого Совета  
ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»  
Протокол № 3 от 25.11.2019

Перепечатка, копирование и воспроизведение всех  
материалов журнала возможны только с письменного  
разрешения редакционной коллегии

«Свободная цена»

Свидетельство о регистрации средства массовой  
информации № 000217, выдано 18.03.2019 года  
Министерством информации  
Донецкой Народной Республики

Подписано в печать 23.12.2019. Формат 60 × 90<sup>1/8</sup>.  
Бум. мелов. Усл. печ. л. 12,00. Тираж 300 экз. Заказ № 165

ООО «Издательско-полиграфическое предприятие «Проминь»  
83059, г. Донецк, пр. Ильича, 109а  
Свидетельство о государственной регистрации № 27235,  
выдано 03.12.2014 года Департаментом государственной  
регистрации Министерства доходов и сборов  
Донецкой Народной Республики

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агеев В.Г. – НИИГД «Респиратор», ДНР  
Бенаи Х.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Большаков А.Г. – ИрНТУ, РФ  
Братчун В.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Брюханов А.М. – ГУ МакНИИ, ДНР  
Бумага А.Д. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Высоцкий С.П. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Гайворонский Е.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Горожанкин С.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Горохов Е.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Дорофиенко В.В. – ГОУ ВПО «ДонаУиГС при Главе ДНР»  
Долженков А.Ф. – ГУ МакНИИ, ДНР  
Дрозд Г.Я. – ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. Даля»  
Ефремов А.Н. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Зайченко Н.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Иванов М.Ф. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Куликов Н.И. – ЮРГПУ (НПИ), РФ  
Левин В.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Левченко В.Н. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Лобов И.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Лобов М.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Лукьянов А.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Мамаев В.В. – НИИГД «Респиратор», ДНР  
Муксинов Р.М. – КРСУ, Кыргызстан  
Мушанов В.Ф. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Нагаева З.С. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ  
Назим Я.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Найманов А.Я. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Насонкина Н.Г. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Наумец С.С. – МИНСТРОЙ ДНР  
Нездойминов В.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Нечепачев В.Г. – ГОУ ВПО «ДонНТУ», ДНР  
Олексюк А.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Пенчук В.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Петраков А.А. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Пономоренко Е.В. – СамГТУ, РФ  
Радионов Т.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Севка В.Г. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Семченков Л.В. – МИНСТРОЙ ДНР  
Сердюк А.И. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Тищенко В.П. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Шаленный В.Т. – ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», РФ  
Шолух Н.В. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР  
Югов А.М. – ГОУ ВПО «ДОННАСА», ДНР



# СОДЕРЖАНИЕ

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

*А.Б. Комов, П.Б. Комов*  
ИДЕОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «НАЗЕМНЫЕ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СРЕДСТВА» ..... 6

*С.А. Горозжанкин, В.Ф. Мушанов, Н.В. Савенков*  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
АВТОМОБИЛЬНОЙ БЕССТУПЕНЧАТОЙ  
ТРАНСМИССИИ ТИПА CVT ..... 13

*Ю.В. Прилепский, А.Д. Бумага, Л.В. Целуйко,  
С.А. Ткачев*  
СТЕНД ДЛЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ..... 21

*С.А. Горозжанкин, Н.В. Савенков*  
ЗАКОНЫ ИЗМЕНЕНИЯ  
УСКОРЕНИЙ АВТОМОБИЛЯ  
В ПРОЦЕССЕ ЕГО РАЗГОНА ..... 27

*А.Г. Каспарьянц, Д.В. Попов, Э.С. Савенко*  
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШАТУНОВ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ  
РЕМОНТНОЙ ДЕТАЛИ ..... 32

*О.В. Соболев, Д.А. Шкильнюк, Д.В. Мальцев*  
ТРАНСПОРТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
СКОРОПОРЯЩИХСЯ ГРУЗОВ  
И ПРАВИЛА ИХ ДОСТАВКИ.  
ЗЕРОТОРЫ И АККУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА ..... 37

## ПОДЪЁМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ, ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

*Д.Г. Белицкий*  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ  
РАЗРАБОТКИ ВЫЕМОК С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ  
СТЕНКАМИ ОДНОКОВШОВЫМ  
ЭКСКАВАТОРОМ ..... 42

*В.А. Пенчук, А.К. Кралин*  
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГ  
И ТРОТУАРОВ ..... 45

*В.А. Пенчук, В.М. Даценко, Б.Е. Павлюк,  
А.А. Кравченко*  
ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СБОРА  
И СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ  
НА РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТАХ  
ИХ ОБРАЗОВАНИЯ ..... 51

# SUMMARY

*A.B. Komov, P.B. Komov*  
**IDEOLOGY OF ENGINEERS OF THE SPECIALTY  
«LAND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES»**

The article reveals the necessity and features of modern training of automotive transport engineers in specialty 23.05.01 in the conditions of digital economy, which forms the basis of a new economic person, whose competences are called upon to ensure the intensive development of small and medium-sized enterprises as the only effective mean of combating between modern society and unemployment on a new qualitative level. It is proposed to integrate higher educational institutions into the processes and structures of technopolises, which in the current conditions of road transport is advisable to organize on the basis of regional navigation and information centers, what targets the industry on the intensive formation of virtually distributed enterprises, where engineers of the specialty "Land Transport and Technological Vehicles" are designed to monitor the rolling stock situation, using satellite navigation and road transport system engineering models.

*S.A. Gorozhankin, V.F. Mushchanov, N.V. Savenkov*  
**EFFICIENCY OF THE AUTOMOTIVE CVT**

The material presented in the article is aimed at studying the efficiency of torque conversion with a promising continuously variable transmission of the CVT (Continuously Variable Transmission) type in order to determine the associated energy losses. The results are based on field tests of the Mitsubishi Lancer EX GLS vehicle that was selected as an object in urban conditions. The obtained laws and characteristics of the continuously variable transmission workflow allow subsequently to develop a set of recommendations for the rational regulation of power plants containing transmissions of this type, and to develop for them (taking into account the results of similar studies) a universal dimensionless characteristic of energy efficiency for its subsequent use in engineering and training purposes.

*Yu.V. Prilepskii, A.D. Bumaga, L.V. Tseluiko,  
S.A. Tkachev*

**STAND FOR VIBRATION-BASED DIAGNOSTICS  
OF VEHICLE INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

The possibility of setting up a special purpose stand for vibration-based diagnostics of vehicle internal combustion engines was considered in the article, taking into account the specific requirements imposed on the equipment of this class. The constructs of existing stands for internal combustion engines cold and hot run-in were analyzed; their advantages and disadvantages are presented. The materials for the frame of the stand were selected based on the increased damping capability, the analysis of forces in the stand was calculated, a rough design was created and the main technological equipment was selected.

*S.A. Gorozhankin, N.V. Savenkov*  
**VEHICLES' SPEEDING UP LAWS DURING  
ACCELERATION**

The study analyzed the acceleration modes of "category N3" vehicles on sections of the urban driving cycle in order to find the best options for changing acceleration. The ultimate goal was to optimize the motion variables to find the minimum cycle fuel consumption. The sizing-up process allows to calculate the associated parameters' values – actual engine operating conditions, engine power filling factor, the number of the actual gear, acceleration distance, passing time, etc. The results are recommended for usage in the control systems design of semi-automatic and automatic transmissions.



## S U M M A R Y

**A.G. Kaspariants, D.V. Popov, E.S. Savenko**  
**SPECIAL ASPECTS OF A RESTORING METHOD**  
**FOR VEHICLE INTERNAL COMBUSTION ENGINES**  
**CONNECTING RODS WITH THE USAGE OF ADDI-**  
**TIONAL REPAIR PART**

A restoring method for vehicle internal combustion engines connecting rods by eliminating the torsion and bending of the connecting rod, without over bending the upper head of the connecting rod was described in the article. This will reduce the cost of engine repairing without reducing the durability of the piston-cylinder assembly by using the method of an additional repair part, a typical connecting rod bush. Methods of testing the bending of the connecting rod for torsion and bending with the selection of technological equipment for the restoration of the connecting rods were proposed.

**O.V. Sobol, D.A. Shkilnuk, D.V. Maltsev**  
**TRANSPORT CHARACTERISTICS OF PERISH-**  
**ABLES AND DELIVERY RULES. EUTECTIC PLATES**  
**AND COLD ACCUMULATORS**

At present, a promising technique of machine-free cooling is the use of cold accumulators and eutectic plates in refrigerated vehicles in local trucking service. Heat of melting of eutectic solutions has been used in storage cooling systems. A methodology for selecting compositions of mixtures of crystalline hydrates based on construction and analysis of equilibrium and non-equilibrium state diagrams to provide crystallization with small supercoolings depending on the concentration of components and thermal history of the liquid phase has been proposed in this paper.

**D.G. Belitskii**  
**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENERGY CA-**  
**PACITY OF THE DEVELOPMENT OF DIGGING WITH**  
**VERTICAL WALLS BY A POWER SHOVEL**

Nowadays, the most common type of excavator working equipment is a backhoe. There are many types of excavation work on which it is necessary to develop excavations with vertical walls. The article presents a comparative analysis of the technological schemes of the excavator when digging a well with such working equipment as a backhoe and a clamshell. The advantages of using a clamshell have been described. Comparison of the volume of extracted soil depending on the required depth of excavation has been given. The analysis of the work spent on the extraction of this volume of soil is presented. The parameters of the specific energy consumption of the process of excavation using such working equipment as a backhoe and a clamshell have been calculated.

**V.A. Penchuk, A.K. Kralin**  
**FEATURES OF TECHNOLOGIES FOR THE DIS-**  
**TRIBUTION OF ANTI-ICING MATERIALS ON THE**  
**SURFACE OF ROADS AND SIDEWALKS**

The paper discusses technologies and means for preparing anti-icing combined mixtures and their distribution on the surface of public roads and pedestrian zones. A comparative analysis of the processes as components of the presented technologies has been carried out. It allows matching sets of machines involved in the technological processes of preparation and distribution of deicing materials. Criteria of optimization of the composition and structure of sets of machines for preliminary preparation and distribution of deicing mixtures and the effectiveness of the technology of distribution of mixtures using vehicles with a rotating cone-shaped body have been considered. An approximate implementation of a machine with a rotating cone-shaped body equipped with additional units used on machines for winter road maintenance has been presented. A preliminary calculation to determine the energy costs associated with the processes of distribution of deicing material on the road surface according to the technologies under consideration was made.

## C O N T E N T S

### AUTOMOBILE TRANSPORT

**A.B. Komov, P.B. Komov**  
 IDEOLOGY OF ENGINEERS OF THE SPECIALTY  
 «LAND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL  
 VEHICLES» ..... 6

**S.A. Gorozhankin, V.F. Mushchanov, N.V. Savenkov**  
 RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF THE  
 AUTOMOTIVE CVT ..... 13

**Yu.V. Prilepskii, A.D. Bumaga, L.V. Tseluiko,**  
**S.A. Tkachev**  
 SETTING UP A STAND FOR VIBRATION-  
 BASED DIAGNOSTICS OF VEHICLE INTERNAL  
 COMBUSTION ENGINES ..... 21

**S.A. Gorozhankin, N.V. Savenkov**  
 THE EVALUATION OF THE VEHICLES'  
 SPEEDING UP LAWS DURING  
 ACCELERATION ..... 27

**A.G. Kaspariants, D.V. Popov, E.S. Savenko**  
 SPECIAL ASPECTS OF A RESTORING METHOD  
 FOR VEHICLE INTERNAL COMBUSTION  
 ENGINES CONNECTING RODS WITH THE  
 USAGE OF ADDITIONAL REPAIR PART ..... 32

**O.V. Sobol, D.A. Shkilnuk, D.V. Maltsev**  
 TRANSPORT CHARACTERISTICS OF  
 PERISHABLES AND DELIVERY RULES.  
 EUTECTIC PLATES AND COLD  
 ACCUMULATORS ..... 37

### LIFTING AND TRANSPORT, CONSTRUCTION, ROAD MACHINES AND EQUIPMENT

**D.G. Belitskii**  
 COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENERGY  
 CAPACITY OF THE DEVELOPMENT OF DIGGING  
 WITH VERTICAL WALLS BY A POWER SHOVEL ..... 42

**V.A. Penchuk, A.K. Kralin**  
 FEATURES OF TECHNOLOGIES FOR THE  
 DISTRIBUTION OF ANTI-ICING MATERIALS  
 ON THE SURFACE OF ROADS AND SIDEWALKS ..... 45

**V.A. Penchuk, V.M. Datsenko, B.E. Pavluk,**  
**A.A. Kravchenko**  
 FEATURES AND PROSPECTS OF THE  
 COLLECTION AND SORTING OF  
 HOUSEHOLD WASTE AT DISPERSED  
 OBJECTS OF THEIR FORMATION ..... 51



*И.В. Сельская, Ю.И. Саливон, А.Н. Волчков*  
СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ  
НА БАЗЕ МОДУЛЕЙ SCADA-СИСТЕМ..... 57

## **МЕТАЛЛУРГИЯ И ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

*А.Я. Бабанин, В.В. Белоусов, А.В. Чухаркин*  
ТРУБЫ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА  
ИЗ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ – КЛЮЧЕВОЕ  
ЗВЕНО В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДОВ..... 63

*Т.В. Цветков, А.И. Лимановский, В.И. Парфений,  
Е.А. Свиридова, В.Н. Саяпин, В.М. Ткаченко,  
С.В. Васильев, В.И. Ткач*  
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНОГО  
АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА AL87NI8GD5,  
КОНСОЛИДИРОВАННОГО МЕТОДОМ  
КРУЧЕНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ ..... 68

*В.Д. Александров, С.А. Фролова, Д.А. Шкильнюк,  
Д.В. Мальцев*  
ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ  
ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА В СИСТЕМЕ  
«ГАЛЛИЙ-ИНДИЙ»..... 73

## **ИНФОРМАЦИЯ**

*А.Д. Бумага, О.Н. Шевченко*  
ИСТОРИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА.. 76

*V.A. Penchuk, V.M. Datsenko, B.E. Pavluk,  
A.A. Kravchenko*  
**FEATURES AND PROSPECTS OF THE COLLEC-  
TION AND SORTING OF HOUSEHOLD WASTE AT DIS-  
PERSED OBJECTS OF THEIR FORMATION**

The paper considers the issue of improving of technology efficiency and mechanical means of the collection and transportation of municipal solid waste (MSW) from the places of their dispersed formation. It has been carried out the analysis of advanced technique of waste management in remote settlements, during the course of which it was established that the cost of transporting waste prevail over other costs during their further processing or disposal. The practical use possibility of mobile units of MSW separation has been proved. By numerical analysis it has been found out that the most effective practical use of mobile units is such one with volumes  $m^3$  and the range of their collection and delivery km.

A technique of a feasibility study for the application of various technologies and types of MSW separation units has been proposed, this technique allows establishing the area of rational use of mobile and stationary units for MSW separation.

*I.V. Selskaya, Yu.I. Salivon, A.N. Volchikov*  
**ENGINEERING DESIGN CREATION ON THE BA-  
SIS OF SCADA-SYSTEM MODULES**

Modern production systems are characterized by a term reduction for work preparation in the process of release. This is largely due to the practical use of technological processes automation. The manufacturing process types, accessible for modeling in the laboratory and the factors which are the most significant during software and engineering models creating have been analyzed by the teachers of Automation and Power Supply in Construction Department. For these purposes, it has been created the training laboratory "COMPLEX", based on SCADA-system modules, which is used to simulate technological processes in construction and carrying out applied research works in the field of materials science and the building structures operation.

*A.Y. Babanin, V.V. Belousov, A.V. Chukharkin*  
**LARGE-DIAMETER PIPES MADE OF  
HIGH-QUALITY STRUCTURAL STEELS ARE A KEY  
ELEMENTS IN THE GAS AND OIL PIPELINES CON-  
STRUCTION**

As a result of the research, a comprehensive technology has been developed for the out-of-furnace treatment of structural pipe steel at the ladle-furnace assembly. When making structural pipe steel of strength category X70 in the conditions of converter production of PJSC MK Azovstal, a significant increase of the mechanical and service properties of the metal has been obtained. The yield and tensile strength correspond to the values of steel of X80 strength category manufactured in Russia and the requirements of API 5L standard. The metal of the experimental melts has a lower corrosion rate in contrast to the comparative.

*T.V. Tsvetkov, A.I. Limanovskii, V.I. Parfenii,  
E.A. Sviridova, V.N. Sayapin, V.M. Tkachenko,  
S.V. Vasiliev, V.I. Tkach*

**MECHANICAL PROPERTIES OF AL87NI8GD5  
AMORPHOUS ALUMINUM ALLOY CONSOLIDATED  
BY HIGH PRESSURE TORSION**

The structure and the mechanical properties of the disk-shaped samples of 5 mm in diameter have been investigated by X-ray diffraction, three-point bending tests and microhardness measurements. The samples were obtained by high pressure torsion (HPT) of two layer packages of the ribbons of amorphous Al87Ni8Gd5 alloy. It has been established that an increase of the hardness of the disks deformed under true deformation in the range 77–230 is caused by partial nanocrystallization of the amorphous phase. It was also found that the flexural strength for consolidated disks was twice that of the partially crystalline material obtained by heat treatment, which was indicated by a higher ductility of consolidated ribbons.

*V.D. Aleksandrov, S.A. Frolova D.A. Shkilniuk,  
D.V. Maltsev*

**FEATURES OF CRYSTALLIZATION OF THE EU-  
TECTIC ALLOY IN THE GALLIUM-INDIUM SYSTEM**

The method of cyclic thermal analysis was used to study the effect of overheating of the melt of the eutectic alloy Ga + 14.2 mol% In on the value of precrystallization supercooling on samples weighing 2 g. It has been established that when superheating a liquid eutectic is higher than the eutectic temperature  $T_E = 288.3$  K and subsequent cooling, the dependence of supercooling from overheating has a monotonically increasing character. The limiting value of supercooling is 25 K after preliminary heating of the melt to 400 K. It has been established that crystallization from a supercooled state was always “explosive” at a rate of  $\approx 40\text{--}45$  K / s. In this case, neither the cooling rate from 0.01 to 10 K / s nor the long-term (for several hours) isothermal exposure of the melt in superheated and supercooled conditions affected the magnitude of supercooling.

*A.D. Bumaga, O.N. Shevchenko*

**HISTORY OF THE MECHANICAL FACULTY**

Recall how it all began ...

The history of the Faculty of Mechanics began in 1976, when the Department of Construction Machines was founded as a part of the technological faculty of our Institute, which was preceded by the division of the Department of Construction Production Technologies into TSP and Construction Machines and Labor Protection. The development of the Department of Construction Machines as a part of the Faculty of Technology led to the first admission to the new specialty Construction and Road Machines and Equipment.

*I.V. Selskaya, Yu.I. Salivon, A.N. Volchkov*

**ENGINEERING DESIGN CREATION ON  
THE BASIS OF SCADA-SYSTEM MODULES.....**

57

**METALLURGY AND PHYSICAL  
AND CHEMICAL SUPPORT OF THE  
CONSTRUCTION COMPLEX**

*A.Y. Babanin, V.V. Belousov, A.V. Chukharkin*

**LARGE-DIAMETER PIPES MADE OF HIGH-  
QUALITY STRUCTURAL STEELS ARE A KEY  
ELEMENTS IN THE GAS AND OIL PIPELINES  
CONSTRUCTION.....**

63

*T.V. Tsvetkov, A.I. Limanovskii, V.I. Parfenii,  
E.A. Sviridova, V.N. Sayapin, V.M. Tkachenko,  
S.V. Vasiliev, V.I. Tkach*

**MECHANICAL PROPERTIES OF AL87NI8GD5  
AMORPHOUS ALUMINUM ALLOY  
CONSOLIDATED BY HIGH**

**PRESSURE TORSION .....**68

*V.D. Aleksandrov, S.A. Frolova D.A. Shkilniuk,  
D.V. Maltsev*

**FEATURES OF CRYSTALLIZATION OF THE  
EUTECTIC ALLOY IN THE GALLIUM-INDIUM  
SYSTEM.....**

73

**INFORMATION**

*A.D. Bumaga, O.N. Shevchenko*

**HISTORY OF THE MECHANICAL FACULTY .....**

76



# ИДЕОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА»

А. Б. Комов, к.т.н., доцент; П. Б. Комов, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** Статья раскрывает необходимость и особенности современной подготовки инженеров автомобильного транспорта специальности 23.05.01 в условиях цифровой экономики, формирующей основу нового экономического человека, чьи компетенции призваны на новом качественном уровне обеспечить интенсивное развитие малого и среднего предпринимательства как единственного эффективного средства борьбы современного общества с безработицей. Предложена интеграция высших учебных заведений в процессы и структуры технополисов, которые в современных условиях автомобильного транспорта целесообразно организовать на базе региональных навигационно-информационных центров, что нацеливает отрасль на интенсивное формирование виртуально расширенных предприятий, где инженеры специальности «Наземные транспортно-технологические средства» призваны осуществлять мониторинг состояний подвижного состава, используя спутниковую навигацию и модели системной инженерии автомобильного транспорта.

**Ключевые слова:** организация, автомобильный транспорт, цифровая экономика, система образования, специалист, предпринимательство.



Комов  
Александр Борисович



Комов  
Петр Борисович

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

28 ноября 2012 г. в Москве состоялось совещание на тему «Теология в вузах: взаимодействие Церкви, государства и общества», где Святейший Патриарх Московский и всея Руси Кирилл отметил [1]: «Будущее вызывает скорее беспокойство, чем уверенность в позитивном развитии. В глобальном масштабе соперничают различные мировоззрения и проекты мироустройства, в том числе и религиозные. В этой ситуации ни одно общество, ни одна нация не выживет, если не определит стратегию своего развития».

Национальная идея России, созвучная Православию — патриотизм [1, 2]. В 2016 г. это подчеркнул Президент Российской Федерации (РФ) Путин В. В. на встрече с предпринимателями, входящими в Клуб лидеров [3].

Воспитание патриотизма, мобильности, готовности к принятию активной жизненной позиции в условиях современного общества — это одна из основных целей, установленная Государственными образовательными стандартами РФ и Донецкой Народной Республики (ДНР) для специальности (программы; направления) 23.05.01 — Наземные транспортно-технологические средства (НТТС), где общекультурные компетенции (ОК), т.е. знания, умения, навыки, призваны инженерам обеспечить:

- использование основ философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-2);
- анализ основных этапов и закономерностей исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-3).

Термин «гражданская позиция» с точки зрения социологии [4] означает совокупность внутренних общечеловеческих ценностей, приобретенных в процессе социализации личности, что помогает самостоятельно принимать решения и нести личную и социальную ответственность за принятые решения.

Проблема подготовки инженеров направления 23.05.01 — кардинальная смена парадигмы (системы теоретических знаний и практических навыков) НТТС, что происходит одновременно со сменой в современном Мире его парадигмы образования. Здесь возникают не только новые

педагогические понятия, термины, но и, прежде всего, абсолютно новые требования к стандартам образования и его организации, что определено интенсивным развитием в обществе «Индустрии 4.0».

### ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Сформулировать базовые основы и задачи современной идеологии специальности 23.05.01 в условиях ДНР, формируемых интеграцией в «Индустрию 4.0».

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

ДНР с правовой точки зрения является светским государством. Здесь действует принцип свободы совести и вероисповедания, т.е. право и политика создают пространство, нейтральное в отношении мировоззренческих ценностей. Однако общеизвестно, что у любой системы образования, равно как и у многих других сфер деятельности человека, должна существовать своя собственная идеология. Как отмечал Межуев Б. (участник круглого стола, проведенного 19 июня 2007 г. «Русским журналом» в рамках Дней русской политической культуры на тему «Философия политики: государственная идеология и высшее образование» [5]), что идеология отсутствует, например, в духовной академии или духовной семинарии. Сегодня существует имманентная или корпоративная идеология. Она есть у любого светского, университетского образования — это его некоторая конструктивистская установка, с которой необходимо считаться. Она не имеет ничего общего с «правильной государственной политикой» и является субидеологией свободного академического образования и свободной науки, где

речь идет о воспитании свободно мыслящего человека, способного критически-рефлексивно относиться к любым, в том числе идеологическим, спущенным сверху, снизу, откуда угодно, конструкциям.

Термин «идеология» предложил в 1796 г. De Trasi — это наука о том, как сознание производит идеи из ощущений [2].

НТТС всегда были и остаются воплощением самых передовых достижений мысли человека в его повседневный быт. На автомобильном транспорте (АТ) — это, например, беспилотный подвижный состав (ПС), т.е. автономные роботы Индустрии 4.0 (рис. 1 [6]).

К 2030 г. продажи такого ПС займут основную долю соответствующего рынка. По информации Национальной технологической инициативы «Автонет» на XIII Международном навигационном форуме, продажа автономного и частично автономного ПС составит, соответственно, 8% и 62% [7]. К производству такого ПС все 10 независимых автопроизводителей Мира [8] переходят с 2021 г., а к 2027 г. они будут выпускать лишь полностью автономные автомобили, платформы которых уже сегодня развивают такие высокотехнологичные фирмы, как Tesla Motors, Google, Apple, др. Аналогичные процессы характерны и для России — это разработки: ВАЗ, ГАЗ, БелАЗ, КамАЗ, «Яндекс», «Иннополис», КБ «Аврора», НАМИ, а также проекты учёных и студентов Таганрогского университета и МАДИ. Необходимо подчеркнуть, что с осени 2019 г. во всех школах РФ введен факультатив по работе с технологиями беспилотных автомобилей [9].

Естественно, что кроме автономных роботов, ключевой информационной технологией АТ в условиях Индустрии 4.0 является моделирование, формируемое системной инженерией (англ. system engineering), т.е.



Рис. 1. Схема ключевых информационных технологий IV промышленной революции



системотехникой. Сегодня эта дисциплина внесена в учебные планы большинства ведущих университетов. На АТ её основоположниками являются учёные ХНАДУ [10 - 15]. Актуальность системотехники для современной науки и практики (бизнеса) подтверждают масштабы проводимых исследований. Их результат только за последние 5 лет — это 30 международных стандартов, которые нацелены на формирование в обществе развитой системы нормативно-технической документации системной инженерии. Стандарты содержат описание методологического базиса создания систем различных классов и назначения (сложных организационно-технических систем — СОТС [16, 17]), где на основе единого системного подхода задаются соответствующие принципы работы, например, базы руководящих документов современных правительств [18].

17.07.2006 г. Правительство РФ приняло Распоряжение № 1024-р, где одобрена Концепция региональной информатизации, предусматривающая одним из основных направлений реализации государственной политики, создание в регионах комплекса государственных и муниципальных информационных систем — электронных правительств. Они призваны обеспечить поддержку деятельности органов государственной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления, объединив их на основе общей информационно-технологической инфраструктуры.

На АТ основой такой инфраструктуры является организация региональных навигационно-информационных систем (РНИС). Они определены Постановлением № 1367 Правительства РФ от 21.12.2012 г. и Приказом № 19 Министерства транспорта РФ от 01.02.2013 г. Эти документы, дополненные Постановлением Правительства РФ № 848 от 05.12.2001 г., относящимся к системе «Платон», и пакетом документов «Эра-ГЛОНАСС» (аналога европейской системы безопасности «eCall» [19]), отражают на АТ начало его официальной цифровизации, трансформирующей отрасль в мехатронную систему [20].

Термин «цифровизация» был предложен обществу в 1995 г. проф. Nicholas Negroponte. Сегодня термин означает процесс переноса в цифровую среду абсолютного большинства функций людей, организаций и создание цифровых платформ (англ. Digital Platform) или экосистем, направленных на индустриализацию управления — это принципиально новое поколение автоматизированных и информационных систем, которые базируются на концепции адаптации и самоорганизации. Естественно, что их основа — кибернетика (общая теория управления объектами произвольной природы) и её прикладные теории управления в каждой конкретной предметной области, где сегодня абсолютный приоритет отдан неоквибернетике второго порядка или кибернетике наблюдения [16, 18, 21].

Конкретная организация, как отмечают проф. Латфуллин Г. Р. и Райченко А. В. [22], может создаваться не только и не столько для эффективного управления, но и с другими целями. Это свойственно всем рыночным моделям и, прежде всего, моделям

коммуникационных организаций, которые представляют среду свободной реализации интересов участников, где образцом является Интернет — совершенная и постоянно развивающаяся глобальная организация, обеспечивающая реализацию прав участников на информацию. Результатом воздействия на объект здесь является изменение его состояния — корректировка и развитие существующей организации объекта, где управление представляет путь от «старой» модели организации к «новой». Для социально-экономической сферы это обоснование примата понятия «организация» по сравнению и во взаимосвязи с определением, проявлением и применением понятия «управление».

АС управления и их вспомогательные технические средства информации закономерно приводят системы к более простым организационным структурам. Поэтому на транспорте, согласно исследованиям немецкого учёного Gerhard Potthoff [23], следует остерегаться сохранения существующих связей и отношений, что в полной мере относится к организации АТ в условиях Индустрии 4.0 — это, прежде всего, взаимодействие виртуально расширенных предприятий (ВРП) малого и среднего предпринимательства (МСП). Сегодня они являются артефактами деятельности человека или искусственно создаваемыми объектами для эффективной борьбы с безработицей, порождаемой научно-техническим прогрессом (НТП) [18, 21], где Индустрия 4.0 представляет источник массовой безработицы.

Например, только в США автомобили-роботы в течение ближайших 10 лет ликвидируют 1,7 млн. рабочих мест водителей грузовиков. В развитых странах мира роботы и АС управления, по оценке ООН, лишат работы 65% рабочей силы [24].

Однако именно малые предприятия способны в современном мире создать рабочие места. Например, за период 1981...1990 гг. они только в США добавили 60% рабочих мест и сегодня здесь нанимают более половины частной рабочей силы. Поэтому в США из 20 млн. предприятий — 90% малых. Естественно, что на их долю приходится лишь 8% валового дохода и лишь 5% экспорта, т.е. не малые предприятия, а индустриальные предприятия капитал- и наукоёмких отраслей (машиностроение, металлургия, электротехника, химическая промышленность и др.) — база современного экономического роста всех ведущих стран Мира [25, 26]. В соответствии с чем Президент РФ Путин В. В., проводя политику развития индустриальных наукоёмких производств, объявил о «налоговых и контрольно-надзорных каникулах» для малого бизнеса [27].

В отечественной науке и практике явление МСП вызвано отказом общества от марксистско-ленинской идеологии, где организация безальтернативной для Мира терциарной экономики базировалась на индустриальных методах производства и, соответственно, на создании крупных предприятий, их объединений, что для отечественного АТ послужило его признанию в 60-х годах прошлого века в качестве обособленной отрасли.

Качественно новое развитие МСП — это цифровая (англ. digital) экономика, что на заседании Совета по стратегическому развитию и приоритетным проектам Путин В. В. представил как «... уклад жизни, новая основа для развития системы государственного управления, экономики, бизнеса, социальной сферы, всего общества. Формирование цифровой экономики — это вопрос национальной безопасности и независимости России, конкуренции отечественных компаний» [28].

Примером цифровой экономики для специалистов направления 23.05.01 является американский сервис Yourmechanic. Стоимость аналогичного московского рынка уже сегодня оценена в £ 80 млрд. Он обеспечивает своим пользователям экономию 50% по сравнению с услугами официальных автодилеров и 25%, если сравнивать с частными компаниями [29].

Ориентация всех хозяйственных систем общества на индивидуальные потребности каждого человека — это главная особенность в организации digital-экономики.

По оценке специалистов ОАО «Воентелеком», цифровая экономика приближает современные рынки к эпохе локальных госпланов, а в будущем — к мировому госплану, что призвано кардинально изменить систему экономических отношений, планирования, производства, потребления.

Процесс сближения 2-х экономических систем, обусловленный НТП, соответствует теории проф. Galbraith J. K. об институциональной организации общества. Теория получила поддержку со стороны Нобелевских лауреатов (Tinbergen J., Pauling L. C., Сахарова А. Д.) и состоит в замене рыночной стихии её промышленным планированием на основе технологических структур или субъектов, обладающих необходимыми компетенциями и опытом для управления как современными корпорациями, так и государствами (министерствами, ведомствами [21]), например, такими центрами всемирной логистики, как Uber, представляющими на АТ его ВРП.

ВРП — это организации, формируемые из географически распределённых независимых многопрофильных партнёров (предприятий), объединённых на основе функционального логистического цикла с применением информационно-коммуникационных технологий. Конкурентные преимущества ВРП как одной из трёх новых стратегий управления [16, 21] — это снижение общих затрат, объединение независимых рисков, повышение качества, безопасности и устойчивости функционирования логистических систем (ЛС), что обеспечивает комплексная автоматизация процессов жизненных циклов всех привлечённых ресурсов (активов) участников ЛС [30].

Ведущий ресурс ЛС — персонал, где лишь молодёжь свойственно быстро и, порой, без особых раздумий принимать в свою жизнь всё неизведанное, самое сложное и новое, что потом становится привычным и обыденным в повседневной жизни каждого человека. Однако именно молодёжь сегодня представляет самую незащищённую от безработицы часть общества.

В соответствии с чем главной задачей всех ВУЗов в современном предпринимательском Мировом (1980 г. ... наши дни [31]) является подготовка предпринимателей, т.е. формирование у абсолютно каждого будущего врача, учителя, инженера и любого др. выпускника стремления к созданию своего дела. Официально эта задача определена как воспитание «нового экономического человека». Сегодня она сформулирована на достаточно высоком международном уровне — это документ «Реформирование и развитие высшего образования» Международной комиссии ЮНЕСКО по образованию [32].

Естественно, что основой парадигмы такого образования является интеграция ВУЗов в практику МСП посредством организации здесь технополисов и др. элементов инфраструктуры из частных, государственных и общественных институтов (организаций, учреждений и объединений), призванных отвечать интересам субъектов предпринимательства, т.е. обеспечивать их хозяйственную деятельность и содействовать повышению её эффективности (рис. 2).

Цель технополисов [33]:

- оказание субъектам рискованных фирм комплексных услуг посредством специальных программ помощи на начальной, наиболее уязвимой стадии их становления;

- разработка и внедрение инноваций, проведение деловой экспертизы и консультационной деятельности, но, прежде всего, обучение персонала.

Специфика цифровой инфраструктуры МСП на АТ — это переход к ВРП. В соответствии с чем единственно эффективным средством формирования здесь баз данных Okino N. [34] следует признать организацию РНИС либо автоматизированного банка дорожных данных (АБДД). Их основа — навигация. Сегодня этот термин пока не имеет однозначного определения, однако как деятельность формирует необозримый спектр перспективных направлений для развития на АТ государственного и частного предпринимательства. Главным требованием является наличие у специалистов АТ необходимых компетенций и, соответственно, формирование ими абсолютно новой корпоративной культуры отрасли. Согласно теории организации — это организационная культура [35], а на АТ — его важнейшая составляющая условий эксплуатации ПС [36], подлежащего тотальному посредству навигации контролю и, соответственно, цифровизации всех его состояний и фактически транспортной деятельности МСП, что представляет «отраслевое отражение» масштабов и сложности преобразований, формируемых Индустрией 4.0 в современном Мире.

В соответствии с чем определяющим сегодня следует признать комплексный подход на основе трансформации системы образования. Примером является Россия — это Распоряжение её Правительства от 28.07.2017 г. № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и соответствующая «Дорожная карта», где задачей на 2018 г. определена разработка, запуск пилотной реализации





Рис. 2. Схема интеллектуальной организации АТ Донбасса

и апробация образовательных и профессиональных нормативных документов требований к описанию компетенций цифровой экономики. Последующие задачи РФ:

2020 г. — обеспечение ресурсами и согласование работы структур и механизмом общего, профессионального, дополнительного образования в интересах цифровой экономики, формирование персональной траектории развития и аттестации компетенций для цифровой экономики;

2024 г. — обеспечение постоянно обновляемого кадрового потенциала цифровой экономики и компетентности граждан.

Необходимо подчеркнуть, что после краха СССР основной современной России и исторической задачей её поколения начала XXI в. признано ноосферное развитие Мира. Оно озвучено Президентом РФ Путиным В. В. ещё 15.11.2000 г. на саммите «Бизнес и глобализация» [37] и предусматривает разумно управляемое совместное развитие человека, общества и природы, где удовлетворение жизненных потребностей населения осуществляется без ущерба для интересов будущих поколений, что современный Мир связывает с развитием Индустрии 4.0. Ориентация товаров (услуг) на человека (потребителя) представляет суть как цифровой, так и в целом современной логистической экономики — это её (традиционная для рынка) организационная культура или нормы, правила, стандарты организационного поведения индивидуумов и групп людей [35], что для МСП во многом определяет техническое регулирование его товаров, основанное на интегрированной информационной среде информационно-коммуникационных технологий и её широким использованием в социальных сетях и системах поиска (рис. 3).

Естественно, что будущее такого комплекса в руках лишь грамотной молодёжи, которая в лекционных залах, учебных аудиториях и лабораториях, а также на практике обязана уже сегодня осваивать современные науки, чтобы затем эффективно воплощать свои знания в жизнь общества.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня работников для АТ готовит абсолютное большинство учебных заведений ДНР — это училища, техникумы, а также три ВУЗа. Однако лишь Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДОННАСА) сохранила для АТ подготовку инженеров.

Согласно Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования, утверждённому 17.12.2015 г. Приказом № 915 Министерства образования и науки ДНР — это специализация № 7 «Автомобили и автомобильное хозяйство и автомобильный сервис». Её профессионально-специализированные компетенции (ПСК) организационно-управленческой деятельности инженеров — это способность организовывать процесс эксплуатации транспорта и транспортно-технологических машин, их узлов и агрегатов, технологического оборудования (ПСК-7.11), что призвана сформировать дисциплина «Организация предпринимательской деятельности» и др., изучая которые студенты-автомобилисты получают основы организационного проектирования бизнес-процессов технического сервиса в условиях цифровой экономики.

Необходимо подчеркнуть, что обучение автомобилистов организовано практически во всех ведущих «строительных ВУЗах» России и определено не только огромной потребностью рынка в таких специалистах,



Рис. 3. Схема факторов организационной культуры цифровой экономики

но, прежде всего, — ролью транспорта в развитии современного Мира. Например, программы «Умный город» и др., аналогичные им, обязательно предусматривают организацию интеллектуальных транспортных систем, которые лишь на территории Европы создадут в ближайшее время 6 млн. рабочих мест, что было заявлено на IV Международной научно-практической конференции «Транспортное планирование и моделирование». Её проводили 11-12 апреля 2019 г. совместно с Ассоциацией транспортных инженеров автомобилисты Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, где участвовали и исследователи ДОННАСА, которые представили доклад на тему «Основы организации технической эксплуатации логистических систем цифровой экономики АТ». Цель конференции состояла в демонстрации практических решений текущих транспортных проблем городов и создании условий для повышения эффективности транспортных систем современных цифровых технологий. Здесь высокий уровень достижений по программе «Зимний город» и др. был продемонстрирован учёными МАДИ [1373], с которым ДОННАСА имеет соглашение о сотрудничестве и сегодня ведёт совместные исследования в сфере системной инженерии АТ и его систем транспортной телематики.

## ВЫВОДЫ

Необходимость инженерного образования обусловлена на АТ его очередной сменой парадигмы — это практика, основанная на организации ВРП, а также наука, где абсолютный приоритет отдан системной инженерии.

Современному обществу характерно его интенсивное развитие посредством использования достижений

НТП, где ярким примером является АТ — это флагман Индустрии 4.0, которая предъявляет абсолютно новые требования к системе подготовки инженеров.

Безальтернативным вариантом в формировании гражданской позиции современного инженера АТ является развитие его предпринимательских качеств как единственного средства гарантированного трудоустройства в условиях современного этапа развития капитализма.

## Список литературы

1. Святейший Патриарх Московский и всея Руси Кирилл. 28 ноября 2012 г. Совещание «Теология в вузах: взаимодействие Церкви, государства и общества» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.pravmir.ru/patriarx-kirill-teologiya-v-vuzax-eto-kulturnyj-imperativ-dlya-obshchestva/>
2. Что такое «Идеология»? [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://otvet.mail.ru/question/11317999>
3. Встреча Путина с «Клубом лидеров» получилась на редкость странной [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.mk.ru/politics/2016/02/03/vstrecha-putina-s-klubom-liderov-poluchilas-na-redkost-strannoy.html>
4. Березутский Ю. В. Гражданская позиция молодежи региона: опыт социологического анализа / Ю. В. Березутский., Н. С. Щепочкин // Власть и управление на Востоке России. 2011. № 1. С. 151–159. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.oboznik.ru/?p=49566>
5. Государственная идеология и высшее образование // «Русский журнал» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.russ.ru/pole/Gosudarstvennaya-ideologiya-i-vysshee-obrazovanie>
6. Бойков В. Н. Геоинформационные системы автомобильных дорог [Текст] / В. Н. Бойков, А. В. Скворцов // Дороги России. Цифровая экономика — новая парадигма развития государства, 2017. — Специальный выпуск № 1. — С. 45-52.



7. Полностью автономные автомобили начнут активно появляться после 2027 года [Электронный ресурс] — Режим доступа <http://vestnik-ghonass.ru/news/avtonet/polnostyu-avtonomnye-avtomobili-nachnut-aktivno-poyavlyatsya-posle-2027-goda/>
8. Пасько А. В. Корпоративные стратегии автомобильных корпораций в условиях глобализации мирового автостроения. / Проблемы современной экономики. Мировая экономика и международные отношения. С. 38 — 50. [Электронный ресурс]. <https://docviewer.yandex.ua/?url=http%3A%2F%2FCyberLeninka.ru%2Farticle%2F%2Fkorporativnye-strategii-avtomobilnyh-korporatsiy-v-usloviyah-globalizatsii-mirovogo-avtomobilstroeniya.pdf&name=korporativnye-strategii-avtomobilnyh-korporatsiy-v-usloviyah-globalizatsii-mirovogo-avtomobilstroeniya.pdf&lang=ru&c=56caf9de6674&page=13>
9. Осенью российские школьники смогут выбрать факультатив по беспилотным автомобилям. 27 марта 2019 [Электронный ресурс] — Режим доступа <http://vestnik-ghonass.ru/news/intro/osenyu-rossiyskie-shkolniki-smogut-vybrat-fakultativ-po-bespilotnym-avtomobilyam/>
10. Говорущенко Н. Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) [Текст] / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко // В двух частях. Часть 1. — Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. — 255 с.
11. Говорущенко Н. Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) [Текст] / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко // В двух частях. Часть 2. — Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. — 219 с.
12. Говорущенко Н. Я. Экономическая кибернетика транспорта [Текст] / Н. Я. Говорущенко, В. Н. Варфоломеев. — Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. — 218 с.
13. Говорущенко Н. Я. Техническая кибернетика транспорта. Учебное пособие Н. Я. Говорущенко, В. Н. Варфоломеев. — Харьков: ХГАДТУ, 2001. — 271 с.
14. Говорущенко Н. Я. Системотехника проектирования транспортных машин. Учебное пособие [Текст] / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко. — Харьков: ХНАДУ, 2002. — 166 с.
15. Говорущенко Н. Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований): монография [Текст] / Н. Я. Говорущенко. — Харьков: ХНАДУ, 2011. — 292 с.
16. Некрасов, А. Г. Система управления жизненным циклом (трансформация в цифровую инфраструктуру): учебно-методическое пособие [Текст] / А. Г. Некрасов, Б. В. Соколов, К. И. Атаев. — М.: Технополиграфцентр, 2017. — 155 с.
17. Юсупов Р. М. Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов [Электронный ресурс] / Р. М. Юсупов, Б. В. Соколов, А. И. Птушкин, А. В. Иконникова, С. А. Потрясаев, Е. Г. Цивирко // Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 16. С. 37-109. Режим доступа: <http://proceedings.spiiras.nw.ru/ojs/index.php/sp/article/view/1532/0>
18. Некрасов А. Г. Процессы жизненного цикла систем (трансформация в цифровую индустрию): учебное пособие [Текст] / А. Г. Некрасов, М. М. Стыскин, К. И. Атаев. — М.: МАДИ, 2018. — 127 с.
19. Документы по вопросам использования ГАИС «ЭРА-ГЛОНАСС» в целях создания и эксплуатации иных информационных систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aoglonass.ru/ao-ghonass/dokumenty/dokumenty-povoprosam-ispolzovaniya-gais-era-ghonass-v-celyah-sozdaniya-i-ekspluatatsii-inyh-informatsionnyh-sistem/>
20. *Mechatronics: the basis for new industrial development.* / Editors: M. Acar, J. Macra, E. Penney, Computstional Mechanics Publ., 1994.
21. Некрасов А. Г. Системная инженерия и цифровые технологии на транспорте (цифровая трансформация): учебное пособие [Текст] / А. Г. Некрасов, К. И. Атаев, А. С. Синицина, А. А. Неретин. — М.: Технополиграфцентр, 2019. — 155 с.
22. Латфуллин Г. Р. Теория организации: Учебник для вузов [Текст] / Г. Р. Латфуллин, А. В. Райченко. — СПб.: Питер, 2003. — 400 с.
23. Поттгофф Г. Учение о транспортных потоках. Пер. с нем. [Текст] / Г. Поттгофф. М., «Транспорт», 1975. — 344 с.
24. ООН: роботы станут причиной массовой безработицы [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://ktovkurse.com/a-vy-kurse/oon-roboty-stanut-prichinoj-massovoj-bezrobotitsy>.
25. Мочерний С. В. Основи підприємницької діяльності: Посібник [Текст] / С. В. Мочерний, О. А. Устенко, С. І. Чоботар. — К.: Видавничий центр «Академія», 2001. — 280 с.
26. Кузнецов О. В. Букварь предпринимателя [Текст] / О. В. Кузнецов. — СПб.: Питер, 2004. — 237 с.
27. В. Путин обсудил вопросы развития малого и среднего бизнеса. 07.04.2015 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://gr-news.ru/2015/04/07/07-04-2015-gossovet/>.
28. Протокол заседания Совета по стратегическому развитию и приоритетным проектам (утв. Президентом РФ 19 июля 2017 г.). [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://base.garant.ru/71725494/>
29. Тотальная уберизация: как это работает. 1 Декабря 2016 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://spark.ru/startup/wehive/blog/18798/totalnaya-uberizatsiya-kak-eto-rabotaet>
30. Семенов А. И. Логистика. Основы теории: Учебник для вузов. [Текст] / А. И. Семенов, В. И. Сергеев. — СПб.: Издательство «Союз», 2001. — 544 с.
31. Щеткин Г. В. Управление бизнесом: Экспресс-курс для деловых людей [Текст] / Г. В. Щеткин. — К.: МЗУУ, 1994. — 104 с.
32. Делор Жак. Образование — сокровище [Текст] / Жак Делор — М.: Московская школа политических исследований, 2002. — 472 с.
33. Волков В. П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем / В. П. Волков, В. П. Матейчик, О. Я. Никонов, П. Б. Комов, И. В. Грицук, Ю. В. Волков, Е. А. Комов [Текст] — Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение). 2013. — 400 с.
34. Okino N. Object and Operation dualism for CAD / CAM architecture // Annals of the CIRP. — 1983. - Vol. 34, №1. — P 179-182.
35. Смирнов Э. А. Основы теории организации: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Э. А. Смирнов. — М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. — 375 с.
36. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Н. Я. Говорущенко. — Х.: Вища школа, 1984. — 312 с.
37. Сафрошкин Ю. В. Ноосферное развитие и земная ноосфера (материалы о двух путях в будущее) / Ю. В. Сафрошкин. — Ульяновск: УлГТУ, 2004. — 195 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/1096581/>

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА АВТОМОБИЛЬНОЙ БЕССТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСМИССИИ ТИПА CVT

С. А. Горожанкин, д.т.н., проф.; В. Ф. Мущанов, д.т.н., проф.; Н. В. Савенков, к.т.н., доцент  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** Приведенный в статье материал направлен на исследование эффективности преобразования крутящего момента перспективной бесступенчатой трансмиссией типа CVT (Continuously Variable Transmission) с целью определения сопутствующих потерь энергии. Результаты базируются на выполненных натурных испытаниях процесса движения в городских условиях автомобиля Mitsubishi Lancer EX GLS, который был выбран в качестве объекта. Полученные закономерности и характеристики рабочего процесса бесступенчатой трансмиссии позволяют впоследствии выработать как комплекс рекомендаций по рациональному регулированию силовыми установками, содержащими трансмиссии такого типа, так и разработать для них (с учетом результатов аналогичных исследований) универсальную безразмерную характеристику энергетической эффективности для её последующего применения в инженерных и учебных целях.

**Ключевые слова:** автомобиль, бесступенчатая трансмиссия, двигатель внутреннего сгорания, нагрузочно-скоростной режим, коэффициент полезного действия, маршрут движения.



Горожанкин  
Сергей Андреевич



Мущанов  
Владимир Филиппович



Савенков  
Никита Владимирович

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Стоимость выполнения единицы транспортной работы является важной составляющей соответствующего технологического процесса производства или обслуживания. Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на эту стоимость, является мощностной баланс автотранспортного средства (АТС), который обусловлен удельным сопротивлением движению со стороны внешней среды и эффективностью преобразования энергии и её составляющих в агрегатах силовой установки (СУ) колёсной машины (в двигателе и трансмиссии).

Зависимости потерь мощности в СУ являются многопараметрическими и обусловлены её конструктивными особенностями и рабочими режимами. Соответственно, сократить эти потери возможно как совершенствованием рабочих процессов отдельных агрегатов, так и рационализацией их режимов работы, что является основной целью исследований.

В настоящее время конструкции трансмиссий стремительно развиваются. Это обусловлено острой конкурентной борьбой производителей и непрерывными процессами ужесточения норм и стандартов в области автомобильного транспорта.

Значительное количество серийных АТС (например, Toyota Auris, Audi A-6, Nissan X-trail, Mitsubishi Lancer, Renault Megane, Renault Koleos, Dodge Caliber, Subaru Outback, Citroen C-Crosser, Peugeot 4007, Honda Civic, Fiat Punto и д.р.) оснащаются вариаторными трансмиссиями типа CVT [1], которые позволяют

с помощью соответствующего регулирования изменять нагрузочно-скоростной режим работы двигателя без разрыва потока мощности (в отличие от традиционных ступенчатых коробок передач). Они не имеют фиксированных передаточных чисел, а характеризуются лишь диапазоном их изменения. Такие трансмиссии позволяют в наилучшей степени согласовывать режим работы двигателя с режимом движения колёсной машины. При всех своих преимуществах, трансмиссии типа CVT имеют также и ряд существенных недостатков, основными среди которых являются относительно небольшие ресурс и КПД. В отличие от других видов трансмиссий (ступенчатых механических и гидромеханических), в литературе практически отсутствуют систематические исследования влияния конструктивных параметров и режимов работы вариаторов типа CVT на общий КПД этих агрегатов. Это не позволяет сформировать общие принципы математического моделирования рабочего процесса такой трансмиссии при исследовании процессов движения автомобиля путём численных экспериментов и выработать однозначные рекомендации по рациональному конфигурированию и управлению такими силовыми установками.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время теоретические принципы и практический опыт, выработанные в ходе конструирования, доводки и эксплуатации автомобильных вариаторов типа CVT, излагаются преимущественно в научной литературе стран дальнего зарубежья. В

известной работе [2] приводятся зависимости относительных потерь мощности в одной из моделей вариаторов рассматриваемого типа. Эти данные отличаются по расположению характерных режимных точек на приведенных графиках от результатов теоретических расчетов [3], выполненных по методике [4] на основании обратного инжиниринга агрегата фирмы Jatco модели JF011e автомобиля Nissan Qashqai. Таким образом, наработка материала по натурным испытаниям различных моделей вариаторов типа CVT позволят как расширить теорию их рационального проектирования, так и совершенствовать общие принципы конфигурирования перспективных силовых установок современных автомобилей.

### ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Экспериментальным путем получить характеристику потерь мощности в трансмиссии автотранспортного средства, содержащей вариатор типа CVT.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Натурные исследования рабочих процессов узлов и агрегатов силовой установки АТС, как правило, выполняют в ходе стендовых (лабораторных) либо дорожных испытаний. Объектом испытаний в первом случае может являться как сам агрегат — для этого используют соответствующий нагрузочный стенд, так и автомобиль в сборе, располагающийся в ходе исследований на стенде с беговыми барабанами.

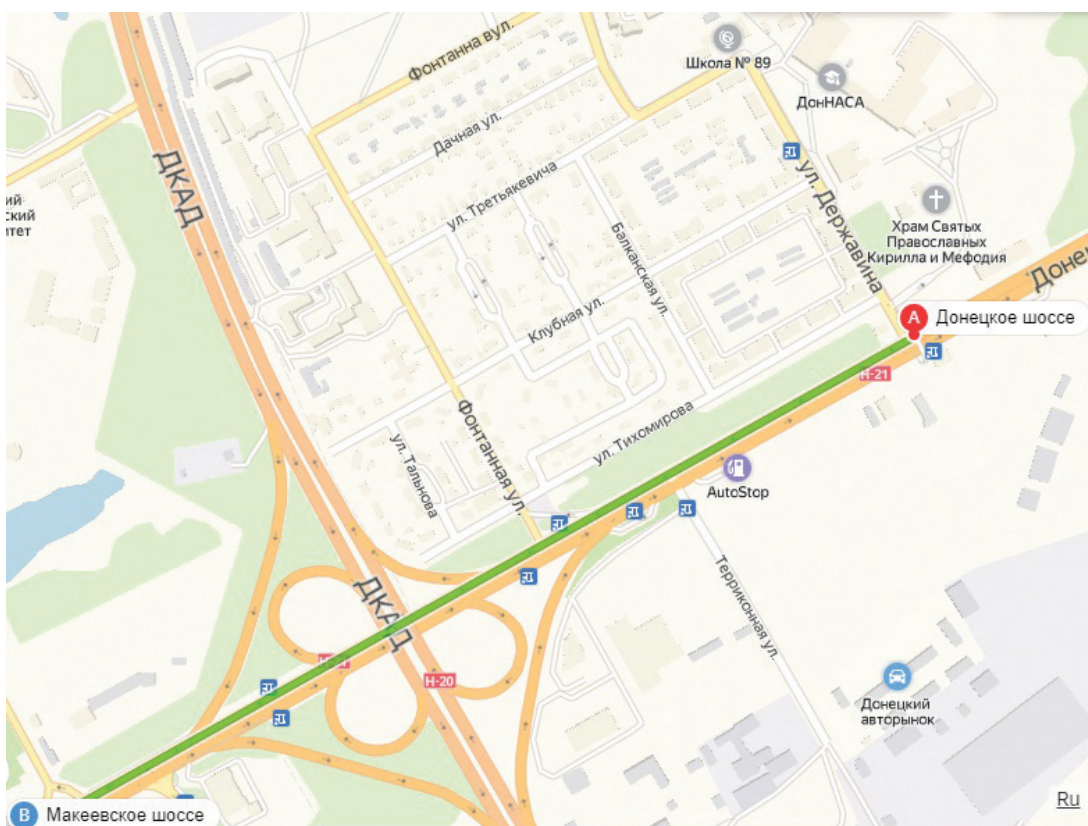


Рис. 1. Схема маршрута дорожных испытаний (прямое направление)



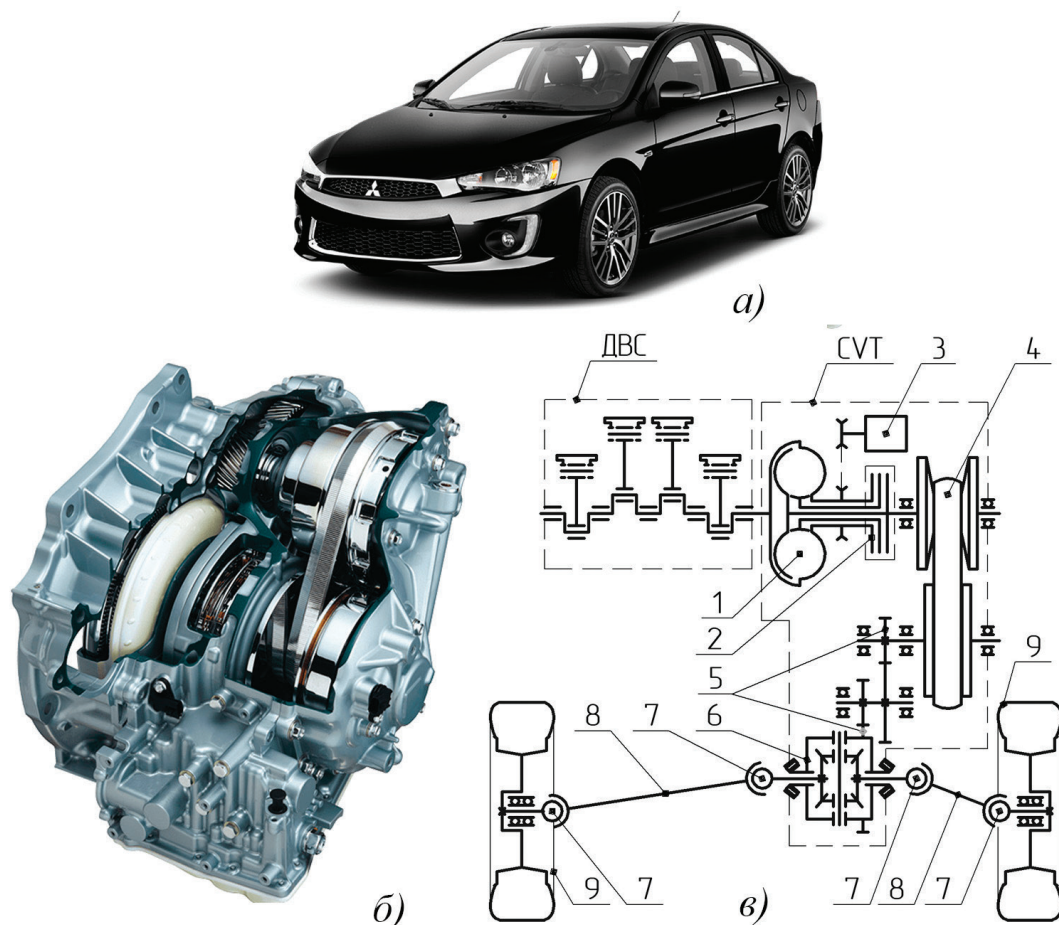


Рис. 2. Автомобиль Mitsubishi Lancer EX GLS и его СУ: а) внешний вид автомобиля, б) трансмиссия CVT модели Mitsubishi INVECS-III (F1CJA), в) кинематическая функциональная схема СУ автомобиля

В основу настоящего исследования положены результаты дорожных испытаний выбранного в качестве примера серийного автомобиля Mitsubishi Lancer EX GLS, который оснащен вариаторной трансмиссией типа CVT, для определения характеристики потерь мощности в этой трансмиссии. Основные параметры и показатели рассматриваемого автотранспортного средства приведены в таблице 1. Измерительный участок (маршрут движения), на котором выполнялся натурный эксперимент, был выбран на Макеевском шоссе, рис. 1: точка «А» - начало прямого направления маршрута и завершение его обратного направления; точка «В» - начало обратного направления маршрута и завершение его прямого направления.

Дорожное покрытие на участке – сухое асфальтобетонное шоссе в хорошем состоянии (коэффициент сопротивления качению пневматической шины радиальной конструкции принят  $f = 0,015$ , [5]) с относительным продольным уклоном в прямом направлении движения  $i = 0,005 \pm 0,001$  ( $5 \pm 1$  метров на 1000 м пути) [6]. Соответственно, в обратном направлении (от т. «В» до т. «А», рис. 1)  $i = -0,005 \pm 0,001$ .

На рис. 2в позициям соответствуют следующие структурные элементы: 1 – гидротрансформатор (ГДТ), 2 – муфта изменения режима работы трансмиссии (блокировка ГДТ, задний ход, нейтральная передача),

3 – насос гидравлической системы вариатора, 4 – бесступенчатая передача CVT, 5 – двойная главная передача, 6 – дифференциал, 7 – шарниры равных угловых скоростей, 8 – приводы колёс, 9 – ведущие колёса.

В ходе дорожных испытаний сбор данных осуществлялся с помощью мультимарочного сканера «Сканматик-2», подключенного к диагностической линии автомобиля через интерфейс OBD-II. Основные параметры (разрежение во впускном коллекторе ДВС, частота вращения коленчатого вала, скорость автомобиля, массовый расход воздуха) и графики их изменения в процессе движения по маршруту показаны на рис. 2.

Дальнейшая работа сводилась к разработке на основании паспортных характеристик АТС и полученных массивов экспериментальных данных математических моделей характеристик эффективных показателей ДВС и процесса движения на выбранном маршруте с целью последующего выражения из полученных уравнений величин КПД вариатора.

Математическое описание нагрузочно-скоростных характеристик эффективных показателей ДВС осуществлялось на основании рекомендаций классической теории автомобиля [5]. Для этого вычислялись коэффициенты приспособляемости ДВС по частоте вращения коленчатого вала  $K_\omega$  и по крутящему моменту  $K_M$ :

Таблица 1.

Основные характеристики автомобиля Mitsubishi Lancer EX GLS

№	Параметры и показатели	Обознач.	Ед. измер.	Значение
Шасси				
1	Снаряжённая масса	$m_0$	кг	1365
2	Ширина/высота автомобиля	$b/h$	мм	1760 / 1515
3	Коэффициент сопротивления воздушной среды	$C_x$	-	0,35 [7]
4	Размерность шин	$H/B D$	мм/% inch	205/60 16
Двигатель				
5	Модель	-	-	4B11
6	Номинальная мощность	$N_{max}$	кВт	107,35
7	Частота вращения коленчатого вала при $N_{max}$	$n_N$	мин <sup>-1</sup>	6000
8	Максимальный крутящий момент	$M_{max}$	Нм	196
9	Частота вращения коленчатого вала при $M_{max}$	$n_M$	мин <sup>-1</sup>	4200
Трансмиссия				
10	Тип	Бесступенчатая, типа CVT, с автоматическим управлением и гидротрансформатором, оснащённым муфтой блокировки		
11	Модель	Mitsubishi F1CJA CVT INVECS-III (Jatco JF011e)		
12	Диапазон передаточных чисел	$D_{KP}$	-	2,349 / 0,394

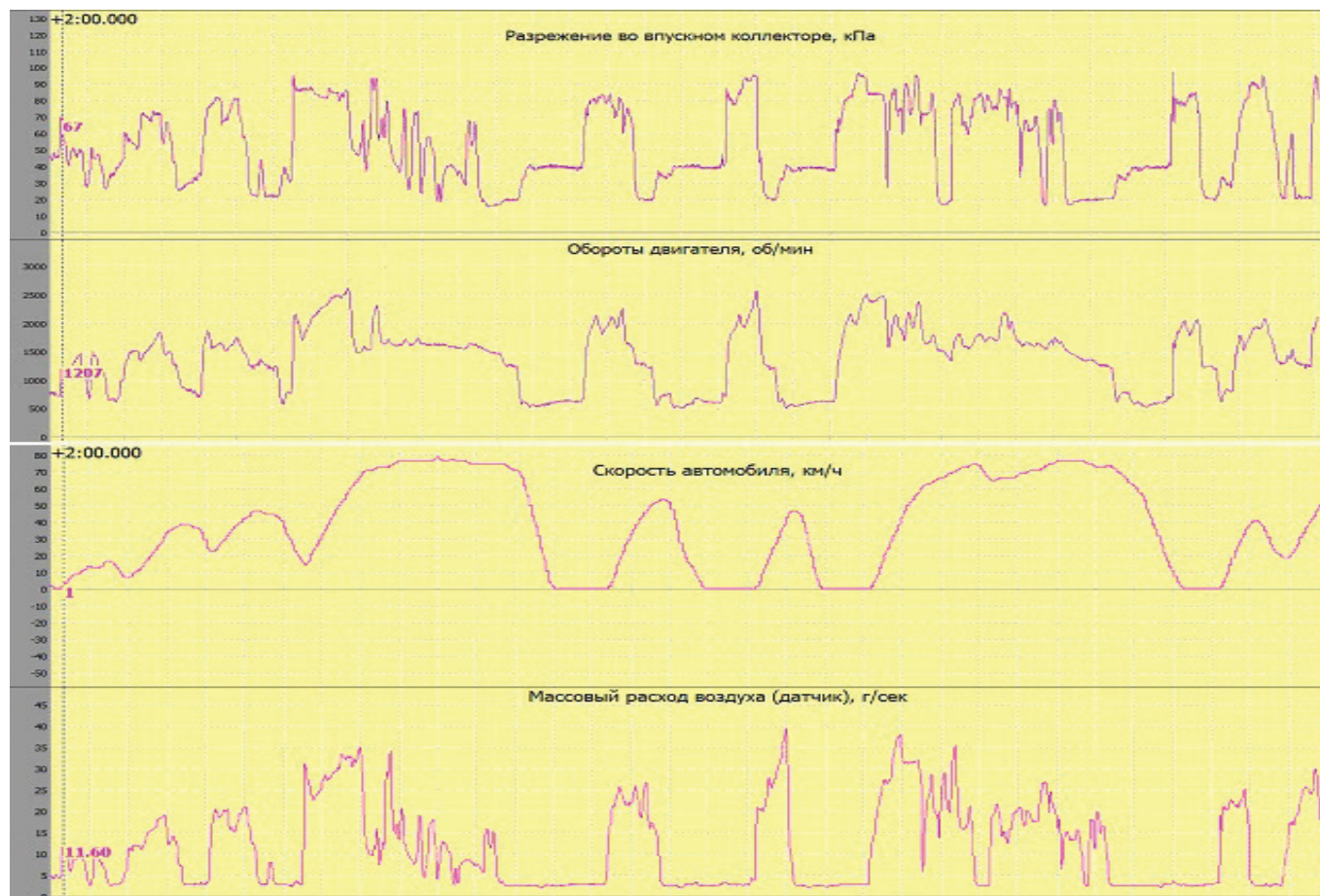


Рис. 3. Результаты проведенных дорожных испытаний, полученные в программной среде мультимарочного сканера «Сканматик-2»

$$K_{\omega} = \frac{n_N}{n_M} = 1,429, \quad (1)$$

$$K_M = \frac{M_{e \max}}{M_{eN}} = 1,147, \quad (2)$$

где  $M_{eN}$  – эффективный крутящий момент ДВС на номинальном режиме работы:

$$M_{eN} = 9554 \cdot \frac{N_{e \max}}{n_N} = 171 \text{ Нм}. \quad (3)$$

Полученные в ходе расчета значения  $K_{\omega}$  и  $K_M$ , а также форма зависимостей эффективных показателей ДВС модели 4B11 (рис. 4а) по внешней скоростной характеристике (ВСХ) [8] удовлетворяют предложенным критериям [9] в отношении возможности применения математического аппарата классической теории автомобиля [5] для описания ВСХ рассматриваемой модели двигателя. В соответствии с этой методикой, зависимость развиваемой двигателем эффективной мощности от частоты вращения коленчатого вала  $n$  и коэффициента использования мощности  $k$  на установленном режиме работы представлена уравнением:

$$N_e = f(k, n) = k \cdot N_{e \max} \cdot \left[ a \cdot \left( \frac{n}{n_N} \right) + b \cdot \left( \frac{n}{n_N} \right)^2 + c \cdot \left( \frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \text{ кВт} \quad (4)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – аппроксимирующие коэффициенты, определяемые выражениями:

$$a = -\frac{2 \cdot K_{\omega} \cdot K_M \cdot (2 - K_{\omega}) - 1}{K_{\omega} \cdot (2 - K_{\omega}) - 1} = 0,348, \quad (5)$$

$$b = -\frac{2 \cdot K_{\omega} \cdot (K_M - 1)}{K_{\omega} \cdot (2 - K_{\omega}) - 1} = 2,281, \quad (6)$$

$$c = \frac{K_{\omega}^2 \cdot (K_M - 1)}{K_{\omega} \cdot (2 - K_{\omega}) - 1} = -1,629. \quad (7)$$

Коэффициент использования мощности  $k$  обуславливает долю её использования от полной, характерной для текущего нагрузочно-скоростного режима, и определяется зависимостью:

$$k = \frac{N_e}{N_{eBCX(n)}} = \frac{M_e}{M_{eBCX(n)}}, \quad (8)$$

где  $N_{eBCX(n)}$  и  $M_{eBCX(n)}$  – эффективная мощность и эффективный крутящий момент ДВС при полной подаче топлива (в режиме ВСХ) и частоте вращения коленчатого вала  $n$ .

Начальная и конечная точки зависимости  $k=f(PAP)$  определены в ходе дорожных испытаний (рис. 5), линейный характер функции подтверждён, в частности, исследованием [10].

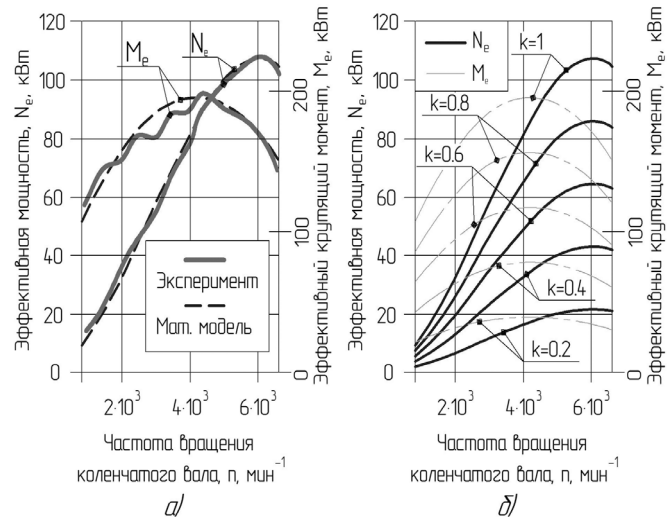


Рис. 4. Внешние и частичные скоростные характеристики двигателя 4B11:

а) аппроксимация экспериментальных данных внешней скоростной характеристики, б) результаты построения частичной скоростной характеристики развиваемой эффективной мощности и создаваемого эффективного крутящего момента ДВС

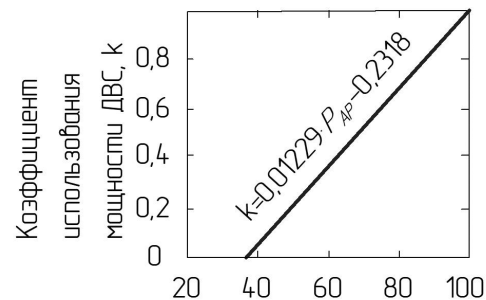


Рис. 5. Зависимость коэффициента  $k$  от абсолютного давления во впускном коллекторе

При заданной функции  $N_e=f(k,n)$  соответствующая зависимость  $M_e=f(k,n)$  имеет вид:

$$M_e = f(k, n) = 9554 \cdot \frac{N_e(k, n)}{n}, \text{ Нм} \quad (9)$$

На рис. 6 показано расположение аппроксимирующей зависимости (4) и соответствующей зависимости (9) при  $k=1$ , относительно экспериментальных кривых эффективных показателей ДВС.

Величина механической мощности  $N_p$ , которую должен развивать силовой агрегат (ДВС и коробка передач) для обеспечения движения автомобиля в заданных дорожных условиях, может быть найдена на основании уравнения баланса мощности [5]:

$$N_T = (N_d + N_b + N_i) / \eta_{п.}, \text{ кВт} \quad (10)$$

где  $N_k$  – мощность силы тяги на ведущих колесах, кВт;  $N_d$  – мощность силы сопротивления дороги, кВт;



$N_B$  — мощность силы сопротивления воздушной среды,  $N_I$  — суммарная мощность сил и моментов инерции, кВт;  $\eta_{\Pi}$  — общий КПД привода ведущих колес и главной передачи — в эксплуатационном диапазоне крутящих моментов и угловых скоростей этот показатель дифференцирован незначительно [11], принимается равным  $\eta_{\Pi} = 0,98$ .

$$N_d = 10^{-3} \cdot m_{\Pi} \cdot g \cdot V \cdot (f + i), \text{ кВт}, \quad (11)$$

где  $m_{\Pi}$  — испытательная масса автомобиля (1850 кг — снаряженная масса  $m_0$  и 3 человека), кг;  $V$  — скорость автомобиля, м/с;  $i$  — относительный продольный уклон дороги.

$$N_B = 10^{-3} \cdot W \cdot V^3 = 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot F \cdot V^3, \text{ кВт}, \quad (12)$$

где  $W$  — фактор обтекаемости кузова автомобиля, кг/м;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления;  $F$  — лобовая площадь (миделевое сечение), для исследуемого автомобиля  $F = 2,193 \text{ м}^2$  — схема его определения с помощью универсальной системы автоматизированного проектирования КОМПАС-График показана на рис. 6.

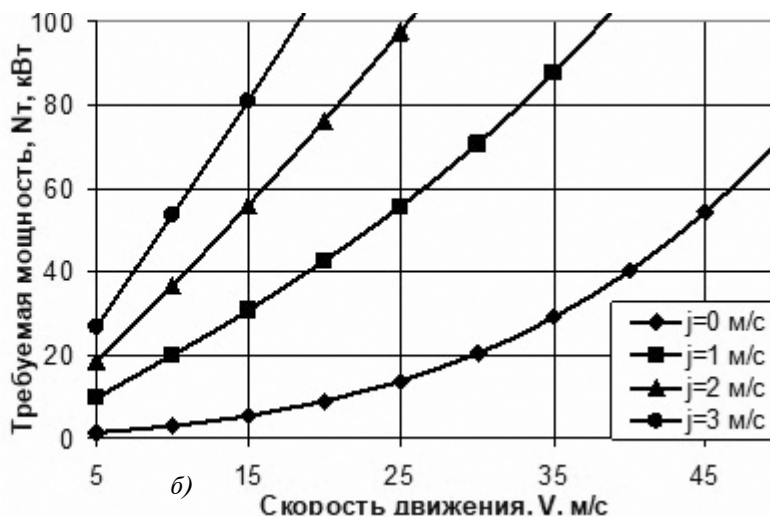
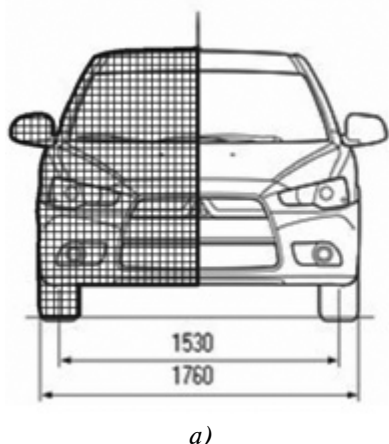


Рис. 6. Сопротивление движению испытуемого автомобиля:

а) определение миделевого сечения, б) характеристика требуемой мощности силовой установки автомобиля Mitsubishi Lancer EX GLS для движения с заданной скоростью и ускорением

$$N_I = 10^{-3} \cdot m_{\Pi} \cdot j \cdot V \cdot \delta_{BP}, \text{ кВт}, \quad (13)$$

где  $j$  — продольное ускорение автомобиля, м/с<sup>2</sup>;  $\delta_{BP}$  — коэффициент учета инерции маховых масс ходовой части и трансмиссии автомобиля:

$$\delta_{BP} = 1 + \frac{n_K \cdot J_K + J_{TP}}{m_{\Pi} \cdot r_K^2} = 1,0288, \quad (14)$$

где  $n_K$  — число колёс на автомобиле ( $n_K = 4$ );  $r_K$  — радиус качения ведущего колеса, м, формула (15);  $J_K$  и  $J_{TP}$  — моменты инерции колеса и маховых масс трансмиссии соответственно, кг·м<sup>2</sup>.

В исследовании принимается допущение в отношении равенства статического радиуса ведущего колеса

его динамическому радиусу и, как следствие, радиусу качения:  $r_K = r_C = r_D$ . Это может быть обусловлено относительно неинтенсивным движением автомобиля во время испытаний (движение осуществлялось без буксования, ускорение в расчетных точках не превышало 1 м/с<sup>2</sup>, а крутящий момент на ведущих колесах составлял менее 60% от максимального по характеристикам ДВС и трансмиссии).

Таким образом, для колеса, оснащенного пневматической шиной размерности 205/60R16 (соответствующие геометрические параметры приведены в таблице 1):

$$r_C = 10^{-3} \cdot \left[ B \cdot \frac{H}{100} \cdot \lambda_{CM} + \frac{1}{2} \cdot D \cdot 25,4 \right] = 0,32 \text{ м}, \quad (15)$$

где  $\lambda_{CM}$  — коэффициент смятия пневматической шины под нагрузкой (для легковых автомобилей принимается  $\lambda_{CM} = 0,88$ , [5]).

Момент инерции колеса в сборе для исследуемого автомобиля принимается  $J_K = 1,022 \text{ кг·м}^2$ . В соответствии с исследованием [12], ориентировочное соотношение момента инерции маховых масс трансмиссии к моменту инерции колеса легкового автомобиля составляет  $J_T / J_K = 0,625$ . Следовательно,

$J_T$  испытуемого автомобиля вычисляется как:  $J_T = 0,625 \cdot J_K = 0,639 \text{ кг·м}^2$ .

Для определения относительных потерь мощности в вариаторе были выбраны такие режимы работы силовой установки (ДВС и трансмиссия) автомобиля, которые характеризуются заблокированным ГДТ — заштрихованная область на рис. 7, [13]. При этом общий КПД трансмиссии обусловлен выражением:

$$\eta_T = \eta_{\Pi} \cdot \eta_{КП}, \quad (16)$$

где  $\eta_{КП}$  — КПД коробки передач типа CVT.

Таким образом, если  $N_T = \eta_{КП} \cdot N_e$ , то выражение для определения искомого в настоящем исследовании

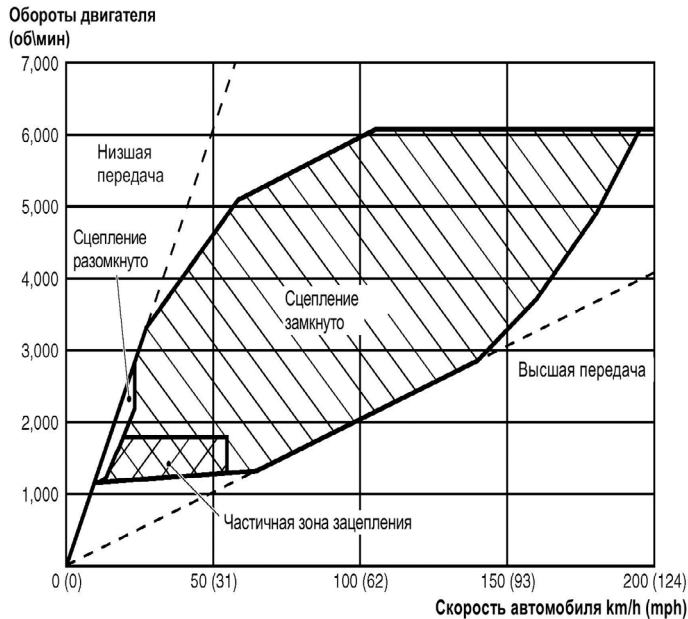


Рис. 7. Характеристика управления блокировкой гидротрансформатора коробки передач Mitsubishi FICJA CVT INVECS-III (Jatco JF011e)

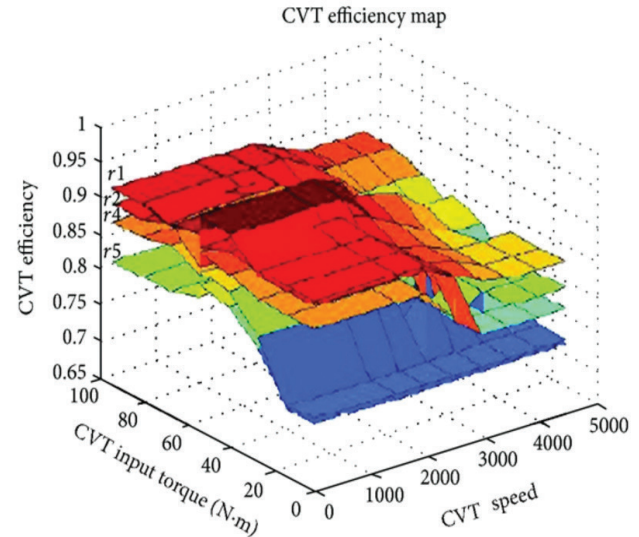


рис. 8. Зависимость КПД вариатора (CVT efficiency) от его режимных параметров: частоты вращения входного вала (CVT speed), мин<sup>-1</sup>; крутящего момента на входном валу (CVT input torque), Нм; передаточного числа ( $r1...r5$ ):  $r1=0,5$ ,  $r5=2,5$ .

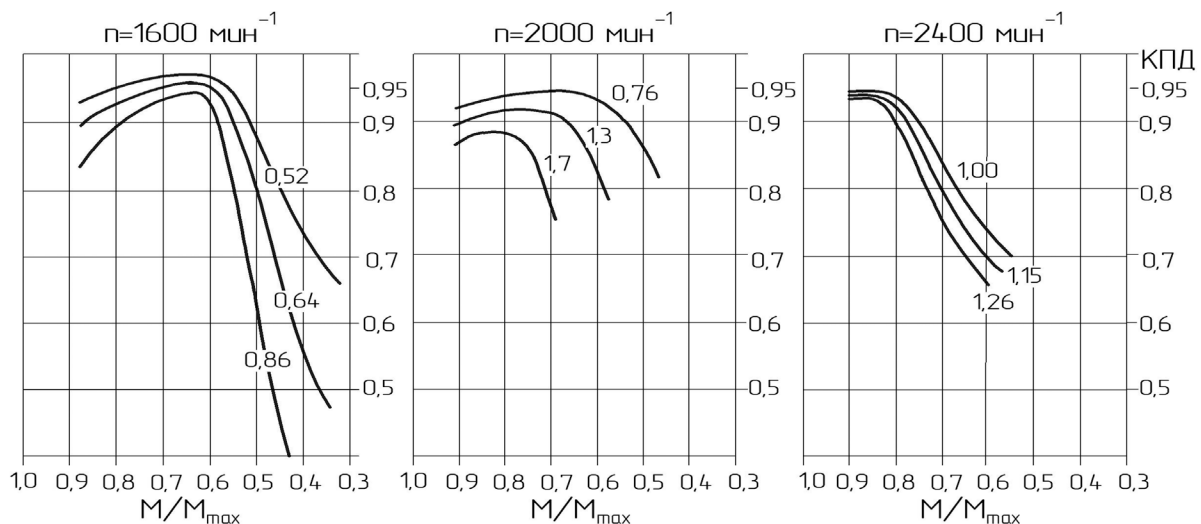


Рис. 9. Результаты экспериментального определения КПД вариатора КП автомобиля Mitsubishi Lancer EX GLS как зависимости от передаточного числа, доли крутящего момента на входном валу ( $M/M_{max}$ ) и его частоты вращения ( $n$ )

показателя имеет вид:  $\eta_{КП} = N_T / N_e$ . Представим это отношение с учетом функциональных зависимостей:

$$\eta_{КП} = \frac{N_T(j, V)}{N_e(k, n) - N_{eHYP}} = \frac{N_T(j, V)}{N_e(P_{AP}, n) - N_{eHYP}}, \quad (17)$$

где  $N_{eHYP}$  – потери эффективной мощности ДВС, вызванные работой на неустановившемся режиме, в настоящем исследовании определяются формулой (18); правая часть уравнения составлена с учетом зависимости  $k = f(P_{AP})$ , приведенной на рис. 5.

В качестве отдельного допущения стоит отметить принцип математического описания неустановившихся режимов работы ДВС как квазистационарного процесса, в котором потери мощности обусловлены

инерцией вращающихся масс по второму закону Ньютона для вращательного движения (18). Исследованиями [14–16] установлено, что эти потери обусловлены не только механической инерцией, но и потерями другого рода. Таким образом, формула (18) может быть применена только при относительно небольших значениях углового ускорения коленчатого вала и интенсивности изменения нагрузки ДВС на маршруте [14].

$$N_{eHYP} = 10^{-3} \cdot J_M \cdot \varepsilon \cdot \omega = 10^{-3} \cdot J_M \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ кВт}, \quad (18)$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение коленчатого вала ДВС, рад/с<sup>2</sup>;  $\omega$  – угловая частота вращения коленчатого вала ДВС, рад/с;  $J_M$  – момент инерции вращающихся деталей ДВС, кг·м<sup>2</sup>.

В ходе исследования величина  $J_M$  определена приближённо [17].

Ускорения в  $i$ -й точке маршрута вычислялись путем численного дифференцирования экспериментальных (рис. 3) зависимостей  $V=f(t)$  и  $n=f(t)$ :

$$j = \frac{V_{i+1} - V_i}{t_{i+1} - t_i}, \text{ м/с}^2 \quad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot (n_{i+1} - n_i)}{30 \cdot (t_{i+1} - t_i)}, \text{ рад/с}^2 \quad (20)$$

Таким образом, зависимость (17) позволяет рассчитывать КПД вариатора, основываясь на результатах дорожных испытаний. С целью сопоставления, на рис. 8 показаны данные известного исследования [2], а на рис. 9 – результаты настоящего исследования.

Результаты имеют схожие закономерности. В общем случае преобладающими режимными параметрами рабочего процесса вариатора типа CVT, оказывающими влияние на изменение его КПД в процессе работы, являются: доля крутящего момента (от максимального расчетного) на входном валу ( $M/M_{\max}$ ), передаточное число и скорость вращения входного вала  $n$ . Энергетическая эффективность вариатора достигает своего максимума при доле крутящего момента примерно 2/3 от максимального (в диапазоне  $M/M_{\max}=0,6...0,85$ ). Уменьшение скорости вращения входного вала  $n$  и передаточного числа приводит к росту КПД, который, в соответствии с выполненным исследованием, на озвученных режимах может достигать 97%, что аналогично механической ступенчатой коробке передач.

## ВЫВОДЫ

В выполненном исследовании предложена и применена методика для определения потерь мощности в бесступенчатой трансмиссии колёсной машины методом дорожных испытаний. Результаты характеризуются принципиальной согласованностью с данными сопутствующих исследований в этом направлении и позволяют выполнять количественную оценку энергетической эффективности рабочего процесса вариатора типа CVT при его различном регулировании. Несмотря на высокое значение «пикового» КПД – до 97%, рассматриваемый агрегат имеет и «неблагоприятные» с точки зрения потерь мощности, режимы, которые располагаются внутри эксплуатационного диапазона. При небольших крутящих моментах на входном валу и больших передаточных числах КПД агрегата стремительно уменьшается и может составлять менее 50%.

Поэтому исследования в данном направлении актуальны как для серийных автотранспортных средств, так и для перспективных, что позволит рационализировать процессы совместного регулирования двигателя и бесступенчатой трансмиссии типа CVT путем разработки соответствующих рекомендаций и программ алгоритмов для электронных блоков управления.

## Список литературы

1. Автомобили с вариатором [Электронный ресурс] // Вариатор / Рубрика «Вариатор». – Электрон. дан. – Октябрь 2019. – Режим доступа: <http://variator-cvt.ru/variator/spisok-avtojs-s-variatorom/> – Загл. с экрана.
2. R. Kazemi. Nonlinear Optimal Control of Continuously Variable Transmission Powertrain / ISRN Automotive Engineering // Kazemi, Reza & Rafat, Mohsen & noruzi, Amir. – 2014. 1-11. 10.1155/2014/479590.
3. Савенков Н.В. Исследование и оптимизация режимов работы двигателя и бесступенчатой трансмиссии транспортного средства / Н.В. Савенков, В.В. Бутенко // Вестник ДонНТУ. – 2019. – №2 (16). – С. 52-61.
4. Пронин Б.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) – изд. 3-е, перераб. и доп. / Б.А. Пронин, Г.А. Ревков. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
5. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
6. Карта высот над уровнем моря [Электронный ресурс] // QRZ Портал. – Электрон. дан. – Октябрь 2019. – Режим доступа: <http://qrz.pp.ua/vysota>. – Загл. с экрана.
7. Коэффициент аэродинамического сопротивления [Электронный ресурс] // TOPRUSCAR – Автомобильный интернет-проект. – Электрон. дан. – Октябрь 2019. – Режим доступа: <https://topruscar.ru/terminy/koeffitsient-obtekaemosti>. – Загл. с экрана.
8. Технические характеристики Мицубиси Аутлендер [Электронный ресурс] // Автоблог avtopat.ru / Технические характеристики автомобилей Мицубиси. – Электрон. дан. – Октябрь 2019. – Режим доступа: <https://avtopat.ru/tech-mitsubishi/char-outlander/>. – Загл. с экрана.
9. Савенков Н.В. Универсальный способ описания внешних скоростных характеристик автомобильных ДВС, обладающих полкой крутящего момента / Н.В. Савенков, В.В. Понякин, В.В. Бибилов // Журнал автомобильных инженеров. – 2018. – №3 (110). – С. 24-28.
10. Савенков Н.В. Определение расхода воздуха бензинового ДВС на неустановившихся режимах работы / Н.В. Савенков // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2. – С. 220-224.
11. Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи / В.Н. Кудрявцев. – М–Л.: Машиз, 1957. – 263 с.
12. Измерение момента инерции автомобильной автоматической трансмиссии методом выбега / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Ю.В. Зыбцев // Український метрологічний журнал, 2013, – № 2. – С. 28-33.
13. Вариатор (CVT) группа содержание вариатор управление коробкой передач [Электронный ресурс] // DocPlayer. – Электрон. дан. – Октябрь 2019. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/42561800-variator-cvt-gruppa-soderzhanie-variator-upravlenie-korobkoj-peredach.html>. – Загл. с экрана.
14. Савенков Н.В. Метод выбора передаточных чисел силовой установки автомобиля категории N1 на основе ездового цикла [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.03: защищена 06.06.17 / Савенков Никита Владимирович. ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)». – Москва, 2017. – 206 с.
15. Патрахальцев Н.Н. Неустановившиеся режимы работы двигателей / Н.Н. Патрахальцев, Ю.А. Соколов. – М.: НИИинформтяжмаш, 1976 – № 4 – 76 – 34-42 с.
16. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме / Е.М. Акатов, П.М. Белов, Н.Х. Дьяченко, В.С. Мусатов. М–Л.: Машиз, 1960, – 282 с.
17. Бортницкий И.П. Тягово-скоростные качества автомобилей / И.П. Бортницкий, В.И. Задорожный. – К: Вища школа, 1978. – 176 с.



# СТЕНД ДЛЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ю. В. Прилепский<sup>а</sup>, к.т.н., доцент; А. Д. Бумага<sup>б</sup>, к.т.н., доцент; Л. В. Целуйко<sup>б</sup>, С. А. Ткачев<sup>а</sup>

<sup>а</sup>) ОО ВПО «Донецкая академия транспорта»,

<sup>б</sup>) ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность создания специализированного стенда для вибродиагностики автомобильных двигателей внутреннего сгорания с учетом специфических требований, предъявляемых к оборудованию подобного класса. Проанализированы конструкции существующих стендов для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания, представлены их достоинства и недостатки. Выбраны материалы для каркаса стенда с учетом повышенной демпфирующей способности, осуществлен расчет усилий в стенде, разработан эскизный проект, выбрано основное технологическое оборудование.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, диагностика, стенд технологический, обкатка холодная, обкатка горячая, рама опорная, датчик вибрационный, осциллограмма вибросигнала.



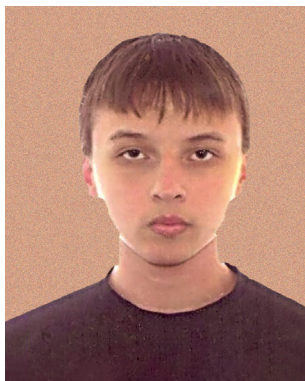
**Прилепский  
Юрий Валентинович**



**Бумага  
Александр Дмитриевич**



**Целуйко  
Лариса Владимировна**



**Ткачев  
Сергей Анатольевич**

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Комплексная диагностика автотранспортных средств – залог качественного планирования и проведения обслуживания и ремонтов с наименьшими затратами [1]. Современные автомобили оснащены бортовыми системами диагностики, которые регистрируют основные технологические параметры и их изменения в процессе эксплуатации. Бортовые средства диагностики дополняются стационарным диагностическим оборудованием автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. Одним из самых сложных агрегатов автомобиля является двигатель внутреннего сгорания. Вместе с тем, многие процессы, происходящие в двигателях внутреннего сгорания, остаются неконтролируемыми средствами бортовой диагностики и могут быть исследованы на сложных диагностических комплексах в условиях АТП и СТО. В частности, это касается процессов сгорания топлива и формирования рабочего тела в цилиндрах двигателя.

Существующие конструкции стендов для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания проблематично использовать для вибродиагностики, поскольку стальной каркас предопределяет устойчивый резонанс упругих колебаний в элементах каркаса, а на стендах с жестким бетонным основанием создается наводка (шумы) от работающего технологического оборудования. Все это в значительной мере искажает показания вибродатчика и снижает точность результатов анализа.

В настоящее время коллективами кафедры «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры и кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Донецкой академии транспорта

создается стенд, специализированный под вибрационную диагностику автомобильных двигателей внутреннего сгорания.

Основная цель создания стенда – детальное изучение физической природы возникновения упругих колебаний в цилиндрах двигателя при формировании рабочего тела и реализации энергии в такте расширения, а также изучения влияния различных факторов на параметры вибросигнала.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

При выборе компоновки стенда для вибродиагностики исходили из следующих предпосылок:

- стенд должен обеспечивать холодную и горячую обкатку автомобильных двигателей, прошедших капитальный ремонт;
- горячую и холодную обкатку должны проходить разные типы автомобильных двигателей;
- двигатель внутреннего сгорания должен крепиться на станине, изготовленной из материала, обладающего повышенными демпфирующими свойствами в частотном диапазоне упругих колебаний 2000 ... 8000 Гц. Повышенная демпфирующая способность необходима для устранения посторонних упругих колебаний;
- конструкция стенда должна обеспечивать быструю переналадку на определённый тип автомобильного двигателя.

При выборе материала станины было определено, что с точки зрения демпфирующей способности в диапазоне частот 2000 ... 8000 Гц и механических характеристик наиболее приемлемой оказалась древесина. Вместе с тем, древесина – пожароопасный материал. Для снижения пожароопасности древесину предполагается обрабатывать специальными растворами, предотвращающими возгорание.

Для предотвращения непосредственного упругого контакта с напольным покрытием помещения, опорная часть станины стенда должна иметь демпфирующую прослойку.

Два варианта кинематической схемы привода стенда приведены на рис. 1.

Как следует из приведенного рисунка, стенд должен обеспечивать обкатку и вибродиагностику двигателей внутреннего сгорания с передачей крутящего момента от выпуска коленчатого вала непосредственно на вал электрического генератора (двигателя) и иметь возможность передачи крутящего момента через

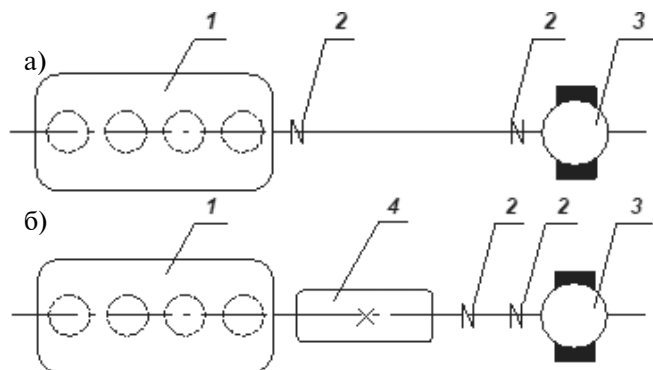


Рис. 1. Кинематические схемы привода, реализуемые на стенде:

1 – двигатель внутреннего сгорания, 2 – муфты карданные (либо с эластичными вставками), 3 – генератор (двигатель) электрический, 4 – коробка переменных передач

а) схема с непосредственной передачи крутящего момента от ДВС к электрическому генератору (двигателю), б) схема передачи крутящего момента через коробку переменных передач

штатную коробку переменных передач. Последний вариант позволяет оценить с помощью вибродиагностики качество работы передач зацеплением в коробке переменных передач.

За прототип проектируемого стенда взят стенд холодной и горячей обкатки КС-276-032, позиционируемый как универсальный стенд для обкатки всех типов двигателей внутреннего сгорания – ДВС (дизельных, бензиновых) легковых и грузовых автомобилей, автобусов, тракторов, специальной и строительной техники.

Стенд позволяет выполнять приработку и испытание ДВС различных марок грузовых и легковых автомобилей, автобусов, тракторов:

- в холодном режиме;
- в горячем без нагрузки;
- в горячем под нагрузкой.

Для проектируемого стенда полностью подходят технические параметры, состав и компоновка технологического оборудования. Вместе с тем, наличие стальной каркасной рамы может вызывать резонанс упругих колебаний на повышенных частотах, что вызовет искажения и «шум» при вибродиагностике ДВС.

Определение энергосиловых параметров стенда осуществляли на основании принятых методик холодной и горячей обкатки. Рекомендуемые режимы холодной обкатки ДВС приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Типовые режимы холодной обкатки ДВС

Продолжительность обкатки (мин)	Частота вращения коленчатого вала	
	мин <sup>-1</sup>	с <sup>-1</sup>
2	600	10
2	800	13,3
3	1000	16,7
5	1200	20
5	1400	23,3

Таблица 2.

Пример режимов горячей обкатки ДВС \*

Продолжительность обкатки двигателя (мин)	Частота вращения коленчатого вала			Нагрузка, Н*м
	в % от номинальных	мин <sup>-1</sup>	с <sup>-1</sup>	
30	48-57	2688-3192	44,8-53,2	0
30	57-67	3192-3752	53,2-62,5	16
30	67-75	3752-4200	62,5-70	33
30	75-90	4200-5040	70-84	50
30	90-95	5040-5320	84-88,7	65
30	95-100	5320-5600	88,7-93,3	80

\* режимы приведены для ДВС 21011

Для горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания, как правило, используются режимы без нагрузки и под нагрузкой. Пример режимов горячей обкатки представлен в таблице 2.

Основным силовым показателем, определяющим дополнительную нагрузку на раму стенда в процессе обкатки, является крутящий момент между ДВС и электрической машиной. В процессе холодной обкатки этот момент будет определяться в основном моментом сопротивления кручению коленчатого вала при неработающем ДВС:

$$M_c = 390 \cdot V_h \left( \varepsilon + 6\sqrt{\delta_h} + k_m \left( 1 + \frac{\delta_h^2}{8} \right) \sqrt{2\pi \cdot v \cdot n_{np}} \right), \quad (1)$$

где  $V_h$  - рабочий объем цилиндров ДВС, м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  - степень сжатия;

$\delta_h$  - коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала;

$k_m$  - коэффициент, равный 3,8 для бензиновых двигателей и 2,8 для дизельных;

$v$  - кинематическая вязкость масла двигателя в начале обкатки, Ст;

$n_{np}$  - средняя частота вращения коленчатого вала в режиме установившегося прокручивания, с<sup>-1</sup>.

Коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала в режиме установившегося прокручивания принимаем равным  $\delta_h = 1,3$ .

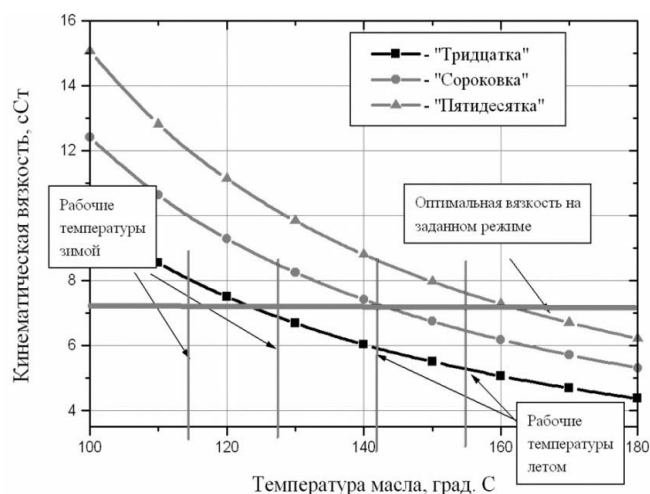


Рис. 2. Зависимость кинематической вязкости моторного масла от температуры

Для определения кинематической вязкости моторного масла использовали графическую зависимость, представленную на рис. 2.

При определении вязкости моторного масла исходили из того, что холодная обкатка ДВС осуществляется в производственном помещении, где температура не опускается ниже +10 °С. Для расчетов использовали моторное масло 10W40 (на графике — «сороковка», см. рис. 2).

С помощью редактора «Excel» перестроили представленную зависимость в виде отдельного графика (см. рис. 3), определили линию тренда и полиномиальную зависимость вязкости моторного масла от температуры.

С помощью полученной полиномиальной зависимости методом экстраполяции определили, что при температуре окружающей среды +10 °С, вязкость моторного масла 10W40 составляет  $\text{сСт} \approx 0,34 \text{ Ст}$ .

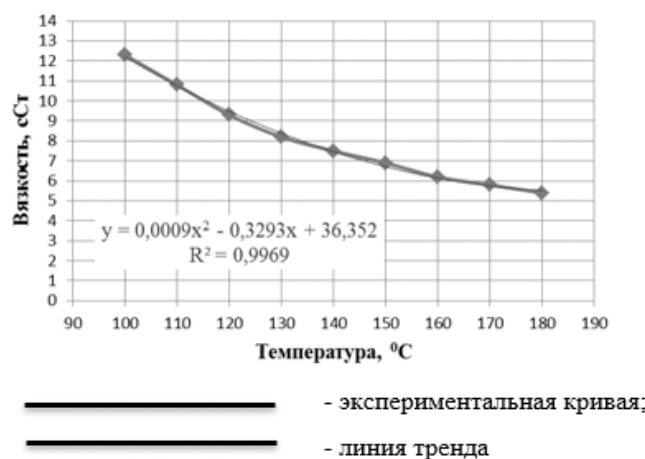


Рис. 3. Зависимость вязкости моторного масла 10W40 от температуры

Используя скоростные режимы холодной обкатки по формуле 1, определили крутящий момент, передаваемый от электрического двигателя стенда на коленчатый вал испытуемого двигателя внутреннего сгорания.

Необходимую мощность для обеспечения крутящего момента на показанных частотах коленчатого вала определяли по формуле:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T, \text{ Вт}, \quad (2)$$



где  $n$  – частота вращения коленчатого вала ДВС;  
 $T$  – крутящий момент, подводимый к коленчатому валу ДВС, Н\*м.

Величины крутящего момента и мощности при различных частотах холодной обкатки ДВС:

частота вр. колен. вала, мин <sup>-1</sup>	600	800	1000	1200	1400
крутящий момент, Н*м	18,71	20,38	21,85	23,17	24,4
мощность, кВт	1,18	1,71	2,29	2,91	3,58

Определение силовых и энергетических параметров при горячей обкатке осуществляли на основании данных таблицы 2. Мощность нагрузочного (тормозного) момента рассчитывали по формуле 2. Результаты расчетов энергетических параметров привода стенда при горячей обкатке ДВС приведены в таблице 3.

Габаритные размеры и масса выбранной электрической машины приведены в таблице 5 и на рисунке 4.

Эскиз опорной рамы для проектируемого стенда приведен на рис. 5.

На основании предложенной конструкции рамы стенда была разработана схема силового воздействия от масс испытуемого двигателя внутреннего сгорания, электрической машины и от крутящего момента между ДВС и электрической машиной. Схема силового воздействия в вертикальной плоскости представлена на рисунке 6 а. На рисунке 6 б представлена расчетная схема силовых воздействий в горизонтальной плоскости рамы стенда.

Расчетами показано, что возникающие в раме стенда силовые нагрузки недостаточны для реализации эффекта опрокидывания, а запас прочности балок рамы на изгиб составляет 853.

Результаты расчетов энергетических параметров привода стенда при горячей обкатке ДВС \*

Таблица 3.

Частота вращения коленчатого вала, с <sup>-1</sup>	Тормозной (нагрузочный) момент, Н*м	Мощность	
		Вт	кВт
53,2	0	0	0
62,5	16	6283	6,28
70	33	14514	14,51
84	50	26389	26,39
88,7	65	36226	36,23
93,3	80	46898	46,9

\* режимы приведены для ДВС 21011

Технические характеристики электрического двигателя постоянного тока 4ПФ180М

Таблица 4.

Наименование параметра	Един. изм.	Значение параметра
Мощность	кВт	60
Напряжение питания	В	440
Номинальная частота вращения якоря	мин <sup>-1</sup>	4000
Тип возбуждения	—	независимое

Габаритные размеры и масса электрического двигателя постоянного тока 4ПФ180М

Таблица 5.

Размеры, мм																		Масса, кг	
l <sub>10</sub>	l <sub>20</sub>	l <sub>30</sub>	l <sub>31</sub>	l <sub>38</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>10</sub>	b <sub>30</sub>	b <sub>31</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>10</sub>	d <sub>20</sub>	d <sub>22</sub>	d <sub>25</sub>	h	h <sub>1</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>10</sub>		h <sub>31</sub>
450	5	1340	121	745	10	279	420	235	55	15	300	19	230	180	10	59	15	495	359

В качестве электрической нагрузочной машины для стенда выбираем двигатель (генератор) постоянного тока. Выбор машины постоянного тока вызван следующими причинами: электрические машины постоянного тока не имеют самоограничения по току ввиду отсутствия индуктивного сопротивления и могут кратковременно выдерживать значительные токовые перегрузки, что важно для реализации высокочастотных переходов на различные режимы; легкость реализации фазоимпульсного и широтно-импульсного управления; относительно малые по сравнению с машинами переменного тока энергетические потери. На основании проведенного анализа выбор остановили на электрическом двигателе постоянного тока 4ПФ180М. Характеристики выбранной электрической машины приведены в таблице 4.

Из трех типов датчиков вибрации (смещения, скорости и ускорения) были выбраны датчики ускорения (акселерометры) для фиксации вибросигнала на частотах 2000 – 8000 Гц. При опробовании акселерометров наилучшие показатели были выявлены у датчика 18.3855 [ 2 ], внешний вид которого представлен на рисунке 7. Помимо приемлемых технических характеристик, датчик широко распространен и используется в качестве индикатора детонации в автомобильных двигателях внутреннего сгорания [ 3 ].

Опробование датчика на работающем двигателе внутреннего сгорания GM20E (см. рис. 8 а) позволило записать с использованием USB осциллографа VDS1022I вибросигнал (см. рис. 8 б, в).

Как следует из осциллограмм, на них четко видны два колебательных процесса: относительно

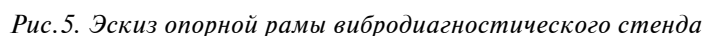
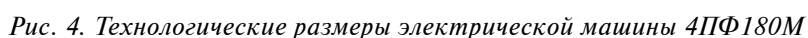
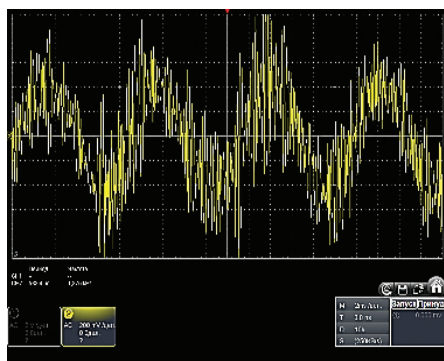
**СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА № 4-2019 ■■ 25**



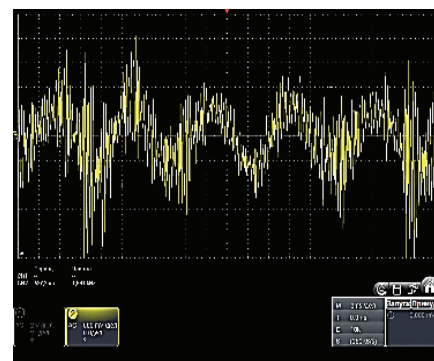
Рис. 7. Внешний вид датчика 18.3855



а)



б)



в)

Рис. 8. Вид датчика 18.3855, закрепленного на головке блока цилиндров ДВС GM20E (а) и осциллограммы вибрационного сигнала на частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин.: 2 В/дел.; 2 мс/дел (б) и 4000 об/мин.: 5 В/дел.; 2 мс/дел (в)

низкочастотный от раскачивания двигателя на опорах из-за неуравновешенности масс и более высокочастотный от процессов в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания.

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ возможности диагностики с помощью регистрации упругих колебаний при работе двигателей внутреннего сгорания позволил рассчитать параметры стенда для обкатки автомобильных двигателей, специализированного под виброанализ.

Для обеспечения высокой демпфирующей способности в качестве материала рамы стенда решено использовать древесину, а для исключения посторонних акустических наводок от технологического оборудования между рамой и основанием решено поместить резиновую прослойку.

Опробование вибродатчиков позволило выбрать в качестве основного датчик ускорения (акселерометр) 18.3855.

В настоящее время изготовлена рама стенда, приобретено технологическое и измерительное оборудование, осуществляется компоновка и наладка стенда. Стенд позволит детально изучить влияние технологических факторов работы двигателя на параметры вибросигнала и включить виброанализ в систему управления двигателем.

На основании полученных с помощью стенда данных предполагается создание бортовых систем контроля технического состояния автомобильных двигателей в процессе их эксплуатации с возможностью экстраполяции качественных показателей на последующие периоды, что даст возможность планировать сроки технического обслуживания и ремонтов и снизит затраты на их проведение.

## Список литературы

1. А.Н. Борисенко. Современные информационно-измерительные системы вибродиагностики ДВС [Текст] / П.С. Обод, О.В. Лавриненко // Вестник Харьковского ХПИ. — 2010. — № 39. — С. 132-137.
2. Прилепский Ю.В. Опробование датчиков для вибродиагностики на бензиновом двигателе внутреннего сгорания [Текст] / Ю.В. Прилепский, А.С. Маренич, С.А. Ткачев // М-лы IV Международной науч.-практической конференции «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса». — Донецкая академия транспорта, г. Донецк, 2018. — С. 147-152.
3. Измерительная и анализирующая аппаратура [Электронный ресурс]. — 2006. — Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2006/mech/bychkov/library/rab6/index.htm>.



# ЗАКОНЫ ИЗМЕНЕНИЯ УСКОРЕНИЙ АВТОМОБИЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО РАЗГОНА

С. А. Горожанкин, д.т.н., профессор; Н. В. Савенков, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В данном исследовании проведен анализ режимов разгона автомобиля категории N3 на участках городского ездового цикла с целью нахождения оптимальных вариантов изменения ускорения. Конечной целью являлась оптимизация параметров движения для нахождения минимального значения расхода топлива за цикл. Определение этой величины позволяет вычислять сопутствующие значения остальных параметров движения — режимы работы двигателя внутреннего сгорания, коэффициенты использования мощности двигателя, номер включенной передачи, длины участков разгона, время их прохождения и др. Результаты рекомендуется использовать в процессе проектирования систем управления роботизированными и автоматическими коробками передач.

**Ключевые слова:** автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, трансмиссия, режим разгона, ускорение, путевой расход топлива.



Горожанкин  
Сергей Андреевич



Савенков  
Никита Владимирович

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Приоритетной задачей как этапов проектирования и доводки, так и технической эксплуатации автотранспортных средств [1,2] является снижение путевого расхода топлива. Топливно-экономические эксплуатационные свойства автомобилей определяются не только контрольным расходом топлива, но и другими показателями, основными среди которых в настоящее время являются значения путевого расхода в комплексе ездовых циклов.

Одним из путей его снижения является строгое согласование параметров силовой установки (СУ) за счет обеспечения рациональных режимов работы её агрегатов, позволяющих поддерживать общий КПД СУ на высоком уровне. Для реализации этого требуется создание метода выбора рациональных параметров процесса движения с учетом влияния неустановившихся режимов работы узлов и агрегатов автомобиля.

Целью настоящей работы является исследование возможности обеспечения максимальной топливной экономичности автомобиля категории N3 путем оптимизации режима работы его СУ при движении на режиме разгона как в городских, так и загородных условиях.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение этой научной задачи позволяет определить для конкретной модели автомобиля рациональные режимы работы двигателя и параметры трансмиссии в соответствии с заданными режимами движения. В статье приведены результаты исследования режима ускоренного движения грузовых автомобилей категории N3 на одном из участков стандартизированного городского ездового цикла, а также в целом для такого цикла. Это позволяет выработать рекомендации как для проектирования СУ (ДВС с роботизированными и, в перспективе, автоматическими коробками передач), так и по рациональному управлению этими установками.

В данной работе исследованы параметры движения трехосных самосвалов модели КамАЗ-5511, ориентированных на эксплуатацию преимущественно в городской черте, а также по грунтовым или отсыпным дорогам с ровной подготовленной поверхностью.

Обязательным условием вычисления параметров процесса движения является связь характеристик автомобиля и параметров его СУ со скоростью движения и продольным ускорением. Для горизонтальных участков дороги, на которых

проводятся испытания в стандартизованных ездовых циклах, расчетные зависимости упрощаются.

На базе результатов опытных исследований, выполненных для двигателя модели КамАЗ-740.10 в МАМИ, авторами получены аналитические зависимости нагрузочно-скоростных характеристик [3] для эффективной мощности  $N_e$  и эффективного удельного расхода топлива  $g_e$ . Это дало возможность получить универсальную статическую (для установившихся режимов работы) характеристику рассматриваемого двигателя, которая позволяет определять функции вышеперечисленных показателей  $g_e(n, k)$  и  $N_e(n, k)$  на установившихся режимах с частичными нагрузками. Диаграмма этой характеристики в виде проекций зависимости на плоскость с координатами  $n$  и  $k$  приведена на рис. 1.

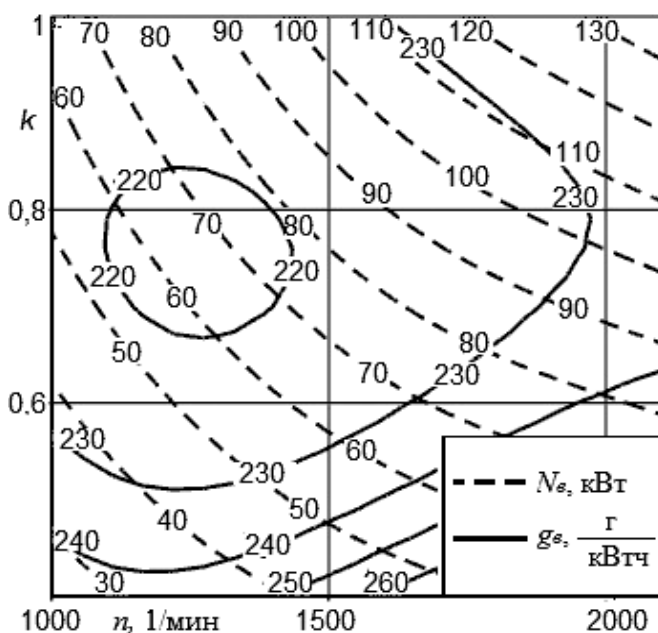


Рис. 1. Универсальная статическая характеристика двигателя КамАЗ-740.10

Параметр  $k$  (коэффициент использования мощности двигателя) на рис. 1 представляет отношение текущего значения эффективной мощности двигателя к значению эффективной мощности того же двигателя при его работе по внешней скоростной характеристике (ВСХ) при той же частоте вращения, т.е.

$$k = \frac{N_e}{N_{eВСХ}}, \quad (1)$$

На диаграмме приведены линии равной эффективной мощности и линии равных эффективных удельных расходов топлива для частичных нагрузок. Эта характеристика позволяет определять установившиеся режимы работы ДВС, на которых каждому значению  $N_e$  соответствует такое сочетание параметров регулирования  $n$  и  $k$ , при котором обеспечивается минимальная величина  $g_e$ .

Вычисление параметров движения автомобиля и его силового агрегата осуществлено на основе

классической теории автомобиля [1,2,4]. Для проведения расчетов режимов движения автомобиля с учетом характеристик его двигателя и трансмиссии в рамках данного исследования разработан комплекс компьютерных программ, позволяющих выполнять вычисление параметров всех составляющих участков городского или магистрального ездовых циклов на дороге в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54810-2011. В программах заложены показатели ДВС, в том числе топливно-экономические, основные технические характеристики автомобиля (масса, габариты, коэффициент аэродинамического сопротивления и др.). Это позволило на основе энергетического баланса силовой установки в каждый момент времени вычислять параметры участков движения в цикле, удельный расход топлива ДВС, расходы топлива по участкам цикла, а также за цикл в целом. Для оценки расхода топлива двигателем в программу введены аналитические выражения для его внешних и частичных скоростных характеристик, отображенных на рис. 1.

Алгоритм программ дает возможность для всех участков ездового цикла вычислять текущие значения скорости, ускорения, пройденного пути, частоты вращения ДВС, его мощности, коэффициента использования мощности и удельного расхода топлива. Это позволяет имитировать динамику движения автомобиля в городских условиях или загородном цикле.

Исследования показали, что при постоянных ускорениях автомобиля в процессе разгона на каждом отдельном участке ездового цикла не обеспечивается минимальный расход топлива на этом участке. Установлено, что для оптимизации параметров движения по минимальному путевому расходу топлива необходимо учитывать не только значения продольных ускорений автомобиля, но и законы изменений этих ускорений на отдельных участках цикла. Причиной этого является зависимость удельного расхода топлива двигателем от коэффициента использования его мощности и, соответственно, от крутящего момента [5,6]. Последний в свою очередь определяется характером изменения ускорения автомобиля на каждом из участков разгона. В общем случае закон изменения ускорения автомобиля от его текущей скорости при прохождении отдельного участка разгона можно представить в виде функции:

$$J = J(w), \quad (2)$$

где  $w$  — текущее значение скорости на участке разгона.

В исследованиях принимались следующие зависимости изменения ускорения автомобиля от скорости:

- 1) постоянное ускорение на всем протяжении участка:  $J = \text{const}$ ;
- 2) ускорение, изменяющееся по линейному закону:

$$J = J_{cp} \cdot (1 + a_1(w/w_{cp} - 1)), \quad (3)$$

где  $w_{cp}$  — среднее значение скорости на участке,  $J_{cp}$  — среднее значение продольного ускорения автомобиля на этом же участке,

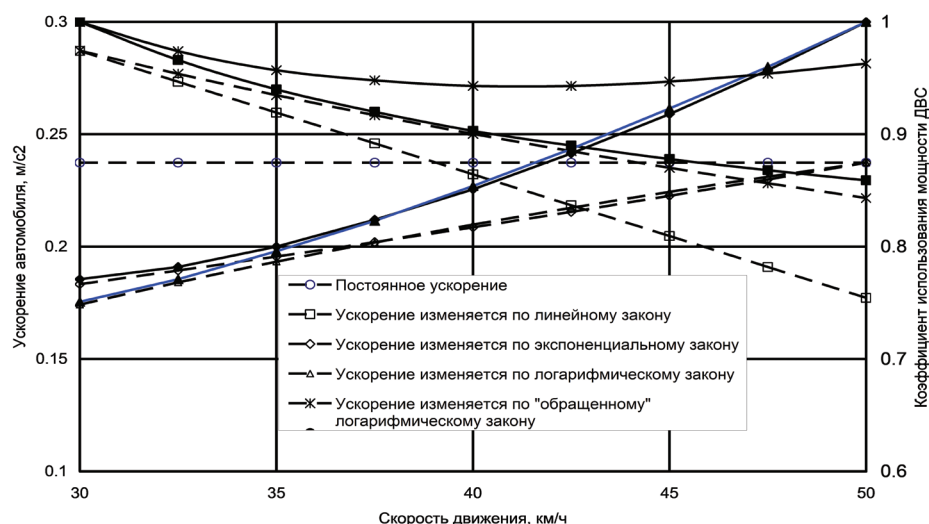


Рис. 2. Изменение ускорений и коэффициента использования мощности двигателя при оптимизации по времени прохождения участка

Таблица 1.

Параметры движения при оптимизации по времени прохождения участка для автомобиля с полной массой 19 т

	Постоянное ускорение	Ускорение изменяется по линейному закону	Ускорение изменяется по экспоненциальному закону	Ускорение изменяется по логарифмическому закону	Ускорение изменяется по «обращенному» логарифмическому закону
Расход топлива на участке, г	255	253.6	250.8	250.7	256.7
Время движения на участке, с	49.5	44.1	45.2	45.2	43.8
Путевой расход топлива (спр), кг/100км	46.36	46.11	45.6	45.58	46.67

3) экспоненциальная зависимость

$$J = J_{cp} \cdot \exp(a_2 w), \quad (4)$$

4) логарифмическая зависимость

$$J = J_{cp} \cdot \ln(a_3 w), \quad (5)$$

5) логарифмическая зависимость вида («обращенная логарифмическая»)

$$J = J_{cp} \cdot (1 - \ln(a_4 w)). \quad (6)$$

Приведенные выражения сравнительно просты и могут быть реализованы системой управления силовым агрегатом автомобиля. В выражениях (2) - (6) коэффициенты  $a_1, a_2, \dots$ , принимаемые в результате оптимизации по какому-либо критерию. В качестве таковых могут выступать: минимальное время прохождения участка; минимальный расход топлива на участке, минимальный расход топлива в единицу времени движения и т.п.

В качестве типового участка разгона автомобиля КамАЗ-5511 был принят участок городского ездового цикла (в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54810-2011) длиной 550 м. На указанном участке автомобиль движется с разгоном от скорости 30 км/ч до скорости 50 км/ч, причем по достижении этой скорости он

должен двигаться с постоянной скоростью 50 км/ч до отметки 550 м. Таким образом, указанный участок содержит два отрезка пути — отрезок разгона и отрезок движения с постоянной скоростью.

Исследования показали (рис. 2), что для автомобиля с полной массой 19 т оптимизация по времени прохождения участка приводит к возрастанию коэффициента использования мощности двигателя (их графики изменений отображены сплошными линиями с зачерненными расчетными точками) до величин 0.85...1.0 практически при всех законах изменения ускорений (ускорения отображены пунктирными линиями), за исключением линейного, в конце участка разгона. При этом для этого закона время прохождения участка практически минимально — 44.1 с. Расход топлива минимален при логарифмическом и экспоненциальном законах изменения ускорений, как это следует из данных, приведенных в таблице 1. Путевой расход топлива в данной таблице приведен для справки. Его величина ни в коей мере не определяет контрольный путевой расход топлива, либо расход в ездовом цикле в целом.

Скоростная характеристика эффективного удельного расхода топлива ДВС является в значительной мере дифференцированной по своим значениям в эксплуатационном нагрузочно-скоростном диапазоне. Работа двигателя с позиции энергетической эффективности более предпочтительна в определенной области



значений коэффициентов использования мощности и частоты вращения коленчатого вала. Для рассматриваемого двигателя такими являются (например, при условии сохранения  $g_e < 225$  г/(кВт·ч)) диапазоны  $[1 > k > 0,6]$  и  $[1000 < n < 1700]$ .

Идентичные расчеты для варианта оптимизации по минимальному расходу топлива на участке разгона показали, что в этом случае коэффициент использования мощности двигателя лежит в пределах 0.55...0.78 при всех рассмотренных законах изменения ускорений, как это представлено на рис.3, аналогичном рис. 2. При таком варианте оптимизации в значительной мере нивелируются расходы топлива (от 231.3 до 233.4 г) и время прохождения участка (48.4-50.7 с).

В определенной мере полученные результаты соответствуют известным положениям теории автомобилей [2], в соответствии с которыми рекомендуемые значения коэффициента использования мощности  $k$  составляют ~0.75 при относительной скорости вращения коленчатого вала  $n/n_{ном}$  около 0.65.

Установлено, что минимальные величины ускорений для некоторых режимов весьма незначительны. Поэтому в процессе дальнейших исследований для всех режимов движения вводилось ограничение минимального значения ускорения на участке разгона величиной 0.1 м/с. Однако это ограничение несущественно изменило результаты, представленные в таблице 2. В целом можно констатировать, что с целью обеспечения минимального путевого расхода топлива

на участках разгона автомобиля вполне приемлемо осуществлять изменение его продольных ускорений по линейному закону, представленному выражением (2). Коэффициент  $a_1$  в этой зависимости может принимать как отрицательные, так и положительные значения, что отвечает либо увеличению, либо уменьшению ускорения по мере разгона. Для любого участка ездового цикла такой коэффициент может быть найден путем оптимизации, что обеспечит минимальный путевой расход топлива для ездового цикла в целом.

В ходе вычислений параметров городского ездового цикла на дороге путем численного интегрирования и оптимизации режимов работы силового агрегата режимы движения автомобиля принимались согласно требований ГОСТ Р 54810-2011. Указанный стандарт не предусматривает определенного номера включенной передачи для участков цикла, а также времени прохождения этих участков. Это дает возможность в процессе расчета режимов движения в городском цикле на дороге для АТС категорий N2, N3 и M2 класса II разбивать цикл на различное число участков в зависимости от тягово-мощностных и конструктивных параметров автомобиля. К ним отнесены мощность, частота вращения двигателя, передаточные числа трансмиссии, диаметры колес и др. В целом исследования показали, что для выбранного автомобиля число расчетных участков городского цикла составляет 60-63 в зависимости от типа установленной трансмиссии (передаточные числа КПП и заднего моста).

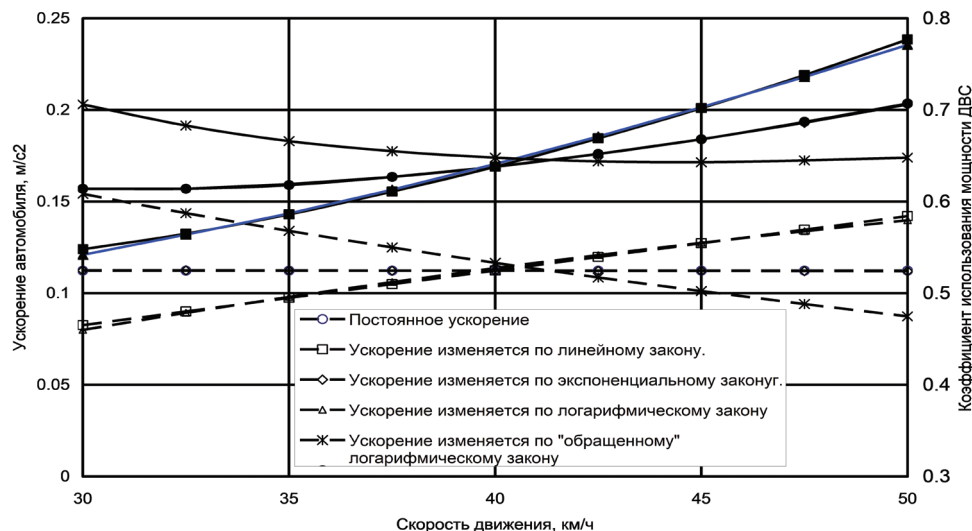


Рис. 3. Изменение ускорений и коэффициента использования мощности двигателя при минимизации расхода топлива на участке разгона автомобиля с полной массой 19 т

Таблица 2.

Параметры движения при минимизации расхода топлива на участке для автомобиля с полной массой 19 т

	Постоянное ускорение	Ускорение изменяется по линейному закону	Ускорение изменяется по экспоненциальному закону	Ускорение изменяется по логарифмическому закону	Ускорение изменяется по «обращенному» логарифмическому закону
Расход топлива на участке, г	232	231.3	232	231.3	233.4
Время движения на участке, с	49.5	50.6	49.5	50.7	48.4
Путевой расход топлива (спр.), кг/100км	42.18	42.05	42.18	42.05	42.44

Таблица 3.

Результаты моделирования движения автомобилей в условиях городского ездового цикла в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54810-2011

Грузоподъемность автомобиля, кг	Полная масса автомобиля, кг	Движение при максимальных ускорениях на участках разгона		Движение при постоянных ускорениях и оптимизации по минимальному времени прохождения цикла		Движение при оптимизации по минимальному путевому расходу топлива в цикле и постоянных ускорениях		Движение при оптимизации по минимальному путевому расходу топлива в цикле и переменных ускорениях	
		Путевой расход топлива кг/100км	Средняя скорость в цикле, км/ч	Путевой расход топлива кг/100км	Средняя скорость в цикле, км/ч	Путевой расход топлива кг/100км	Средняя скорость в цикле, км/ч	Путевой расход топлива кг/100км	Средняя скорость в цикле, км/ч
10000	19000	40.18	29.12	39.35	28.76	38.04	28,08	38.02	27.96
0	9000	24.03	29.93	24.32	29.60	23.01	27.54	22.90	27.33

Результаты расчетов расходов топлива в городском ездовом цикле автомобилем при его полной массе приведены в таблице 3 для нескольких вариантов оптимизации параметров.

Из результатов, представленных в таблице 3, следует, что путевой расход топлива составляет 38.04 кг/100 км (суммарный расход топлива за цикл составляет 1522 г) при постоянных значениях ускорений на участках разгона. Оптимизация с изменением этих ускорений по линейной зависимости от скорости автомобиля для каждого из участков разгона практически не дает снижения путевого расхода – его величина уменьшается всего до 38.02 кг/100 км (1521 г за цикл), т.е. снижается менее чем на 0.1%. Таким образом, для достижения максимальной экономичности с достаточной для практики точностью ускорения автомобиля можно принимать постоянными в пределах каждого из участков.

Картина изменяется при снижении массы автомобиля (уменьшении массы перевозимого груза). При движении в городском ездовом цикле порожнего автомобиля вследствие существенного снижения его полной массы с 19 т до 9 т (см. таблицу 3) значительно уменьшаются нагрузки на двигатель и трансмиссию. При максимальной полной массе коэффициенты запаса мощности двигателя невелики, поэтому на участках разгона он работает при значениях коэффициентов использования мощности  $k$ , близких к единице. Для порожнего автомобиля этот коэффициент снижается до величин  $\sim 0.55...0.78$ . Это в свою очередь позволяет принимать оптимальную зависимость изменений ускорений автомобиля от скорости на участках разгона. Так, например, изменение ускорений автомобиля по линейной зависимости от скорости дает снижение путевого расхода топлива на  $\sim 0.52\%$  (с 38.04 до 37.66 кг/100 км). Снятие ограничений по минимальным значениям ускорений (с ограничением до  $0.1 \text{ м/с}^2$ ) позволяет довести путевой расход до 22.48 кг/100 км, что соответствует  $\sim 2\%$  экономии топлива.

## ВЫВОДЫ

1. В исследовании рассмотрены режимы разгона автомобиля категории N3 при различных вариантах изменений их продольных ускорений в процессе разгона.

2. Показано, что процесс движения грузового автомобиля для неуставившихся режимов в городском ездовом цикле может быть оптимизирован для снижения путевого расхода топлива.

3. Определено, что при оптимизации следует учитывать характеристики автомобиля, его двигателя, параметры трансмиссии, режимы движения, массу перевозимого груза.

4. Для моделей автомобилей категории N3 в городском ездовом цикле путевой расход топлива может быть снижен на 3-5% при рациональном выборе передач трансмиссии и скорости движения при их переключении.

5. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования при проектировании блоков управления роботизированными и автоматическими коробками передач.

## Список литературы

1. Литвинов А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
2. Горожанкин С.А., Савенков Н.В. Оптимизация режимов работы силового агрегата автомобиля в городском цикле. Научный журнал «Вестник ДонНУ». Сер.Г: Технические науки. – Донецк: ДонНУ, 2019; 1/2019. – С. 73-78.
3. Горожанкин С. А. Методики для аппроксимации зависимостей нескольких переменных в программной среде MS Excel и Mathcad / Научно-технические ведомости СПб-ГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление // С.А. Горожанкин, А.А. Шитов, Н.В. Савенков. – 2016, № 3(247), – С. 35–47.
4. Бортницкий И.П. Тягово-скоростные качества автомобилей / И.П. Бортницкий, В.И. Задорожный. – К: Вища школа, 1978. – 176 с.
5. Работа автомобильного двигателя на неуставившемся режиме / Е.М. Акатов, П.М. Белов, Н.Х. Дьяченко, В.С. Мусатов. М-Л: Машиз, 1960, – 282 с.
6. Патрахальцев Н.Н. Неуставившиеся режимы работы двигателей / Н.Н. Патрахальцев, Ю.А. Соколов. – М.: НИИинформтяжмаш, 1976, №4-76-34. – 42 с.

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШАТУНОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РЕМОНТНОЙ ДЕТАЛИ

А. Г. Каспарьянц, заслуженный работник транспорта Украины, член кор. ТАУ, к.т.н., доцент;  
Д. В. Попов, к.т.н., доцент; Э. С. Савенко, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В статье изложен способ восстановления шатунов автомобильных двигателей, методом устранения скрученности и погнутости шатуна без перегиба верхней головки шатуна это позволит снизить затраты на ремонт двигателя, без снижения долговечности пары поршень — цилиндр с использованием метода дополнительной ремонтной детали — стандартной втулки шатуна. Предложены методы контроля прогиба шатуна на погнутость и скручиваемость с подбором технологического оборудования для восстановления шатунов.

**Ключевые слова:** втулка, механическая обработка, запрессовка, поверхность, ремонт, шатун, технология, износ.



**Каспарьянц**  
**Акоп Герасимович**



**Попов**  
**Дмитрий Владимирович**



**Савенко**  
**Эдуард Станиславович**

## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в авторемонтное производство внедрены новые способы восстановления деталей, точные линии, новое оборудование и др. Однако трудоемкость и стоимость капитального ремонта автомобилей все еще остаются высокими, а ходимость не обеспечивает нормативного пробега. Поэтому важной задачей персонала авторемонтных предприятий является уменьшение использования новых деталей при всемерном улучшении качества ремонта с одновременным снижением его стоимости. Этого можно достигнуть совершенствованием технологии и организации ремонта автомобилей, применением прогрессивных способов восстановления деталей, механизацией и автоматизацией технологических процессов и т. п.

Повышение качества восстановления автомобильных деталей и снижение их трудоемкости во многом зависят от правильности выбора базы для обработки деталей, являющейся единой для процессов возмещения износов и их механической обработки.

## ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящей работы является разработка метода восстановления шатунов автомобильных двигателей, позволяющего снизить затраты на ремонт двигателя, при этом без снижения долговечности пары поршень — цилиндр.

В работе рассмотрена возможность устранения скрученности и погнутости шатуна без перегиба верхней головки шатуна.

В основу разработки положен метод использования дополнительных ремонтных деталей.



## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Шатуны изготавливаются из стали 40 (ЗИЛ- 4331, «Москвич - 2141SL»), 40Г (ЯМЗ-204), 40Х (ЯМЗ-326) и 45Г2 (ГАЗ). Термическая обработка шатунов включает нормализацию, которая производится после штамповки, закалку и высокий отпуск до твердости в пределах НВ 207-255 (сталь 40), НВ 229-255 (40Г) и НВ 228-269 (45Г2; 40Х).

Дефектами шатунов, поступающих в ремонт, обычно являются: погнутость и скручивание шатуна, износ отверстий во втулке верхней головки и нижней под вкладыш вследствие ослабления его посадки в постели и, наконец, повреждение плоскости разъема нижней головки (рис. 1).

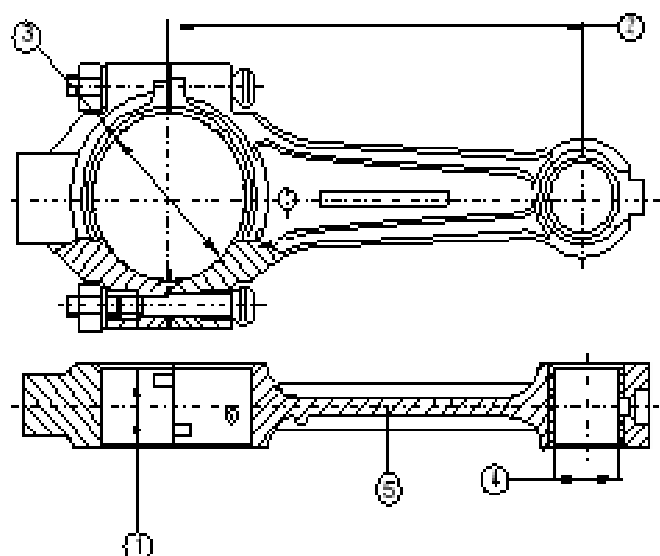


Рис. 1. Эскиз шатуна и его дефекты:

1 - сдвиг металла на поверхности отверстия нижней головки шатуна; 2 - уменьшение расстояния между осями головок; 3 - задиры или износ отверстия нижней головки шатуна; 4 - износ отверстия во втулке шатуна; 5 - погнутость и скручивание шатуна

Сама технология устранения этих дефектов известна [4] и технически отработана и заключается в проверке шатунов на погнутость и скрученность при помощи приспособления, показанного на рис. 2. Правку погнутых шатунов ведут на винтовых и гидравлических прессах, а правку скрученных — при помощи специального рычага или специальной струбицы, захваты которой закрепляются винтами с разных сторон таврового сечения. Максимально допустимая величина изгиба 0,03 мм на 100 мм. Максимально допустимая деформация при скручивании 0,05 мм на 100 мм. Если деформации при изгибе или скручивании превышают максимально допустимое значение, необходимо производить замену шатуна в сборе.

Стандартный метод восстановления заключается в следующем:

- шатуны и крышки с поврежденными торцами разъема шлифуют «как чисто» с креплением их в

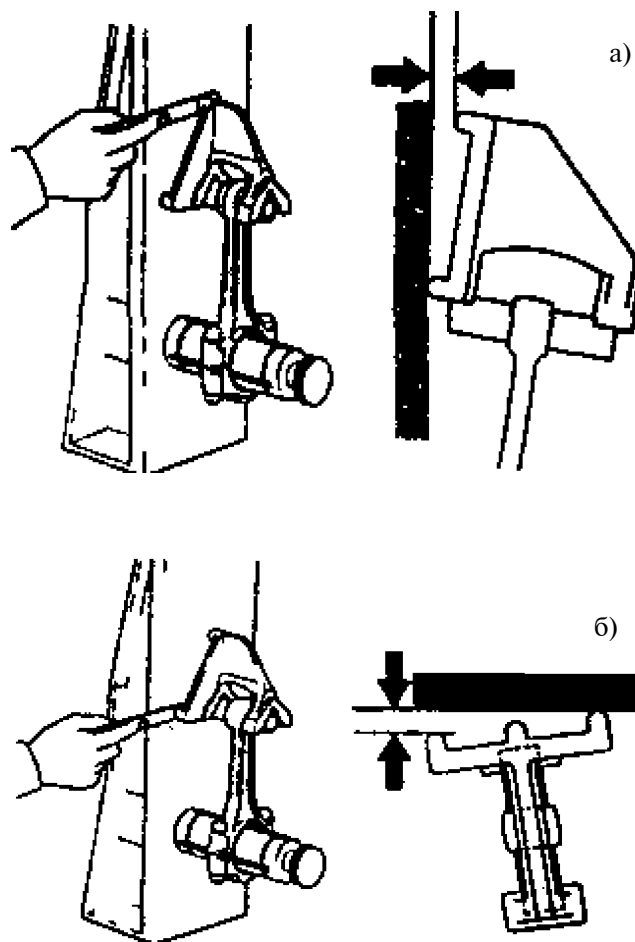


Рис. 2. Приспособления для проверки шатуна на погнутость и скручивание:

а) проверка на изгиб, б) проверка на скручивание

приспособлении. После шлифования производится сборка шатунов и крышек, затем тонкое растачивание отверстия нижней головки под номинальный размер на станках типа 2710, 2711, либо, в общем случае, растачивают отверстие на токарном станке на режимах, близких к тонкому растачиванию. Втулка шатуна заменяется новой, и ее отверстие зенкуют под номинальный размер.

- Контроль межцентрового расстояния осей отверстий шатуна и их параллельности производится индикаторным приспособлением, показанным на рис. 3. Настройка приспособления производится по эталонному шатуну. Оси отверстий головок должны лежать в одной плоскости; допустимое отклонение — не более 0,05 мм; непараллельность осей отверстий — не более 0,03 мм; овальность и конусность отверстия нижней головки — не более 0,01 мм [5].

Несмотря на кажущуюся простоту технологии восстановления шатунов, опыт производителей (отчеты и статистика 1-го Донецкого авторемонтного завода) показывают на значительно высокий коэффициент ремонта по всем дефектам и, что особенно важно, значительную выбраковку шатунов по величине скрученности и погнутости стержня шатуна.

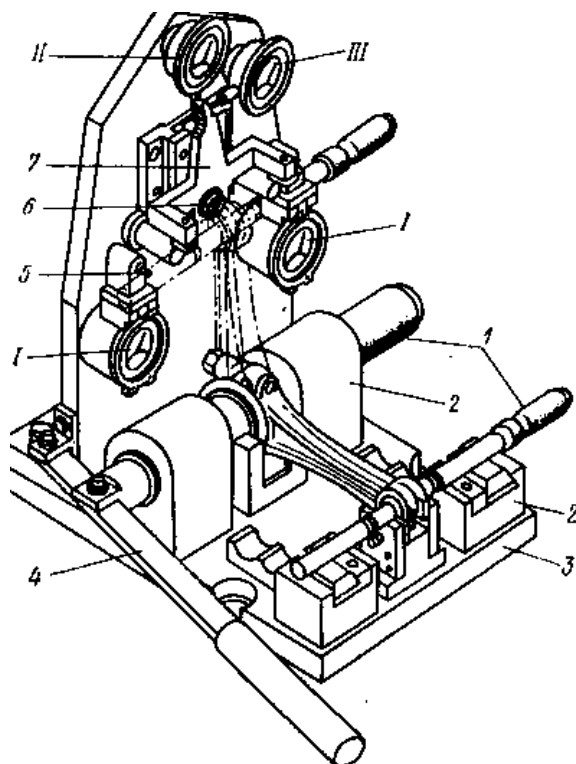


Рис.3. Приспособление для проверки и правки шатуна:

- 1 – скалки; 2 – стойки; 3 – плита; 4 – ручка;  
5 – штифт; 6 – ось коромысла; 7 – коромысло;  
I, II, III – индикаторы

И что особенно важно, часть шатунов вообще невозможно выправить в допустимые размеры, и большое количество выправленных шатунов, пролежавших несколько дней и не установленных в двигатели, возвращались в первоначальное состояние до правки.

Это явление возможно объяснить условиями работы шатуна и тем остаточным состоянием, в котором он поступает на ремонт.

Стержень шатуна работает в условиях знакопеременных нагрузок по асимметричному циклу – разывается силами инерции поступательно движущих масс, расположенных над расчетным сечением, и сжимается в момент сгорания силой, равной разности силы давления газов и силы инерции. Размах цикла напряжений не зависит от абсолютных величин сил инерции и достигает наибольшего значения при максимальном давлении сгорания [1].

Напряжения в различных точках поперечного сечения стержня шатуна неодинаковы. Наибольшие отклонения действительных напряжений от их среднего расчетного значения возникают в сечениях, расположенных непосредственно под поршневой головкой.

Изгиб полки в непосредственной близости от поршневой головки возникает в результате неравномерного распределения давлений по дуге нижней половины поршневой головки, а также по ее длине со стороны поршневого пальца при ее изгибе. По мере удаления от поршневой головки неравномерность

распределения напряжений уменьшается и в среднем сечении стержня во всех точках напряжения приближается к расчетным.

Кроме напряжений от сжатия и растяжения в стержне шатуна, возникают дополнительные напряжения изгиба, вызываемые внецентровым применением сил в плоскости, нормальной к плоскости качания [2].

Все это указывает на сложные условия работы шатуна и может объяснить во многом связь изменений повреждений от фактора времени, остаточного прогиба при деформации детали, площади или глубины поврежденного слоя, величины упругой и остаточной деформации. При нагрузках меньше предела его упругости будет иметь место главным образом упругая деформация. Однако упругая деформация может сопровождаться и остаточной деформацией при определенных условиях. Например, при повышенных температурах за счет ползучести, при нормальных температурных условиях за счет релаксации напряжений и т.д. [3].

Подшипники скольжения, шатуны и поршневые кольца при работе также приобретают остаточную деформацию, что приводит к значительным искажениям их формы и понижению долговечности работы соответствующего узла [3].

Применение указанной технологии восстановления создает и ряд существенных недостатков (негативных последствий):

- а) устранение дефектов ведется в отдельности от общей взаимосвязи с другими поверхностями и не имеют единой базы, что значительно влияет на соосность и параллельность осей отверстий в головках;
- б) значительное влияние на работоспособность шатуна имеет скрученность и изгиб шатунов.

Устранение скрученности и изгиба в нормативное положение требует значительных трудовых затрат, кроме этого, происходит возврат конструкции в первоначальное положение. Используемый метод ремонта трудоемок и не дает гарантии на 100% годности. И если в руководствах по капитальному ремонту двигателя внутреннего сгорания производства СНГ имеются рекомендации по их ремонту [5], то в руководствах на импортные автомобили правка шатуна вообще не предусмотрена [6].

Возможность устранения скрученности и погнутости шатуна без перегиба верхней головки шатуна может быть реализована, если при обработке шатуна будет обеспечена строгая параллельность осей нижней и верхней головки шатуна. Для обеспечения этого процесса предлагается технология обработки шатуна от единой базы с использованием втулки верхней головки шатуна как дополнительной ремонтной детали (ДРД), которая устраняет перекося и скрученность верхней головки шатуна за счет расточки втулки верхней головки шатуна в соосности с нижней головкой и рациональном использовании припуска на ее обработку.

Эта технология предусматривает устранение всех дефектов от обновленной единой базы, которая базируется по боковой поверхности шатуна, и обработка

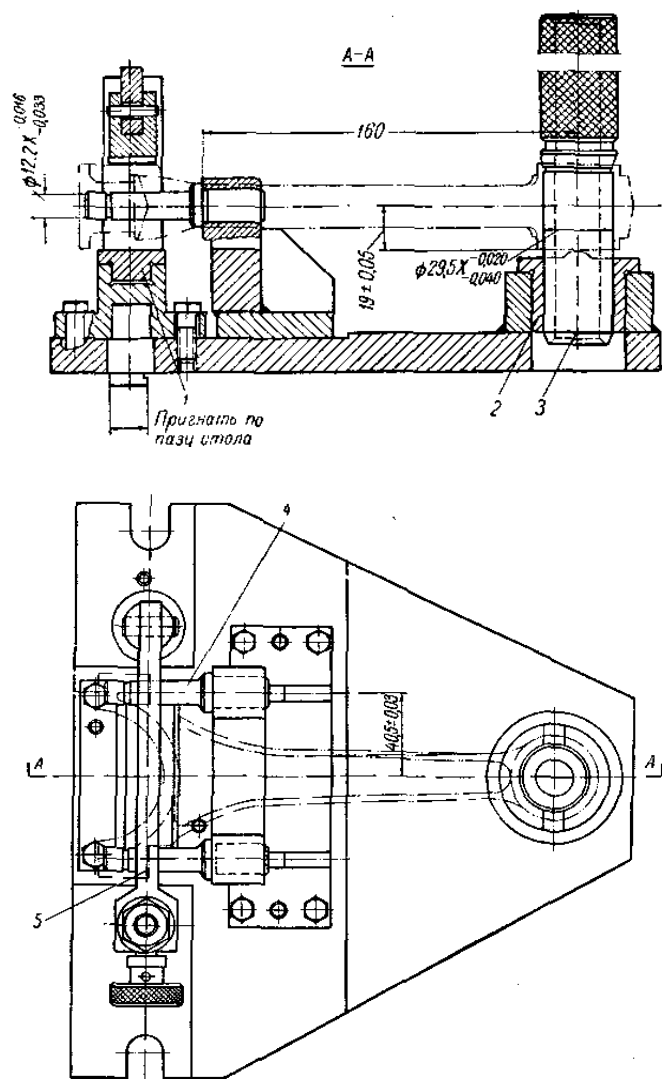


Рис. 4. Приспособление для фрезерования торцов разъема нижней головки шатуна

отверстий производится только расточкой, а не развертыванием.

Последовательность операций восстановления заключается в следующем:

- разбирают нижнюю головку шатуна и фрезеруют торцы шатуна и крышки шатуна на 0,25 мм. На рис. 4 показано приспособление для фрезерования торцов разъема нижней головки шатуна. Шатун устанавливается отверстием верхней головки (без втулок) на палец 3, вставляемый во втулку 2. Что обеспечивает параллельность плоскости разъема шатуна с осью поршневого пальца. Отверстиями головки под болты шатун надевается на пальцы 4 и торцом головки опирается на ползун 1. Закрепление шатуна в приспособлении производится при помощи планки 5;
- собранный после фрезеровки торцов шатун укладывается на стол плоскошлифовального станка, и шлифуют боковую поверхность шатуна «как чисто» и затем, после поворота, и вторую поверхность.

На расточном станке 2710 или 2711, базирясь на одну из шлифованных поверхностей, растачивают отверстие в нижней головке шатуна с учетом припуска на хонингование внутренней поверхности до номинального размера.

Хонингование отверстия нижней головки шатуна позволяет обеспечить необходимую шероховатость внутренней поверхности и размер его диаметра. Например, шатун в сборе ЗИЛ-130-1004045 диаметр отверстия в нижней головке  $69,5+0,018$ , допустимый без ремонта  $69,52$ , допуск  $0,012$  мм.

Втулки верхней головки шатуна выпрессовываются и заменяются новыми. Втулки изготавливаются из бронзы оловянистой (Бр. ОЦС4-4-2,5) или кремнемарганцовистой (Бр. КСМц3-1).

Заготовками для втулок служит лента различной толщины ( $0,89\pm 0,2$  мм,  $1,64\pm 0,2$  мм).

При запрессовке втулки верхней головки шатуна создается припуск для ее обработки под размер, обеспечивающий работу пальца. Припуск по сравнению с величиной изгиба, который появляется после эксплуатации двигателя, значительный, и если правильно направить резец, то за счет этого припуска можно обеспечить ось верхней головки шатуна параллельно к оси нижней головки шатуна.

Для обеспечения соосности осей необходимо, базирясь по боковой поверхности, установить шатун ребром перпендикулярно к шпинделю станка в приспособление, показанное на рис. 5.

Приспособление содержит расточную головку, вращающуюся от шпинделя токарного станка 1616, на котором приспособление монтируется. Число оборотов при расточке верхней головки 1880 в минуту (31 об/с). Закрепление шатунов производится в приспособлении, установленном на направляющей продольного суппорта станка. Головки шатуна центрируются на приспособлении при помощи направляющих втулок и пробок — калибров, ромбической — нижняя головка и цилиндрической — верхняя. Стержень шатуна и верхняя головка закрепляются роликами плавающих тисков, а нижняя головка — прижимной планкой.

Для примера в табл. 1 приводятся параметры при восстановлении шатуна к двигателю ЗИЛ - 130.

При необходимости восстанавливать с изгибом более 0,5 мм на длине 100 мм необходимо уменьшить отверстие в верхней головке шатуна железнением на 0,3-0,5 мм, что позволит восстанавливать шатуны с изгибом до 1 мм на 100 мм.

При обработке шатуна, фрезеруя торцы стержня шатуна, его длина уменьшается на 0,2-0,25 мм при допустимом 0,5 мм. Но все же после обработки верхней и нижней головки шатуна проверяют расстояние между их осями. При отклонении расстояния от допустимого размера шатун поступает на установку ТВЧ, где его стержень, в центре по длине, нагревается индуктором до температуры  $700^{\circ}\text{C}$  и подвергается растяжению на прессе или на гидравлической стойке с фиксацией нормативного расстояния между осями до полного остывания.



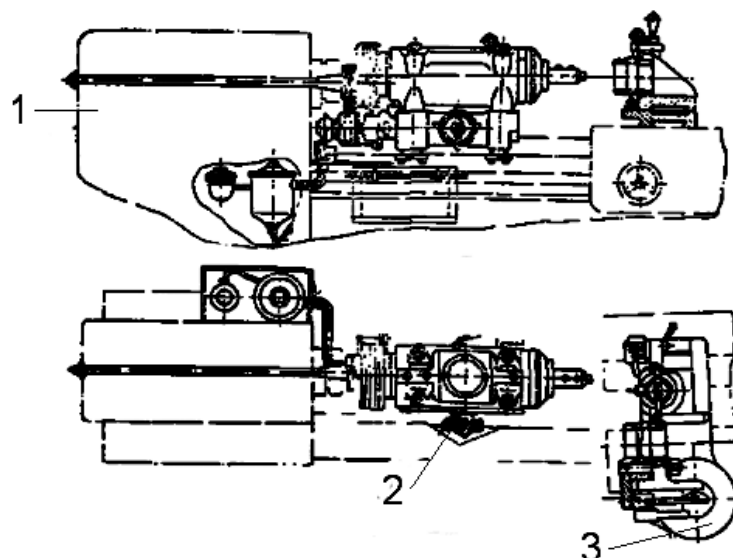


Рис. 5. Приспособление для растачивания втулки верхней головки шатуна:  
1 – токарный станок 1616; 2 – расточная головка; 3 – устройство для укладки шатуна

Таблица 1.

Расчеты втулок и отверстий под втулку и палец шатуна двигателя ЗИЛ-130

Параметры	Размер, мм
Диаметр отверстия под втулку в верхней головке шатуна	29,500
Наружный диаметр втулки	29,670
Внутренний диаметр втулки	27,640
Длина втулки	36,00
Диаметр поршневого пальца	28,000
Номинальный диаметр отверстия: – в верхней головке шатуна – с запрессованной втулкой	27,997 28,007
Припуск на расточку втулки шатуна: – по диаметру – на сторону	0,36 0,18
Возможный уклон внутренней поверхности втулки при отклонении одной ее стороны на 0,18 мм на расстоянии 100 мм	0,5
Диапазон изгиба или скрученности шатуна, возможного для их восстановления с учетом использования для компенсации припуск 0,18 мм	до 0,5 мм на 100 мм

В результате приведенная технология позволяет восстановить шатун с осями отверстий в одной плоскости с отклонением не более 0,05 мм, непараллельность осей не более 0,03 мм; овальность и конусность отверстия нижней головки – не более 0,01 мм [5].

### ВЫВОД

Выбраковка шатуна практически отсутствует. Приведенная технология при небольших финансовых затратах (10-15% от стоимости нового шатуна, которая составляет в пределах 150 - 600 грн и зависит от марки и модели автомобиля) позволяет получать шатуны, обеспечивающие длительную долговечность сопряжения, поршень и цилиндр двигателя.

### Список литературы

1. Архангельский В.М., Вихерт М.М., Воинов А.Н. и др. Автомобильные двигатели / Под ред. М.С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1997.

2. Вырубов Д.Н., Ефимов С.И., Иващенко и др. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с., ил.
3. Дехтеринский Л.В., Акмаев К.Х., Апсин В.П. и др. Ремонт автомобилей: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1992. – 295 с., ил., табл.
4. Шадринцев В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
5. Двигатели ЗИЛ-130 и ЗИЛ-375. Руководство по капитальному ремонту РК200 УССР-40-192-78. – Минтранс УССР, «Укравторемонт», Горловское ПКТБ.
6. Toyota Corolla. @. Corolla Sprinter, Модели 1983-1992 гг. выпуска с бензиновыми и дизельными двигателями. Устройство, техническое обслуживание и ремонт. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 352 с.

# ТРАНСПОРТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ И ПРАВИЛА ИХ ДОСТАВКИ. ЗЕРОТОРЫ И АККУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА

О. В. Соболев, к.х.н., доцент; Д. А. Шкильнюк; Д. В. Мальцев

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В настоящее время перспективным способом безмашинного охлаждения является применение аккумуляторов холода и зероторов в авторефрижераторах при внутригородских перевозках. В аккумуляторных системах охлаждения используют теплоту плавления эвтектических растворов. В данной работе предложена методология к подбору составов смесей кристаллогидратов на основе построения и анализа равновесных и неравновесных диаграмм состояния для обеспечения кристаллизации с малыми переохлаждениями в зависимости от концентрации компонентов и термической предыстории жидкой фазы.

**Ключевые слова:** авторефрижератор, зеротор, внутригородские перевозки, кристаллогидрат, диаграмма состояния, эвтектический состав.



**Соболев**  
**Оксана Викторовна**



**Шкильнюк**  
**Давид Александрович**



**Мальцев**  
**Дмитрий Валентинович**

Применение аккумуляционного охлаждения в авторефрижераторах создает экологическую чистоту окружающей среды. За рубежом данный вид охлаждения широко используется, в частности, фирма «Carrier Transicold» (Франция) предлагает серию установок с машинно-аккумуляционным охлаждением «Vatna» для изотермических автофургонов объемом от 4 до 23 м<sup>3</sup> с температурой заморозания эвтектического раствора -32°С. Установки, предназначенные для перевозки быстрозамороженных продуктов, рассчитаны на 14 ч непрерывной работы при температуре окружающего воздуха 30°С. Мировой лидер в производстве эвтектических плит – фирма «FIT s.p.a.» из Италии предлагает серии эвтектических плит моделей EBS и EFR. Практическое использование холодоаккумулирующих материалов требует разработки надежных конструктивных решений, направленных на максимальное использование положительных качеств указанных материалов.

К скоропортящимся грузам относятся грузы, которые для обеспечения сохранности при перевозке требуют соблюдения температурного режима [1,2]. В соответствии с Правилами доставки скоропортящихся грузов автотранспортом [3], скоропортящиеся грузы подразделяются на следующие группы:

- 1) продукты растительного происхождения: фрукты, ягоды, овощи, грибы и др.;
- 2) продукты животного происхождения: мясо различных животных и птиц, рыба, икра, молоко, яйца и др.;
- 3) продукты переработки: молочные продукты, жиры различные, замороженные плоды, колбасные изделия и другие мясные продукты, сыры и т.п.;
- 4) живые растения: саженцы, цветы и др.

По способу температурной обработки скоропортящиеся грузы подразделяются на пять групп:

- 1) свежие. Такие грузы не подвергают обработке, способной изменить их естественное состояние;
- 2) охлаждённые. Грузы с температурой от  $-6$  до  $+4$  °С;
- 3) замороженные. Грузы с температурой от  $-7$  до  $-17$  °С;
- 4) глубокзамороженные. Грузы, охлаждённые до  $-18$  °С и ниже;
- 5) подогретые. Грузы с температурой выше окружающего воздуха.

Для сохранения качества скоропортящихся продуктов питания, подвергаемых охлаждению, замораживанию и глубокому замораживанию, используется так называемая «цепочка холода», представляющая собой совокупность технических средств и методов, с помощью которых продукты сохраняют свои потребительские свойства [4].

Спецификой перевозки скоропортящихся грузов рефрижераторами и «термосами» (изотермическими фургонами) является строгое соблюдение сроков доставки и температурного режима. Температурный режим транспортировки грузов устанавливается индивидуально, в соответствии с правилами перевозок скоропортящихся грузов и видом самого груза. Кроме того, перевозимые в одном автомобиле скоропортящиеся грузы должны быть совместимы друг с другом, то есть один груз не должен оказывать неблагоприятного воздействия на другой в силу своего специфического запаха, состояния и т.д.



Рис. 1. «Цепочка холода»

С целью сохранения свойств и качества скоропортящихся грузов, их перевозка осуществляется в специализированном подвижном составе — изотермических и рефрижераторных автомобилях (полуприцепах) грузоподъемностью от 1,5 до 25 тонн и объемом от 10 до 92 м<sup>3</sup>. Однако охлаждающие устройства таких транспортных средств (ТС) требуют больших энергозатрат и увеличивают издержки при перевозке. Например, большим недостатком применения фургонов, в частности изотермических и рефрижераторов, является увеличение себестоимости перевозок на 30- 133% [5].

Изотермические фургоны и рефрижераторы используются для перевозки скоропортящихся грузов, имеют тепловую изоляцию от внешней среды и оборудованы устройствами для принудительного охлаждения или приборами для подогрева и делятся на две категории по коэффициенту теплопередачи [6]:

- 1) IN - обычное изотермическое транспортное средство с коэффициентом теплопередачи, не превышающим 0,7 Вт/м<sup>2</sup>К;
- 2) IR - изотермическое транспортное средство с усиленной изоляцией с коэффициентом теплопередачи, не превышающим 0,4 Вт/м<sup>2</sup>К.

В Соглашении о международных доставках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих доставок [7], применяют понятие класс: А, В, С, D, E, F для ТС в зависимости от свойств изоляции, уровня поддерживаемой температуры и сфер деятельности, то есть назначения конкретного ТС.

1. Класс А: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет выбирать температуру внутри изотермического кузова в пределах от  $+12$ °С до  $0$ °С включительно.
2. Класс В: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет выбирать температуру внутри изотермического кузова в пределах от  $+12$ °С до  $-10$ °С включительно.
3. Класс С: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет выбирать температуру внутри изотермического кузова в пределах от  $+12$ °С до  $-20$ °С включительно.
4. Класс D: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет поддерживать температуру внутри изотермического кузова  $0$ °С.
5. Класс E: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет поддерживать температуру внутри изотермического кузова  $-10$ °С.
6. Класс F: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет поддерживать температуру внутри изотермического кузова  $-20$ °С.

Краткая характеристика классов с учетом назначения специализированного автотранспортного средства представлена в таблице 1.

Существуют различные способы охлаждения кузова. Один из них — это использование временного источника холода, т.е. устройства, использующего переход некоторых веществ (сухого льда, эвтектических растворов и сжиженных газов) из одного состояния в другое с поглощением тепла из окружающей среды. Сухой лед поддерживает низкую температуру (переход углекислоты из твердого состояния в газообразное происходит при температуре  $-78$  °С) и чистоту, однако стоимость углекислоты высокая.

Эвтектические растворы — это водные растворы минеральных или металлических солей и органических соединений (например, дихлорметан или фреон). Использование оттаивания замороженных эвтектических растворов для охлаждения производится с помощью зероторов и аккумуляторов холода (ФПХАМ).

Таблица 1.

Краткая характеристика классов с учетом назначения специализированного автотранспортного средства

Группа и класс подвижного состава	Отличительный знак	Коэффициент теплопередачи	Особенности устройства фургона	Назначение	Температурный режим
<b>Изотермические фургоны</b>					
С нормальной изоляцией кузова	IN	0,60	Кузов имеет термоизоляцию и не имеет принудительного охлаждения или подогрева	Перевозка продуктов внутри города (на коротких расстояниях) при температуре погрузки	При наружной температуре фургона +35°C разница температур снаружи и внутри не более 1°C в течение 1 ч.
С усиленной изоляцией	IR	0,35			То же, температура внутри фургона та же, что и при погрузке
<b>Фургоны-ледники</b>					
Класс А	RNA	0,60	Кузов изолирован и имеет принудительное охлаждение (водный лед, чистый или с добавлением соли, сухой лед, сжиженные газы и т.п.) без холодильной установки	Перевозка охлажденных или замороженных продуктов на небольшие расстояния	Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается при средней наружной температуре
Класс В	RRB	0,35			То же, температура в кузове -10°C
Класс С	RRC	0,35			То же, температура в кузове -20°C
<b>Фургоны-рефрижераторы</b>					
Класс А	FNA	0,60	Кузов изолирован и оборудован холодильной установкой (компрессорной, абсорбционной и т.п.)	Перевозка глубокомороженных продуктов на дальние расстояния	Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается в течение 12 ч при наружной температуре +30°C в пределах +12-0°C включительно
Класс В	FRB	0,35	Кузов изолирован и оборудован холодильной установкой (компрессорной, абсорбционной и т.п.)	Перевозка глубокомороженных продуктов на дальние расстояния	Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается в течение 12 ч при наружной температуре +30°C в пределах +12 до -10°C включительно
Класс С	FRC	0,35			Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается в течение 12 ч при наружной температуре +30°C в пределах +12 до -20°C включительно
<b>Отапливаемые фургоны</b>					
Класс А	CAN	0,60	Кузов изолирован и имеет отопительную установку	Перевозка грузов, требующих подогрева	Температура внутри незагруженного кузова поднимается, а затем поддерживается, в течение 12 ч не ниже +12 при наружной температуре -10°C
Класс В	CRB	0,35			То же, при наружной температуре -20°C

Зеротор — специальный сосуд из стали или алюминиевых сплавов с раствором, который предварительно замораживают в специальных холодильных установках, а затем помещают внутри кузова рефрижератора, где он постепенно оттаивает с поглощением тепла (т.е. охлаждением кузова). Удобство этого способа состоит в возможности неоднократного использования зероторов. Недостаток — невозможность регулировки температуры в кузове. Продолжительность действия зероторов составляет 12-15 ч. Эффективность их действия сохраняется до оттаивания 75% смеси.

В холодоаккумуляторах раствор замораживается за счёт циркуляции в змеевиках хладоносителя при подключении змеевика к стационарной либо передвижной зарядной станции или к смонтированной на автомобиле компрессорной установке с приводом от электродвигателя, подключающегося к внешней электрической сети во время стоянки.

Исследования [8] показали, что при нормальной работе холодильной установки через каждые 4 часа с момента окончания погрузки температура в кузове рефрижератора снижается на 1,6-2°C. Одной заправки



источника холода должно быть достаточно, чтобы обеспечить поддержание температуры в кузове, по крайней мере, в течение 12 часов.

Преимущества холодильных установок состоят в более точном и продолжительном обеспечении температуры внутри кузова автомобиля, а также отсутствии необходимости в подготовительных работах перед выездом автомобиля. Однако использование холодильных установок значительно повышает расход топлива подвижным составом, что делает себестоимость такой перевозки выше, чем при использовании холодоаккумуляторов.

При изучении теплофизических свойств ФПХАМ были разработаны специальные методы исследования. Это так называемый циклический термический анализ (ЦТА) и совмещенный метод ЦТА и ДТА. С помощью данного метода удалось решить одну из основных проблем ФПХАМ, а именно значительно уменьшить их склонность к переохлаждениям и взрывным кристаллизациям. Практически для всех кристаллогидратов было установлено резкое уменьшение переохлаждения в случае, если жидкая фаза прогревалась до некоторой критической величины. Таким образом, были обнаружены «критические» границы перегрева жидкой фазы  $\Delta T_k +$  относительно температуры плавления, разграничивающие последующие процессы кристаллизации от взрывной (после ощутимых переохлаждений) к квазиравновесной с незначительным переохлаждением.

При термоциклировании проявляется еще одна особенность фазовых переходов вещества, «работающего» в установленном режиме, — устойчивость равновесных фазовых переходов в результате многократного термоциклирования.

Для эффективной работы холодоаккумулирующих установок достаточно широко используются кристаллогидраты неорганических солей и их смеси [9–11]. Однако подборка смесей зачастую носит интуитивный и случайный характер без научного обоснования. В подборе оптимального состава, состоящего из нескольких кристаллогидратов, немаловажную роль играет анализ диаграмм растворимости двух или более безводных солей либо соответствующих им кристаллогидратов в воде.

Очень важным заданием в процессе поиска и разработки ФПХАМ является исследование кинетических и термодинамических закономерностей кристаллизации и плавления в двух и более компонентных системах. Исследования обобщаются и систематизируются компактным образом в виде диаграмм состояния в координатах температура  $T$  — состав  $C$  (рис. 2). Диаграмма состояния позволяет определить параметры смеси, которые наиболее подходят по тепловым свойствам к требованиям, предъявляемым к ФПХАМ: состав, температуру плавления, степень переохлаждения, энтальпии плавления и кристаллизации, а также их стойкость к многочисленному термоциклированию.

Т.е. разброс и расхождение данных различных авторов по фазообразованию кристаллогидратов связаны с тем, что в этих работах отсутствуют систематические

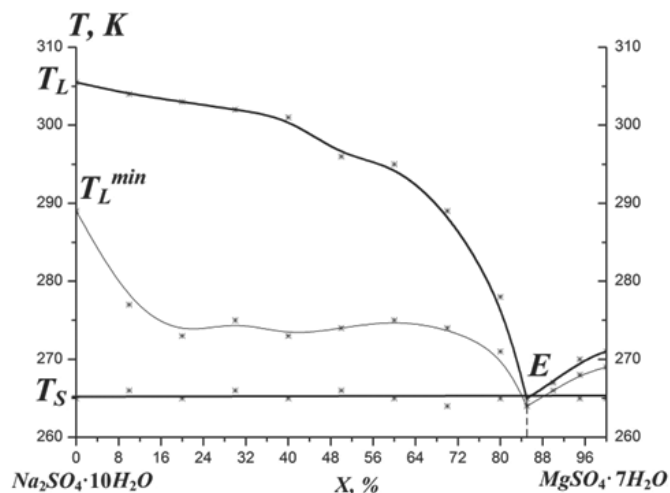


Рис. 2. Диаграмма состояния системы кристаллогидратов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  —  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

исследования влияния перегрева и других факторов на переохлаждение в широком диапазоне температур на одном и том же образце. Разные условия эксперимента, произвольно взятые перегревы, скорости кристаллизации, времена перекристаллизации, неконтролируемая предыстория, разрозненные примеси и т.д. не позволяют использовать имеющиеся сведения для удовлетворительного представления о механизмах и кинетике кристаллизации данных веществ.

Таким образом, очевидно, что кристаллогидраты солей вообще и солей натрия в частности весьма активно используются для создания ФПХАМ. Однако многочисленные проблемы, связанные с изменением характеристик кристаллогидратов при длительной эксплуатации заставляют либо искать различные добавки, либо создавать сложные системы кристаллогидратов для уменьшения негативных эффектов и получения заданных рабочих диапазонов. На фоне очевидных недостатков самостоятельных кристаллогидратов их эвтектические смеси выгодно отличаются низкими значениями переохлаждений и высокой устойчивостью к длительному термоциклированию. Более того, меняя компоненты эвтектических смесей, можно варьировать рабочую температуру в очень широком диапазоне. Разумеется, энтальпия плавления менее варьировуема и зависит не только от парциальных энтальпий смеси. И хотя энтальпия эвтектики всегда меньше энтальпий каждого из компонентов, она всегда значительна, а вкупе с низкой переохлаждаемостью и высокой стабильностью является оптимальным выбором для создания ФПХАМ.

На основании исследований некоторых бинарных систем кристаллогидратов солей натрия удалось получить составы, которые можно использовать в качестве аккумуляторов холода. Наиболее низкие температуры фазового перехода и наименьшие переохлаждения продемонстрировали эвтектические смеси кристаллогидратов (табл. 2).

Такие смеси весьма устойчивы к длительному термоциклированию, что делает их хорошим выбором для построения пассивных аккумуляторов холода.

Таблица 2.

Теплофизические характеристики некоторых эвтектических составов ФПХАМ

№	Эвтектика	Тэ, °С	ΔТ, °С	ΔН <sub>1</sub> , кДж/кг
1	52,2% H <sub>2</sub> O + 47,8% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	-15,0	1-2	273
2	90% H <sub>2</sub> O + 10% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	-1,2	2	328
3	60% H <sub>2</sub> O + 40% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-5,0	1	270
4	60% H <sub>2</sub> O + 40% Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O	-18,0	1	310
5	78% H <sub>2</sub> O + 22% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	-3,0	1	315
6	40% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O + 60% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	-15	1-2	223
7	50% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O + 50% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-8,0	0	215
8	45% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O + 55% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-17,0	2	193
9	47% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O + 53% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	-1,0	2	251
10	50% Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O + 50% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	19	1	256
11	50% Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O + 50% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	19	1	261

## ВЫВОД

Согласно обзору литературы и на основании проведенных исследований, для аккумуляции холода, необходимого для транспортировки скоропортящихся продуктов, хорошим выбором являются кристаллогидраты солей натрия с добавками, предотвращающими или снижающими предкристаллизационные переохлаждения. Применение многокомпонентных систем обеспечивает определенное преимущество перед однокомпонентными ФПХАМ. Это в первую очередь, возможность выбора рабочей температуры аккумулятора холода и количества запасаемой тепловой энергии, а также высокая стабильность при длительном термоциклировании.

То, для создания надежных ФПХАМ необходим научный подход к построению и анализу равновесных и неравновесных диаграмм состояния, а также к изучению термодинамики и кинетики фазовых превращений как индивидуальных веществ, так и их смесей.

## Список литературы

- Захаров Н.С. Методика формирования парка грузовых автомобилей автотранспортного предприятия в зависимости от назначения и технико-эксплуатационных показателей транспортных средств / Н.С. Захаров, В.А. Ракитин // Инженерный вестник Дона. — 2015. — Т. 37, вып. 3. — С. 174-188.
- Майборода М.Е. Грузовые автомобильные перевозки: учебное пособие / М.Е. Майборода, В.В. Беднарский. — Изд. 2-е. — Ростов на Дону: Феникс, 2008. — 442 с.
- Правила доставки скоропортящихся грузов автомобильным транспортом (ст. 35, 66, 67, 72 Устава автомобильного транспорта РСФСР) Утверждены Минавотрансом РСФСР 25.10.74 по согласованию с Госпланом РСФСР и Госарбитражем РСФСР.
- Ханин Д. М. Технология мелкоконтейнерной доставки скоропортящихся грузов: диссертация ... кандидата технических наук / Ханин Дмитрий Михайлович [Место защиты Волгоградский гос. тех. университет] — Волгоград, 2017, 182 с.
- Еськова И. А. Система управления параметрами перевозки скоропортящихся продуктов в условиях мегаполиса / И. А. Еськова // Логистика. — 2012. — № 6. — С. 16-18.
- Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса: учеб.-метод. пособие / сост.: Е.Р. Нургалеев, М.С. Турпищева; Касп. инст. мор. и речн. тр. филиал ФГОУ ВПО «ВГАВТ». — Астрахань, 2013. — 136 с.
- Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 г. N 272 «Об утверждении Правил доставки грузов автомобильным транспортом». Приказ Минтранса РФ от 27.04.2002 г. № 56 «Об организации контроля и освидетельствования специальных транспортных средств, предназначенных для международных доставок скоропортящихся пищевых продуктов, на соответствие требованиям «Соглашения о международных доставках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих доставок».
- Сидоров С.А. Приспособленность автомобилей-рефрижераторов к перевозке скоропортящихся грузов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.10 / Сидоров Сергей Александрович; [Место защиты: Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т]. — Тюмень, 2011. — 145 с.
- Александров В.Д., Соболев О.В., Савенков Н.В. Исследование предкристаллизационных переохлаждений в системе вода — пентагидрат тиосульфата натрия [Текст] / В.Д. Александров, О.В. Соболев, Н.В. Савенков // Физика и химия твердого тела, Ивано-Франковск. 2007. — Т.8. — С. 771-775.
- Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред [Текст] / В.Д. Александров. Издательство «Донбасс». Донецк. 2011. — Т. I, 590 с.
- Александров В.Д. и др. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред Ч.2. [Текст] / В.Д. Александров и др. Издательство «Донбасс». Донецк. 2018. — Т. 2, 480 с.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ ВЫЕМОК С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНКАМИ ОДНОКОВШОВЫМ ЭКСКАВАТОРОМ

Д. Г. Белицкий, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** На сегодняшний день наиболее распространенным видом рабочего оборудования экскаватора является обратная лопата. Существует множество видов земляных работ, на которых необходимо разрабатывать выемки с вертикальными стенками. В статье представлен сравнительный анализ технологических схем работы экскаватора при копании колодца рабочим оборудованием обратная лопата и грейфер. Описаны преимущества применения грейфера. Дано сравнение объема извлекаемого грунта в зависимости от требуемой глубины выемки. Представлен анализ работы затрачиваемой на извлечение этого объема грунта. Просчитаны параметры удельной энергоемкости процесса выемки грунта при использовании рабочего оборудования обратная лопата и грейфер.

**Ключевые слова:** обратная лопата, грейфер, колодец, объем, работа, энергоемкость.



Белицкий  
Дмитрий Григорьевич

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Постоянно растущее строительно-ремонтное производство для мелкого и среднего бизнеса (строительство мини-заводов, заправочных станций и магазинов) характеризуется значительными объемами мелких и рассредоточенных работ. В этих условиях повышенным спросом пользуются мобильные машины с энергосберегающими рабочими органами. Для жилищно-коммунального хозяйства характерным видом земляных работ является отрывка выемок с вертикальными стенками (для проведения ремонта подземных коммуникаций, установки бетонных колец ревизионных колодцев и т.п.).

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Самой распространенной землеройной машиной является одноковшовый экскаватор, оборудованный обратной лопатой [1, 2]. Из всей гаммы рабочих органов землеройных машин для условий ограниченного пространства, на малообъемных объектах (колодцах, котлованах, траншеях любой сложности) наиболее эффективно применение грейферных рабочих органов [3, 4]. В исследованиях [4, 5] показана возможность эффективного применения экскаваторов с грейферными рабочими органами для выполнения земляных работ.

**Цель статьи** – обоснование целесообразности и энергоэффективности применения грейферного рабочего оборудования при разработке выемок с вертикальными стенками.

Применение грейферного оборудования при разработке выемок с вертикальными стенками (рис. 1) позволяет:

- ускорить рабочий процесс за счет разработки выемки требуемой конфигурации и исключения времени, затрачиваемого для выполнения лишних дополнительных объемов работ;
- уменьшить лишние объемы грунта извлекаемого оборудованием обратная лопата (рис. 2);
- снизить объем выемки, требующий обратной засыпки.

При разработке грунта ковш обратной лопаты движется по дуге, длина которой увеличивается пропорционально глубине выемки. Это сказывается на росте затрачиваемой работы.

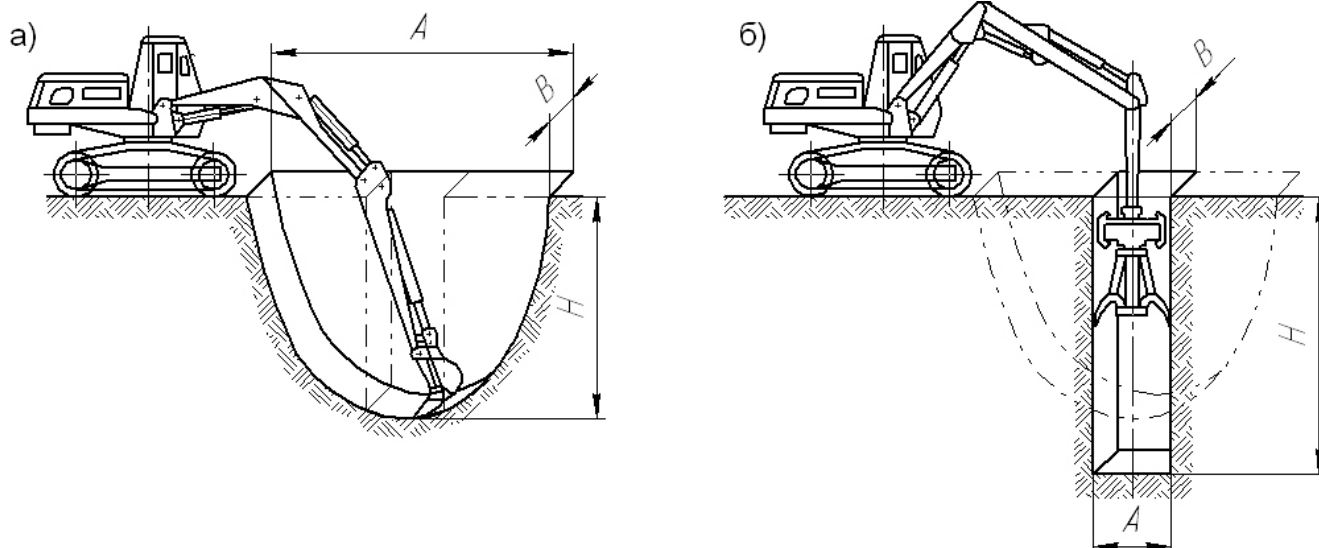
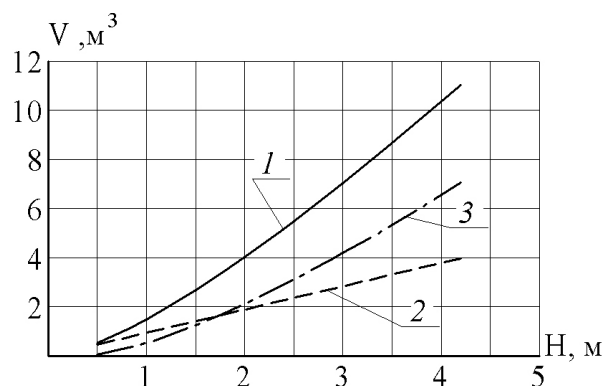


Рис. 1. Технологические схемы копания грунта экскаватором: а – оборудованным обратной лопатой, б – оборудованным грейфером

$H$  – глубина выемки;  $B$  – ширина выемки;  $A$  – длина выемки (для грейфера ширина раскрытия челюстей грейфера)



— 1 - при работе обратной лопатой ( $V_{об}$ );  
 ---- 2 - при работе грейфером ( $V_{гр}$ );  
 - · - 3 - разница объемов ( $V_{об} - V_{гр}$ )

Рис. 2. Зависимость объемов извлекаемого грунта от глубины выемки (при требуемой ширине  $B = 0,6$  м, длине  $A = 1,58$  м)

Работа, затрачиваемая на процесс копания, определяется по формуле:

$$A_K = \int_1 P_{01} dl, \quad (1)$$

где  $P_{01}$  – сопротивление грунта копанию;  
 $l$  – длина дуги траектории копания.

Условно приняв сопротивления грунта копанию кошкой обратной лопаты равным сопротивлению копания грейфером ( $P_{01} = 12$  кН), построим график зависимости затрачиваемой работы на разработку, в зависимости от глубины яруса проведения работ (рис. 3). Значение длины кривой траектории копания в зависимости от глубины выемки определим графически с использованием программного обеспечения «Компас-график».

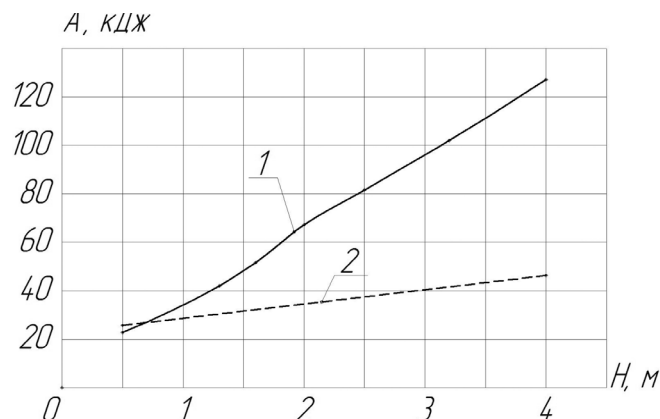


Рис. 3. Изменение затрат работы по разработке грунта в зависимости от глубины яруса копания: 1 – при работе обратной лопатой; 2 – при работе грейфером

В то же время работа по выемке грунта грейфером (АГР) с аналогичной глубины будет состоять из суммы работ, затраченных на копание грунта и его подъем с глубины:

$$A_{ГР} = A_K^{ГР} + A_{П}, \quad (2)$$

где  $A_K^{ГР}$  – работа, затрачиваемая на копание грунта челюстями грейфера;

$A_{П}$ , – работа, затрачиваемая на подъем разработанного грунта со дна выемки.

Для сравнительного анализа условно принимаем:

$$A_{П} = \int_H G_r dH, \quad (3)$$

где  $G_r$  – вес грунта в ковше грейфера;

$H$  – глубина выемки грунта.

При разработке грунта с целью образования выемок с вертикальными стенками (выемок под монолитные



сваи, опоры электропередач и других инженерных сооружений) эффективную энергоёмкость можно оценить как отношение затраченной работы к полезному объёму извлеченного грунта (объём колодца). Затраты энергии на  $1 \text{ м}^3$  извлеченного полезного объёма грунта (рис. 4) определим по формуле:

$$E_{\Pi} = \frac{\sum A_{ki}}{B \cdot L \cdot H}, \quad (4)$$

где  $A_{ki}$  — работа, затрачиваемая на  $i$ -тое копание;  
 $i$  — количество копаний, требуемое для достижения заданной глубины выемки;

$B$ ,  $L$  и  $H$  — соответственно длина, ширина и глубина выкапываемого колодца.

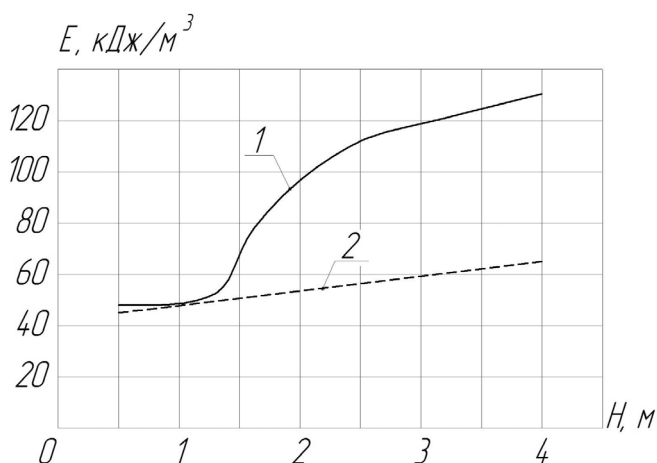


Рис. 4. Затраты энергии на  $1 \text{ м}^3$  извлеченного полезного объема грунта в зависимости от глубины колодца:  
 1 — при работе обратной лопатой;  
 2 — при работе грейфером

Зависимости рис. 4 наглядно представляют очевидность энергетической эффективности применения грейферного оборудования, особенно при разработке выемок с вертикальными стенками (колодцев) глубиной более 1,3 м. Это объясняется тем, что грейферное рабочее оборудование позволяет делать выемку грунта в наиболее полном соответствии с требуемой конфигурацией колодца.

## ВЫВОДЫ

1. При разработке глубоких выемок с вертикальными стенками (колодцы, проходка шахт при строительстве инженерных коммуникаций и т. п.), разработке грунта в стесненных условиях (вблизи стен зданий, внутри цехов при реконструкции предприятий, ремонте подземных коммунальных сетей и т. п.) применение грейферного оборудования оказывается наиболее эффективным и целесообразным по сравнению с другими сменными видами рабочего оборудования.

2. При более детальном рассмотрении энергоёмкости процессов разработки выемок с вертикальными стенками следует учесть параметры мощности базовых машин и конструктивные особенности грейферных ковшей и физико-механические свойства грунтов.

## Список литературы

1. Королев А.В. Использование универсальных гидравлических экскаваторов при реконструкции и ремонте жилых зданий / А.В. Королев, М.В. Королева // Механизация строительства. — 2001. — № 5. — С. 2-3.
2. Павлов В.П. Машины для земляных работ: синтез технологий, проектирование, эффективность: Монография / Павлов В.П., Пенчук В.А. - Краснояр.: СФУ, 2016. - 328 с.
3. Чадин С.В., Никешин В.В. Грейферное оборудование зарубежных гидравлических экскаваторов. М., ЦНИИСтройдормаш, 1986. — 47 с.
4. Пенчук В.А. Особенности рабочих процессов грейферного оборудования / Пенчук В.А., Белицкий Д.Г. // Механизация строительства. — 2006. — № 2. — С. 9-12.
5. Пенчук В.А. Технологические аспекты производства земляных работ специальными грейферами / Пенчук В.А., Белицкий Д.Г., Голубов И.В. // ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2014: материалы Международной научно-технической конференции, 9-11 сентября 2014 г., Россия, Самара, - Самара: Изд-во СамГАСУ, 2014. — С.150-151.

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГ И ТРОТУАРОВ

В. А. Пенчук, д.т.н., профессор; А. К. Кралин, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В работе рассматриваются технологии и средства для приготовления противогололедных комбинированных смесей и их распределение по поверхности дорог общего пользования и пешеходных зон. Приводится сравнительный анализ процессов как составных частей представленных технологий, позволяющий производить подбор комплектов машин, участвующих в технологических процессах приготовления и распределения противогололедных материалов (ПГМ). Рассмотрены критерии оптимизации состава и структуры комплектов машин для предварительного приготовления и распределения противогололедных смесей и эффективность технологий распределения смесей с использованием транспортных средств с вращающимся конусообразным кузовом. Представлена примерная реализация машины с вращающимся конусообразным кузовом, дооборудованная дополнительными узлами, применяемыми на машинах для зимнего содержания дорог. Выполнен предварительный расчет для определения энергетических затрат, связанных с процессами распределения противогололедного материала по поверхности дороги по рассматриваемым технологиям.

**Ключевые слова:** технология, распределение, противогололедный материал, компоненты противогололедной смеси, дорога общего пользования, распределитель дисковый, скребковый транспортер, смесительный барабан, накопительный бункер, конусообразный кузов, критерий оптимизации, энергетические затраты.



**Пенчук**  
Валентин Алексеевич



**Кралин**  
Андрей Константинович

Основными параметрами любой технологии являются производительность, энергоемкость и металлоемкость, определение которых являются определяющими на стадии разработки машин и механизмов для ее реализации.

В данной работе рассматриваются и сравниваются две технологии приготовления и распределения противогололедной смеси на поверхности дорог общего пользования, пешеходных дорожек и тротуаров.

Первая традиционная схема представлена на рис. 1, где первоначально исходный материал доставляется на склады компонентов смеси, затем он поступает в смесительный барабан для тщательного перемешивания, далее через накопительный бункер. Приготовленная противогололедная смесь поступает в специальную машину – распределитель материалов. Конструкция распределителя представляет собой бункер длиной равной длине шасси автомобиля со скошенными боковыми стенками. В нижней части бункера располагается пластинчатый или скребковый транспортер [1, 2]. Конструктивная схема типового распределителя материалов показана на рис. 2.

Конструкция рассмотренного распределителя выпускается многими производителями стран СНГ, техническая характеристика некоторых из них представлена в таблице 1 [3].

По второй технологической схеме предполагается, что материалы накапливаются на складах аналогично первой схеме, а затем через накопительный бункер без перемешивания направляется в барабан, который является одновременно емкостью для перемешивания, хранения и выгрузки перемешанных компонентов противогололедной смеси на распределяющее устройство. На рисунке 3 представлена новая технологическая схема приготовления противогололедных материалов.

Визуальное сопоставление представленных технологий приготовления и распределения ПГМ по поверхностям дорог имеет общие и отличные друг от друга технологические операции, которые выполняются в определенной последовательности. Блок-схемы технологий приготовления и распределения материалов представлены на рис. 4.

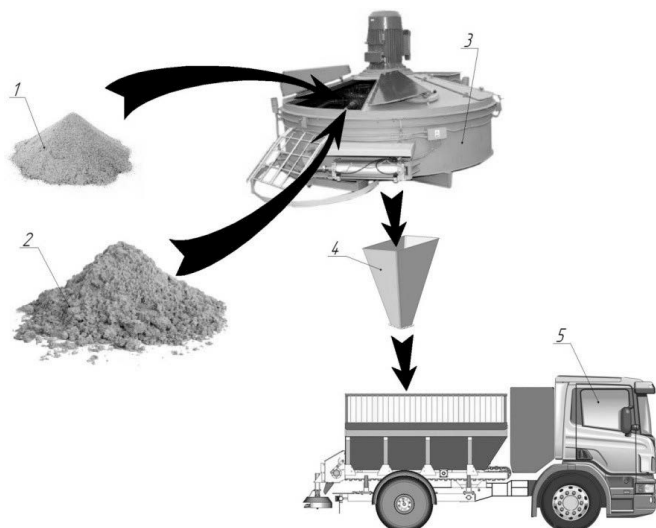


Рис. 1. Традиционная технологическая схема приготовления и загрузки противогололедных материалов:

- 1, 2 – склады компонентов противогололедного материала (песок, шлак,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  и т.п.);  
3 – смесительный барабан; 4 – накопительный бункер;  
5 – распределитель противогололедных материалов

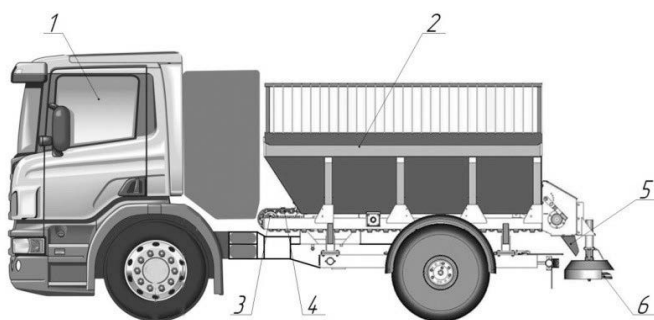


Рис. 2. Конструктивная схема типового распределителя противогололедных материалов:

- 1 – базовое шасси; 2 – бункер с решетчатым верхом;  
3 – привод пластинчатого конвейера;  
4 – пластинчатый конвейер; 5 – направляющий лоток;  
6 – распределитель дисковый

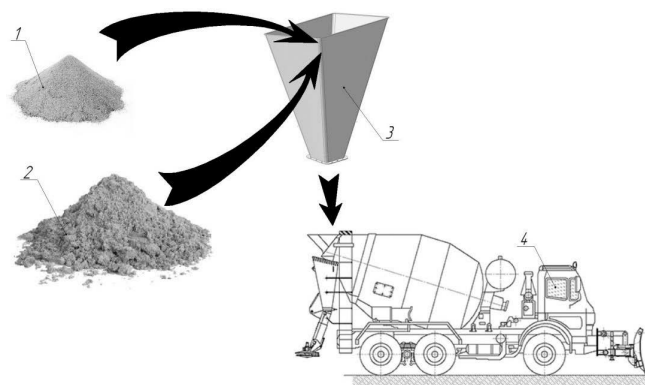


Рис. 3. Новая технологическая схема приготовления противогололедных материалов:

- 1, 2 – склады компонентов противогололедного материала (песок, шлак,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  и т.п.);  
3 – накопительный бункер; 4 – распределитель противогололедных материалов

Как видно из сказанного выше, для реализации достаточно сложных технологических процессов требуется применение не одной, а целого ряда машин и оборудования, взаимодействующих и взаимосвязанных друг с другом.

Все это требует системного подхода к проблемам проектирования, производства и эксплуатации машин для зимнего содержания дорог с учетом возможности их эффективного использования в другие периоды года.

Основные схемы комплексов машин, обеспечивающих зимнее содержание дорог, могут быть трех видов: последовательными, параллельными и комбинированными. Можно сделать допущение, что во всех схемах процессы доставки ( $D_1$  и  $D_2$ ) и хранения ( $X_1$  и  $X_2$ ) одинаковы как по стоимости оборудования, так и по трудозатратам и энергоэффективности. Различия начинаются в процессах подготовки противогололедных смесей. Для традиционной технологии характерно наличие одного узла перемешивания компонентов противогололедных смесей, например, песчано-соляной смеси (ПСС), который обслуживает  $n$ -количество машин для распределения противогололедных материалов.

Таблица 1.

Техническая характеристика распределителей противогололедных материалов

Марка	МДКЗ-10	МДКЗ-11	МДКЗ-20	МДКЗ-30
Базовое шасси	МАЗ	МАЗ	КАМАЗ	КрАЗ
Вместимость кузова, $\text{м}^3$	6,0	9,0	6,8	7,2
Ширина рабочей зоны, м – по посыпке – по снегоочистке	3-12 2,7-3,0	3-12 2,7-3,0	3-12 2,7-3,0	3-12 2,7-3,0
Средняя плотность посыпки, $\text{кг}/\text{м}^2$	0,05-0,4	0,05-0,4	0,05-0,4	0,05-0,4
Вместимость баков для соляного раствора, л	2400	3200	2400	3200
Длина, мм	9800	11500	12200	8900
Ширина, мм	2900	2900	3500	2900
Высота, мм	3200	3200	3200	3400

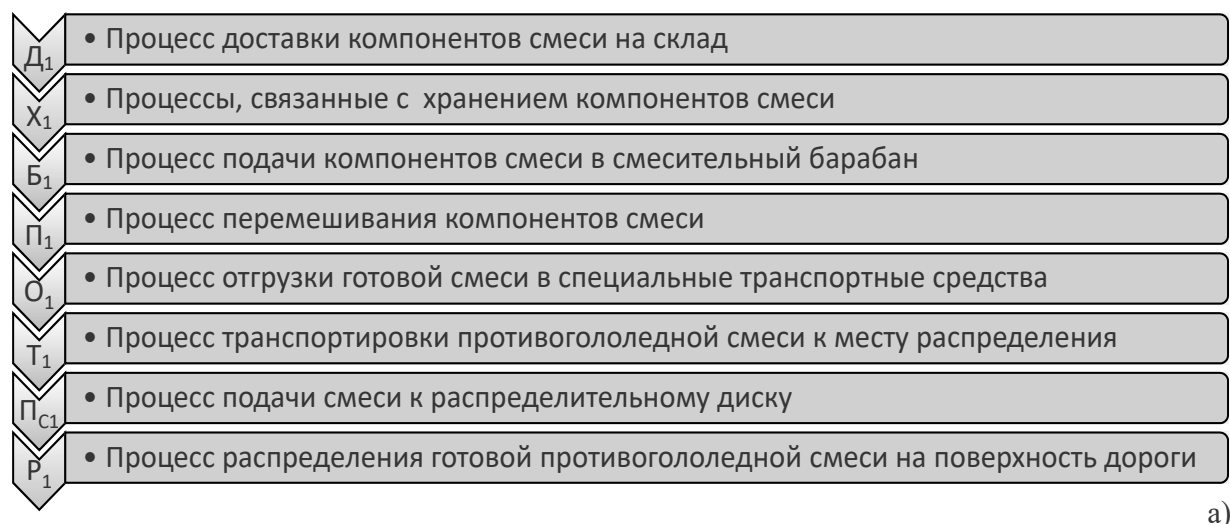


Рис. 4. Блок-схемы сопоставляемых технологий приготовления и распределения ПГМ:

а – традиционная технология, б – новая технология

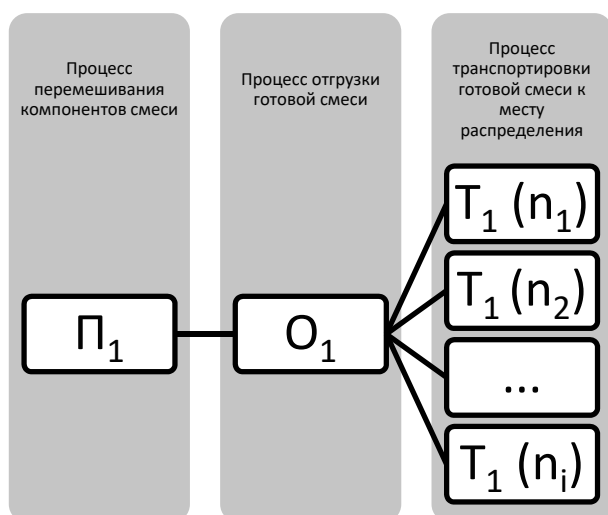


Рис. 5. Перемешивание компонентов смеси и подача готового материала по n-количеству распределителей противогололедных материалов по традиционной технологии

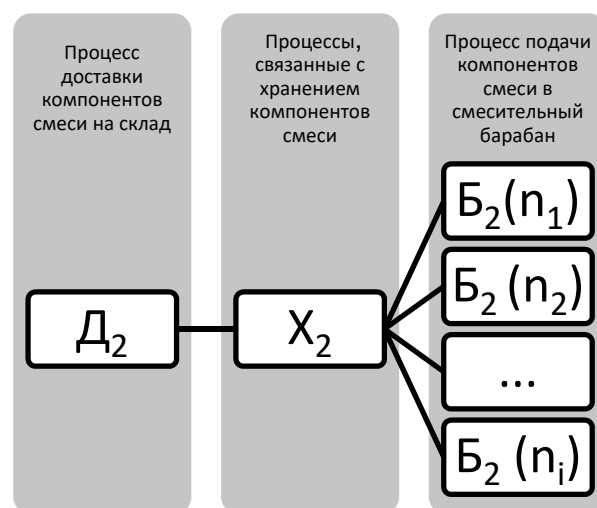


Рис. 6. Перемешивание компонентов смеси и их транспортировка по n-количеству распределителей противогололедных материалов по новой технологии



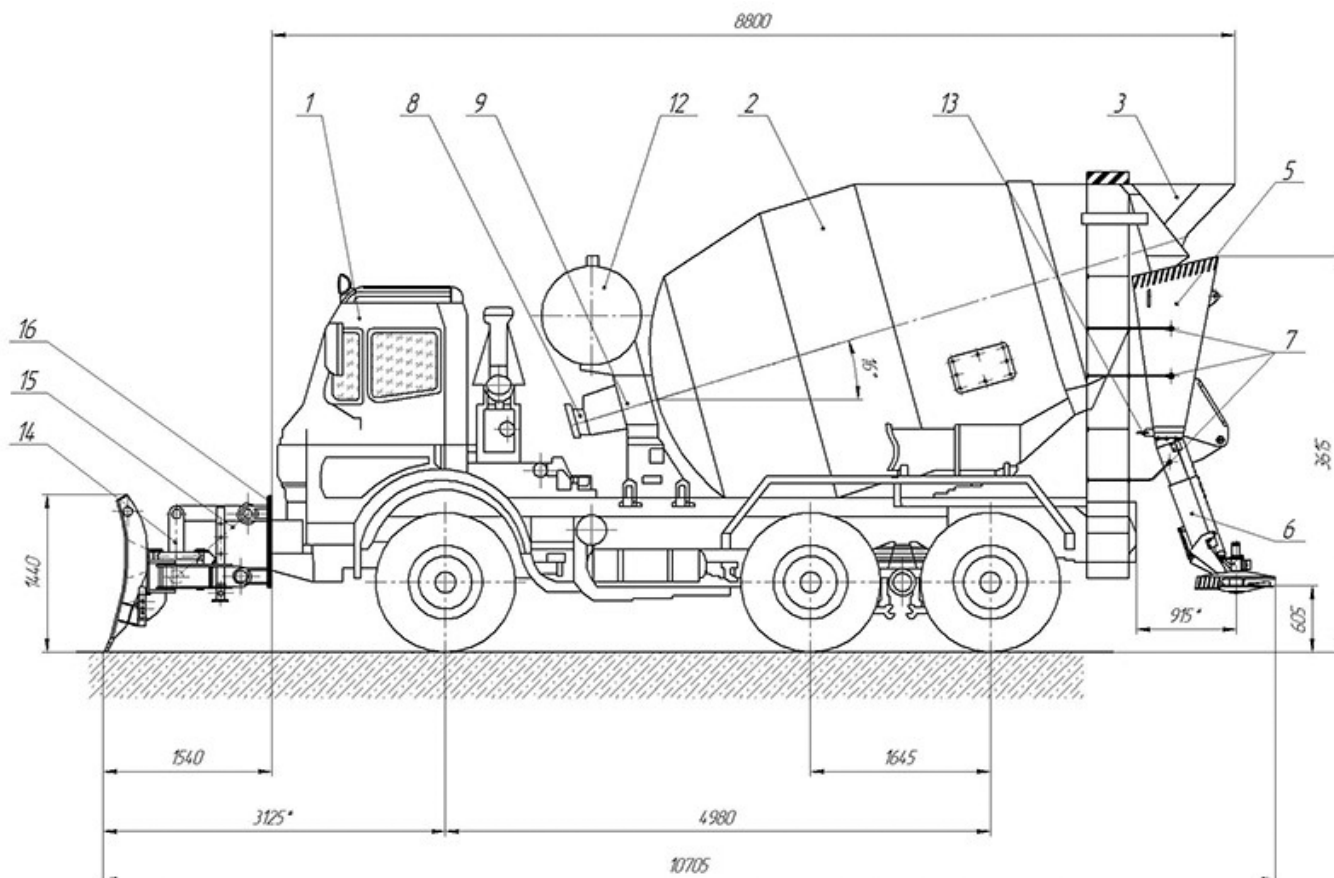


Рис. 7. Примерная реализация дооборудованного автобетоносмесителя:

1 – базовая машина; 2 – смесительная установка; 3 – устройство загрузочное; 4 – плита для дополнительного оборудования; 5 – снегоочиститель; 6 – бункер приемный; 7 – распределитель противогололедных материалов

В качестве критерия оптимизации состава и структуры комплектов машин для предварительного приготовления противогололедных смесей чаще всего используется критерий общих приведенных затрат [4]:

$$C_{пр.общ} = C_{пр}^B + C_{пр}^П + C_{пр}^P \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_{пр}^B$  – приведенные затраты на процессы подачи компонентов смеси в смесительные барабаны;  $C_{пр}^П$  – приведенные затраты на процессы перемешивания компонентов противогололедной смеси;  $C_{пр}^P$  – приведенные затраты на процессы распределения противогололедных материалов на поверхности дороги.

Данный критерий наиболее целесообразно применять в тех случаях, когда известны объемы и виды работ по зимнему содержанию дорог.

Для конкретного выбора оборудования подачи, перемешивания и загрузки готовой противогололедной смеси в бункеры (емкости) машин для их распределения на поверхности дороги, когда необходимо предусмотреть дополнительные капитальные вложения на указанный узел, используют критерий удельных приведенных затрат:

$$C_{уд.пр} = \frac{C_{пр}^B + C_{пр}^П + C_{пр}^P}{\Pi_{см}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\Pi_{см}$  – сменная производительность узла подготовки противогололедной смеси.

Указанный анализ позволит согласовать по мощности и производительности комплект оборудования для предварительной подготовки смеси.

В новой технологии затраты на создание узла перемешивания компонентов противогололедной смеси вообще может отсутствовать, что заранее является ее плюсом. Важнее другой фактор предлагаемой технологии – это энергозатраты, связанные с конечным процессом, – распределение противогололедной смеси по поверхности дороги.

На рис. 7 изображен автобетоносмеситель, дооборудованный снегоочистителем 5, приемным бункером 6 и распределителем противогололедного материала 7.

При условии, что дополнительное оборудование будет иметь возможность оснащаться креплениями, обеспечивающими быстрый монтаж (демонтаж) оборудования с существующими элементами конструкции автобетоносмесителя, это существенно уменьшит время реагирования на прогнозируемые или уже сложившиеся погодные условия.

По традиционной технологии противогололедная смесь загружается в бункер, в нижней части которого расположен скребковый питатель, который доставляет

смесь к бункеру и через направляющий лоток к распределительному диску.

Особенностями работы таких механизмов являются трение противогололедной смеси о боковые стенки кузова и большое значение погонной нагрузки. Такая нагрузка значительно превышает значение, чем в обычных машинах непрерывного транспорта, которая достигает 1000 кг/м и более [5, 6]. В связи с этим несущие элементы конструкций таких механизмов выполняются значительно массивнее, что увеличивает значение удельной нагрузки от собственного веса, например, настила пластинчатого или скребкового транспортера со всеми тяговыми и ходовыми элементами.

При определении затрат энергии, необходимой для работы оборудования распределителя, необходимо учитывать расход энергии на привод механизмов подачи материала из кузова машины к распределяющему диску и механизмов привода самого диска. На материал,двигающийся с помощью скребков, давит слой материала, находящийся над ним в бункере, в виде сдерживающего усилия, вызываемого трением неподвижного и сдвигающегося слоев материала. При эксплуатации зачастую распределители, заполненные противогололедным материалом, остаются на дежурстве на период, в течение которого возможно смерзание материала, поэтому привод транспортера необходимо проверять на этот наиболее тяжелый режим эксплуатации.

По предлагаемой технологии компоненты противогололедной смеси в определенных пропорциях загружаются в накопительный бункер, затем в смесительный барабан транспортного средства.

При определении затрат энергии, необходимой для работы смесительного оборудования, необходимо учитывать расход энергии на перемешивание компонентов противогололедной смеси в барабане, на преодоление сопротивления трения качения барабана по роликам и трения скольжения в упорном сферическом подшипнике.

Затраты энергии, связанные с приводом распределительного диска, будем считать одинаковыми и при выполнении предварительного расчета затрат энергии и сравнении результатов не учитывать.

Для определения энергозатрат, связанных с процессами распределения противогололедного материала по поверхности дороги по рассматриваемым технологиям, был принят следующий массив исходных данных: 1. Противогололедный материал (ПГМ) – комбинированный (песчано-солевая смесь (ПСС)); 2. Плотность ПСС  $\rho_{\text{псс}}$  кг/м<sup>3</sup>; 3. Объем распределяемого ПГМ – 6,1 м<sup>3</sup>; 4. Общая длина скребкового транспортера от 2,3 до 2,8 м, принимаем  $L_{\text{ск}} = 2,65$  м; 5. Шаг расположения скребков от 0,18...0,3 м; 6. Ширину скребка и его высоту принимаем согласно техническим характеристикам распределителей ПГМ, габаритные размеры которых определяются следующими диапазонами: ширина скребка  $b = 0,5...0,65$  м; высота скребка  $h_{\text{скр}} = 0,55...0,65$  м; 7. Скорость конвейера изменяется в зависимости от требуемой производительности распределителя и

плотности засыпки ПГМ и равна  $v_k = 0,3...0,45$  м/с; 8. Значение коэффициента полезного действия передачи от двигателя к транспортеру и смесительному барабану  $\eta = 0,84...0,88$ ; 9. Масса смесительного барабана автобетоносмесителя 2800...3100 кг; 10. Частота вращения смесительного барабана автобетоносмесителя  $n_{\text{бар}} = 0...16$  об/мин.

Сила сопротивления движению цепи (Н) распределителя ПГМ, применяемого в традиционной технологии, определяется по следующей зависимости [5]:

$$W = n_{\text{скр}} b h_{\text{скр}} k_{\text{см}}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{скр}}$  – количество скребков верхней ветви транспортера;  $b$  – ширина скребка, м;  $h_{\text{скр}}$  – высота скребка, м;  $k_{\text{см}}$  – предел прочности смерзшегося материала при сдвиге, Па.

Тогда мощность, необходимая для работы транспортера, кВт [5]:

$$N = \frac{W v_k}{1000 \eta}, \quad (4)$$

где  $v_k$  – скорость транспортера, м/с;  $\eta$  – коэффициент полезного действия передачи от двигателя к транспортеру.

В результате расчетов силы сопротивления движению цепи скребкового транспортера и мощности, необходимой для его работы, были получены следующие значения:  $W = 1,188 \times 10^5$  Н,  $N = 52/493$  кВт.

Для определения энергозатрат, необходимых для работы смесительного оборудования, определяем расход энергии на перемешивание компонентов противогололедной смеси в барабане [7, 8]. Для этого определяем момент сопротивления перемешиванию компонентов противогололедной смеси, Нхм:

$$M_{\text{П}} = G_2 y_2 \sin(\varphi), \quad (5)$$

где  $G_2$  – общий вес ПСС в барабане, Н;  $y_2$  – расстояние от оси вращения барабана до центра тяжести сегмента ПСС;  $\varphi$  – угол естественного откоса ПСС.

Тогда мощность, необходимая для перемешивания компонентов противогололедной смеси, Вт:

$$N_{\text{П}} = M_{\text{П}} \times \omega, \quad (6)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения барабана, рад/с.

Определяем усилие, с которым действует барабан с противогололедной смесью на опорные ролики при статическом положении смеси в барабане, Н:

$$T = \frac{G_1 + G_2}{2 \cos(\beta)}, \quad (7)$$

где  $G_1$  – вес всего барабана без противогололедной смеси, Н;  $\beta$  – угол установки роликов, град ( $\beta \approx 30^\circ$ ).

Сопротивление вращению барабана, обусловленное силами трения, Н:

$$W_o = 2T \left( \frac{2f}{D} + \frac{\mu d}{D} \right), \quad (8)$$

где  $f = 0,0008$  м — коэффициент трения качения бандажа барабана по роликам;  $\mu = 0,1$  — коэффициент трения скольжения в цапфах роликов;  $d$  — диаметр роликов, м;  $d_{\Pi}$  — диаметр цапф, м.

Тогда мощность, Вт:

$$N_T = W_o R \omega, \quad (9)$$

где  $R$  — радиус смесительного барабана, м.

Определяем мощность, затраченную на преодоление трения скольжения в упорном сферическом подшипнике, Вт:

$$N_{СП} = \frac{(T_R + T_A) \mu \times d_{\Pi}}{2\omega}, \quad (10)$$

где  $T_R$  — радиальная составляющая нагрузки на упорный сферический подшипник, Н;  $T_A$  — осевая составляющая нагрузки на упорный сферический подшипник, Н;  $d_{\Pi}$  — диаметр упорного сферического подшипника, м.

Суммарная расчетная мощность привода вращения барабана, кВт:

$$N = \frac{N_{\Pi} + N_T + N_{СП}}{1000\eta}. \quad (11)$$

В результате расчета получены следующие параметры:  $M_{\Pi} = 32370$  Нм;  $N_{\Pi} = 33900$  Вт;  $T = 68720$  Н;  $W_o = 3628$  Н;  $N_T = 3990$  Вт;  $N_{СП} = 651, 727$  Вт;  $N = 44, 811$  кВт.

Рассматривая предложенные технологии распределения противогололедных материалов и применяемое оборудование, которые участвуют в технологических линиях, а также технику, а именно специфику ее, можно сделать следующие выводы:

1. Процессы доставки компонентов противогололедной смеси на склад ( $D_1$  и  $D_2$ ), процессы, связанные с хранением этих компонентов ( $X_1$  и  $X_2$ ), и процесс подачи компонентов в смесительный барабан ( $B_1$  и  $B_2$ ) можно считать общими.

2. Процесс подачи компонентов противогололедной смеси в смесительный барабан ( $B_1$ ) по традиционной технологии осуществляется в общий технологический узел, который готовит противогололедную смесь с дальнейшей выгрузкой смеси в накопительный бункер, а в новой технологии такой узел отсутствует, и процесс подачи компонентов смеси ( $B_2$ ) выполняется в смесительный барабан отдельно взятой машины.

3. Процесс отгрузки готовой противогололедной смеси ( $O_1$ ) является неотъемлемой частью традиционной технологии приготовления противогололедной смеси, в новой технологии такой процесс отсутствует, так как смесь готовится в смесительном барабане отдельно взятой единицы техники и выгружается сразу на распределительный диск.

4. Применение смесительного барабана в отдельно взятой единице техники в новой технологии позволяет объединить два технологических процесса, а именно процессы перемешивания компонентов смеси ( $P_2$ ) и транспортировки готовой смеси к месту распределения ( $T_2$ ). Это позволяет сократить общее число технологических процессов новой технологии, связанной с распределением противогололедных материалов.

5. Предварительный расчет энергетических затрат, связанных с распределением противогололедных материалов, показал приблизительное снижение последних на 15% в пользу новой технологии.

### Список литературы

1. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет [Текст] / Н.Я. Хархута, М.И. Капустин, В.П. Семенов [и др.]. — Л.: Машиностроение, 1976. — 472 с.
2. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах [Текст] / Б.В. Бялобжеский, М.М. Дербенева, В.И. Мазепова [и др.]. — М.: Транспорт, 1976. — 109 с.
3. Будівельна шляхова техніка, ТОВ «Будшляхмаш» [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bshm.com.ua>
4. Пенчук В.А. Проблемы эффективной эксплуатации строительно-дорожных машин сезонного применения [Текст] / В.А. Пенчук, А.К. Кралин, А.В. Диденко // Материалы международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2015». 2015, — С. 156-160.
5. Машины для городского хозяйства [Текст] / Г.Л. Карaban, В.И. Баловнев, И.А. Засов [и др.]. — М.: Машиностроение, 1988. — 272 с.
6. Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование [Текст] / Учеб. пособие для вузов. — М.: Архитектура—С. 2005. — 344 с.
7. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. Расчетно-практические упражнения и курсовое проектирование [Текст] / М.К. Морозов. — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982. — 96 с.
8. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона [Текст] / М.К. Морозов. — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. — 311 с.

# ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СБОРА И СОРТИРОВКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

**В.А. Пенчук, д.т.н., профессор; В.М. Даценко, к.т.н., доцент; Б.Е. Павлюк, А.А. Кравченко**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В работе рассматривается вопрос повышения эффективности технологии и средств механизации сбора и транспортировки твердых бытовых отходов (ТБО) с мест их рассредоточенного образования. Произведен анализ современных методов обращения с отходами в удаленных населенных пунктах, в ходе которого установлено то, что затраты на транспортировку отходов преобладают над другими затратами при их дальнейшей переработке или утилизации. Обоснована возможность применения мобильных установок сортировки ТБО. Численным анализом установлено, что наиболее эффективно применение мобильных установок при объемах  $2 \leq V \leq 7$  м<sup>3</sup> и дальности их сбора и доставки  $1 \leq L \leq 7$  км.

Предложена методика технико-экономического обоснования применения различных технологий и видов установок сортировки ТБО, позволяющая установить область рационального применения мобильных и стационарных установок для сортировки ТБО.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, транспортировка, степень сжатия, объем накопления отходов, контейнер, мобильная установка.



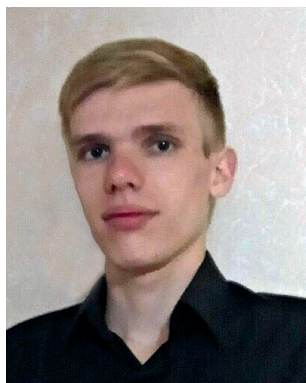
**Пенчук**  
Валентин Алексеевич



**Даценко**  
Виталий Михайлович



**Павлюк**  
Богдан Евгеньевич



**Кравченко**  
Анатолий Андреевич

## ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Организация механизированной уборки городских территорий является одной из важных и сложных задач охраны окружающей среды населенных пунктов. Улучшение благоустройства, повышение санитарного состояния городских территорий требуют решения на современном техническом уровне вопросов сбора и удаления твердых отходов (ТБО) из домовладений. Качество работ по санитарной очистке городов в значительной степени зависит от рациональной их организации и правильного выполнения предусмотренных технологических операций.

Одной из значимых составляющих этих затрат, связанных с удалением ТБО, являются затраты на сбор и транспортировку ТБО, особенно в рассредоточенных местах их образования. Поэтому изучение и создание новых энергосберегающих способов сбора и транспортировки твердых бытовых отходов с применением специализированного оборудования является актуальной и важной научно-технической задачей.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Экологической проблеме, связанной с твердыми бытовыми отходами, в последнее время уделено достаточно много внимания. В работах рассматриваются различные административно-экономические аспекты мусороудаления и уборки населенных пунктов.



В работах говорится об организации раздельного сбора ТБО непосредственно в местах их образования. Важнейшим элементом в успешной реализации масштабных схем раздельного сбора ТБО является вовлечение и участие населения.

Современные тенденции в области управления, мониторинга, технических решений, связанных с вопросом об отходах и современных способах их переработки, проанализированы в работах [3,4].

В работах [6-9] рассмотрены проблемы утилизации отходов, различные способы утилизации и переработки.

Особое внимание в выше рассматриваемых источниках уделяется минимизации затрат на сбор, транспортировку и переработку ТБО. В рассредоточенных местах образования отходов затраты на сбор и транспортировку многократно увеличиваются, преобладая над другими составляющими [10].

## ЦЕЛЬ

Установление области применения мобильных сортировочных установок путем разработки методики назначения рациональных маршрутов движения и количества перестановок мобильных сортировочных установок для конкретных городских условий.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Четкого определения понятия «малообъемности» работ по сортировке ТБО пока еще нет.

В работе делается одна из попыток дать определение категории — «рассредоточенный объект» для строительных работ.

Специфика условий производства работ на малообъемных и рассредоточенных объектах имеет много общего независимо от их частных конструктивных решений, конфигураций, габаритов и других особенностей. Эта специфика может быть сведена к следующему:

1. Довольно простая технологическая организация производства работ, не требующая сооружения временных баз для стоянки и хранения и обслуживания машин и оборудования.
2. Преимущественное использование универсальных машин.
3. Применение мобильных машин или легко транспортируемых машин и оборудования.
4. Использование широкой номенклатуры механизированного инструмента и малогабаритных машин.

Важнейшим элементом сформулированной выше системы сбора и переработки ТБО должна стать мобильная установка по сортировке. Она должна представлять собой некую территорию, расположенную на удобном расстоянии между жилым сектором и полигоном ТБО либо перерабатывающим заводом, оснащенную небольшим комплексом специализированного оборудования — гидравлическим манипулятором, сортировочной линией и при необходимости компактором (прессом). Схема взаимодействия мобильной

сортировочной установки с рассредоточенными местами образования ТБО показана на рис. 1.

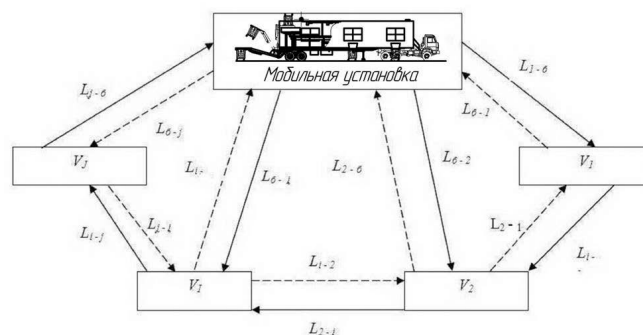


Рис. 1. Схема взаимодействия мобильной сортировочной установки с рассредоточенными местами образования ТБО:

$L_{i-j}$  — расстояние перебазировки с  $i$ -го на  $j$ -ый объект;  $V_i$  — соответственно объемы ТБО в рассредоточенных местах их образования

«Средняя» производительность машин  $P_{эк}^{cp}$  измеряется с объемом ТБО на конкретном объекте  $V_j^{cp}$ , а, следовательно, и ее параметр связан со «средней» производительностью.

Эффективность эксплуатации машины при условии, что  $P_{эк}^{год} \gg V_j$ , во многом зависит от объема ТБО на новом объекте  $V_{j+1}$  и дальности перебазировки  $L_{j,j+1}$ . Объем ТБО на объекте  $V_j$  и дальность его расположения от или до баз отдыха  $L_j$  можно охарактеризовать обобщенной характеристикой — коэффициентом рассредоточения:

$$K_p = \frac{C_{п.з} + C_{пер} L_j}{V_j \gamma_m}, \quad (1)$$

где  $C_{п.з}$  — стоимость подготовительно-заключительных работ по перебазировке машины для сбора ТБО;  $C_{пер}$  — стоимость перебазировки машины для сбора ТБО на 1 км;

$L_j$  — дальность перебазировки машины на  $j$ -й объект;

$V_j$  — объем ТБО на  $j$ -ом объекте;

$\gamma_m$  — стоимостный эквивалент коммунальных услуг по сбору ТБО.

Коэффициент рассредоточенности стремится  $K_p \rightarrow \min$  при  $L_j \rightarrow \min$ , а  $V_j \rightarrow \max$ .

Для строительных машин в работе [10] предложен экономический показатель мобильности машин, равный:

$$M = \frac{C_{мд} \cdot T_{мд} + C_{пер} L_j}{\Pi_{см}^{F_1} \gamma_{F_1}}, \quad (2)$$

где  $C_{мд}$  и  $C_{пер}$  — соответственно стоимость часа работ по подготовке к перебазировке и на 1 км перебазировки;

$\Pi_{см}^{F_1}$  — сменная эксплуатационная производительность машин;

$\gamma_{F_1}$  – договорной коэффициент единицы объема работ, выполняемых машиной.

Применительно к мобильной сортировочной установке экономический показатель мобильности выглядит следующим образом:

$$M = \frac{\sum c_{пер} L_i}{\prod_{см}^{F_1} \gamma_{F_1}}, \quad (3)$$

где  $C_{пер}$  – стоимость транспортирования ТБО на 1 км перебазировки;

$\prod_{см}^{F_1}$  – сменная эксплуатационная производительности машин;

$\gamma_{F_1}$  – договорной коэффициент единицы объема работ, выполняемых машиной.

Как можно увидеть, формула (3) отличается от формулы (2) лишь тем, что мы исключили фактор работ по подготовке к перебазировке, поскольку наша установка остается стационарной, в то время как к ней осуществляется подвоз ТБО отдельными автомобилями с крановым манипулятором.

Такой экономический показатель  $M$  позволяет оценить эффективность расположения мобильной установки по сортировке ТБО. Т.е. чем ближе к нулю этот показатель, тем выгоднее мы расположили мобильную установку к местам рассредоточенного образования отходов.

Задача решается с помощью привязки к географическим координатам. С этой целью вводится локальная система координат, в которой жилые дома и место расположения мобильной установки будут представлять собой отдельные точки на плоскости. Координаты исходных домов могут быть записаны как координаты соответствующих точек в виде:  $(x_i, y_i)$ , где  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ . Искомые координаты участка можно положить равными:  $(x, y)$ . Очевидно, что они служат переменными для рассматриваемой задачи, каждая из которых может принимать действительные значения из  $R^1$ .

В качестве целевой функции данной задачи будем рассматривать сумму расстояний от искомой точки  $(x, y)$  до каждой из заданных точек  $(x_i, y_i)$   $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , рассчитанных по формуле Евклида.

Каждое отдельное расстояние в этом случае равно:  $r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$ , где  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , тогда общее расстояние будет определяться выражением  $r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$ .

Таким образом, математическая постановка задачи может быть записана в следующем виде:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \rightarrow \min_{x, y \in R^1}. \quad (4)$$

В принципе, данная постановка задачи достаточно гибкая, и при необходимости под знак суммы в формуле (4) можно вносить другие показатели, такие как число жителей в доме, стоимость транспортировки (если она неодинакова) и т.п. В таком случае будем находить минимальную не сумму, а сумму произведений.

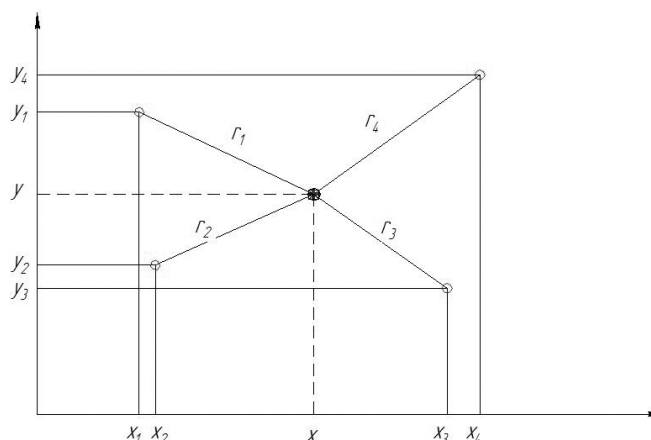


Рис. 2. Иллюстрация математической задачи о поиске месторасположения

Так, на примере города Макеевка была проведена эта работа. На рис. 3 показана математическая модель решения задачи о поиске оптимального месторасположения участка V1 и V2 с графической иллюстрацией в локальной системе координат рис. 4. Локальная система была введена с целью удобства, поскольку в реальной системе координат разница исследуемых точек в математических моделях была бы в сотых долях координат, а целая часть была бы одна и та же.

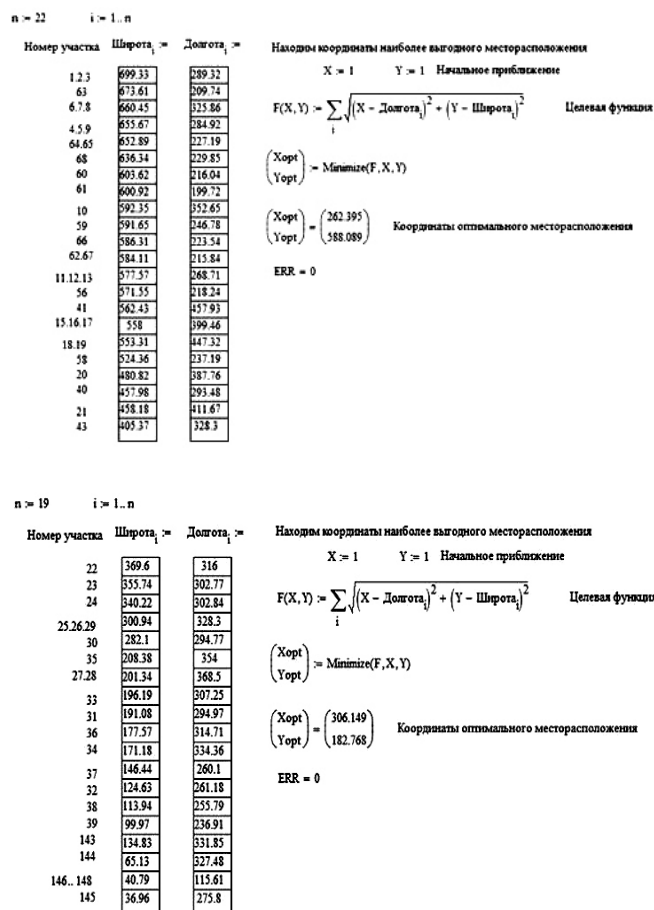


Рис. 3. Математические модели определения точек V1 и V2

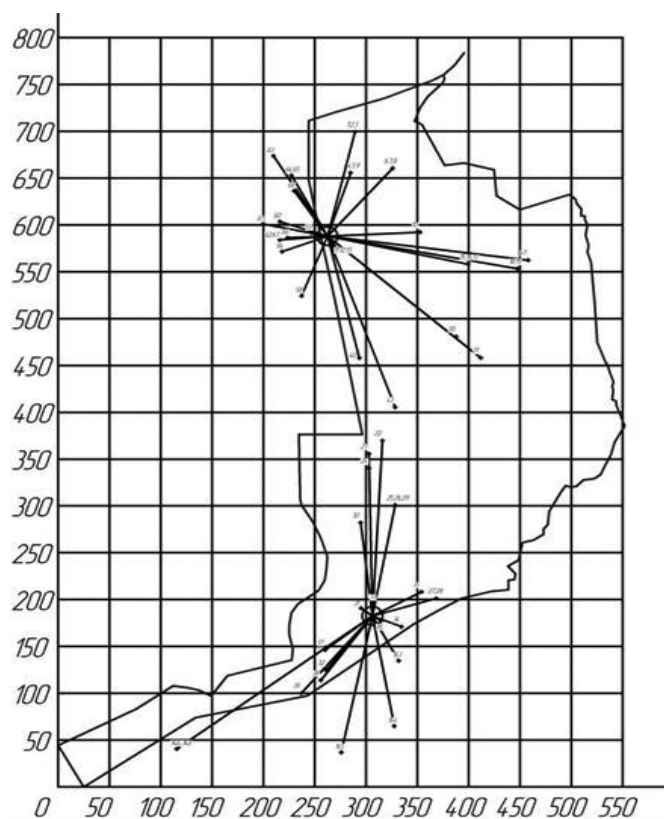


Рис. 4. Локальная система координат для точек V1, V2

Используя подобный алгоритм, были найдены оптимальные точки координат для других мест расположения установки.

Город Макеевка на основе административного деления при помощи задачи о поиске оптимального местоположения был поделен на семь участков (V1-V7) (рис. 5). Точками V1-V7 показаны рациональные места расположения, определенные при помощи задачи о поиске оптимального месторасположения.

После определения координат рациональных мест расположения точки (V1-V7), что отражено на рис. 5, необходимо решить задачу о поиске оптимального маршрута передвижения между этими точками. В данном случае эту задачу можно решать при помощи алгоритма лексического перебора, поскольку количество точек относительно невелико и процесс решения займет мало времени.

В общем случае математическая постановка задачи может быть сформулирована следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \longrightarrow \min_{x \in \Delta_{\beta}}, \quad (5)$$

где множество допустимых альтернатив  $\Delta_{\beta}$  формируется следующей системой ограничений типа равенств и неравенств:



Рис. 5. Рациональные точки расположения и маршрут движения мобильной установки сортировки ТБО

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}); \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}); \\ u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1 (\forall i, j \in \{2, 3, \dots, n\}); \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}); \\ u_i \in R^1, (\forall i \in \{2, 3, \dots, n\}). \end{array} \right. \quad (6)$$

В данной математической модели используются также вспомогательные переменные:  $u_i (\forall i \in \{2, 3, \dots, n\})$ , которые могут принимать любые действительные значения.

Отталкиваясь от полученного рисунка 5, составляется граф возможных перемещений между точками (рис. 6).

На следующем рисунке показано решение данной задачи методом лексического перебора. На рисунке показаны: в первой рамке — исходные данные (матрица расстояний между точками). Числовые значения взяты из чертежа графа. Вторая рамка — данные на выходе (1 — вектор входит в маршрут, 0 — вектор не входит в маршрут).

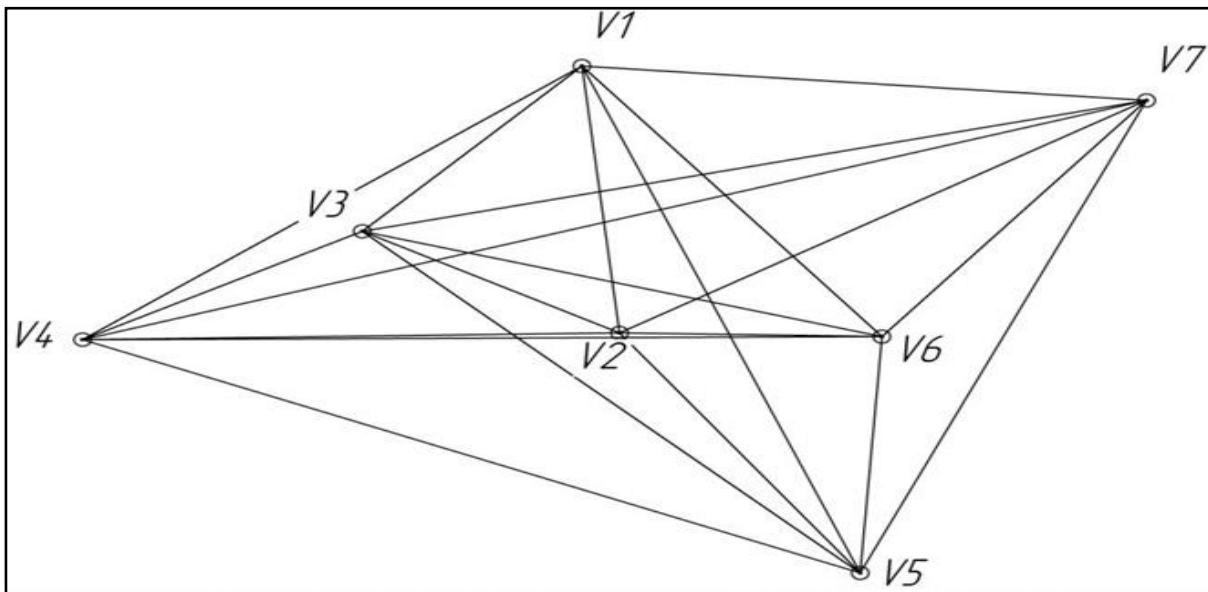


Рис. 6. Граф возможных перемещений между точками

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1		Коэффициенты целевой функции (матрица расстояний)								Значение ЦФ	
2		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7		3300,6	
3	V1	1000000	407,68	358,34	714,69	835,37	539,33	659,4			
4	V2	407,68	1000000	336,97	625,3	459,9	305,52	707,92			
5	V3	358,34	336,97	1000000	364,9	778,16	625,81	934,49			
6	V4	714,69	625,3	364,9	1000000	972,38	930,7	1290,97			
7	V5	835,37	459,9	778,16	972,38	1000000	359,86	791,36			
8	V6	539,33	305,52	625,81	930,7	359,86	1000000	472,9			
9	V7	659,4	707,92	934,49	1290,97	791,36	472,9	1000000			
10											
11	Переменные Xij	Xi1	Xi2	Xi3	Xi4	Xi5	Xi6	Xi7	Ограничения 1		
12	X1j	0	0	0	0	0	0	1	1		
13	X2j	0	0	5,55E-17	1	1,51E-16	0	0	1		
14	X3j	1	0	0	2,07E-16	0	0	0	1		
15	X4j	4,63E-17	0	1	0	0	0	0	1		
16	X5j	2,31E-16	1	0	0	0	0	0	1		
17	X6j	0	0	0	0	1	0	0	1		
18	X7j	0	0	0	0	0	1	0	1		
19	Ограничения 2	1	1	1	1	1	1	1			
20											
21	Переменные Ui		3	5	4	2	1	0			
22	Значения ограничений										
23	Ui-Uj+6*X2j		0	-2	5	1	2	3			
24	Ui-Uj+6*X3j		2	0	1	3	4	5			
25	Ui-Uj+6*X4j		1	-1	0	2	3	4			
26	Ui-Uj+6*X5j		5	-3	-2	0	1	2			
27	Ui-Uj+6*X6j		-2	-4	-3	5	0	1			
28			-3	-5	-4	-2	5	0			

Рис. 7. Решение задачи о поиске маршрута



В результате решения задачи при помощи модели (рис. 7) маршрут передвижения включает следующие векторы: 1-7, 2-4, 3-1, 4-3, 5-2, 6-5, 7-6. Как видно из матрицы расстояний, расстояние между точками, например 7-1 и 1-7, одинаково, т.е. задача является симметричной и, следовательно, направление передвижения установки по этим точкам значения не имеет.

Решенный граф с учетом полученных векторов показан на рис. 5. На данном рисунке черными линиями показаны оптимальные векторы передвижения, синей — маршрут с учетом существующей дорожной сети города.

## ВЫВОДЫ

- Мобильные сортировочные установки ТБО — это установки на прицепе, полуприцепе, которые могут перемещаться от одного места работ к другому. В предлагаемых мобильных установках процесс сбора и доставки производится с использованием контейнеров, доставляемых к месту сортировки с помощью тракторов с гидроманипуляторами. Таким образом, в технологии с использованием мобильных установок сортировки ТБО отсутствует процесс их сжатия. Численным анализом установлено, что наиболее эффективно применение мобильных установок при объемах  $2 \leq V \leq 7 \text{ м}^3$  и дальности их сбора и доставки  $1 \leq L \leq 7 \text{ км}$ .
- Рациональное применение мобильных установок возможно в городских условиях при соответствующем оборудовании площадок их временной установки. В качестве ориентировочных точек расположения мобильных установок могут быть использованы площадки вблизи избирательных участков по выбору депутатов в городские советы, на этих участках составляются списки избирателей в количестве около 50000 чел. что соответствует объему продуктов ТБО  $150 \text{ м}^3$ .
- Не менее важен для эффективного применения технологии переработки ТБО с использованием мобильных установок, маршрут их перемещения. Для определения маршрута движения мобильной установки целесообразно использовать алгоритм лексического перебора.

## Список литературы

1. Анализ и оценка зарубежного опыта обращения с твердыми бытовыми отходами [Текст] / Лихачев Ю.М., Федашко М.Я., Селиванова С.В. и др.// — СПб: Рос. муницип. акад., 2008. — 265 с.
2. Бабанин И.В. Оценка эффективности раздельного сбора отходов [Текст] /И. В. Бабанин // Твердые бытовые отходы. — 2006. — №7. — С. 40–43.
3. Булгаков С. Н. Новые технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов - дублирующая сырьевая экономика [Текст] / С. Н. Булгаков// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. —2007. — № 6(101). — С. 62–64.
4. Горох Н. П. Проблемы и перспективы накопления и переработки полимерных отходов [Текст] / Н. П. Горох, В. А. Юрченко, С. В. Свергузова и др.// — Харьков — Белгород : изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. — 132 с.
5. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка : учеб. пособие [Текст]/ А. С. Гринин, В. Н. Новиков. // — М. : ФАИР-ПРЕСС, 2002. — 332 с., : ил.
6. Контрерас Ф. Сбалансированное управление ТБО (на примере городов Йокогама и Бостон) [Текст] / Ф. Контрерас, С. Ишии, К. Ханакэ // Твердые бытовые отходы. — 2007. — №1.— С. 50–55.
7. Краснянский М.Е. Утилизация и рекуперация отходов: учеб. пособие [Текст] /М. Е. Краснянский//. 2 — е изд. — Харьков; К. : Бурун и К., КНТ, 2007.
8. Любарская М. А. Организация обращения с твердыми бытовыми отходами: учеб. пособие [Текст] /М.А. Любарская.// — СПб.: СПбГИЭУ, 2004. — 154 с.
9. Пенчук В.А. Исследование влияния подпрессовки твердых бытовых отходов на время сортировки [Текст]/ Пенчук В.А., Даценко В.М.//Вестник ДОННАСА. Выпуск 2013 — 6 (104), С. 73–77.
10. Пенчук В.А. Основы механизации малообъемных и рассредоточенных строительных и коммунальных работ. Монография [Текст] / Пенчук В.А., Даценко В.М., Пенчук В.В.// Донецк: изд-во «Ноулидж» (Донецкое отд.). 2011. — 265 с.
11. Пособие по мониторингу полигонов ТБО. [Текст] /Thales E&C — GKW — Consult// Донецк: Тасис. 2004. — 293 с.
12. Пупырев Е. И. Технологии переработки твердых бытовых отходов /Е. И. Пупырев// Жилищное и коммунальное хозяйство. 2007. № 3. С. 34 — 38.
13. Maarten Dubois. Municipal solid waste treatment in the EU [Текст] / Maarten Dubois, Ana Maria Martin Gonzalez, Maria Knadel // Environmental Studies, Aarhus University, 2004. — 90 p.
14. Pires A. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques [Текст] / Ana Pires, GracaMartinho // Journal of Environmental Management, 2011. — #92. — P. 1033– 1050.

# СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ НА БАЗЕ МОДУЛЕЙ SCADA-СИСТЕМ

И. В. Сельская, к.х.н., доцент; Ю. И. Саливон, ст. преп.; А. Н. Волчков, ст. преп.

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

**Аннотация.** Современные производственные системы характеризуются сокращением сроков технологической подготовки производства при выпуске новой продукции. Это обусловлено в значительной степени применением автоматизации технологических процессов. Преподавателями кафедры «Автоматизация и электроснабжение в строительстве» проведен анализ видов технологий, доступных для моделирования в лабораторных условиях и проанализирован перечень факторов, наиболее значимых в плане создания программно-технологических моделей. Для этих целей создан учебный лабораторный «КОМПЛЕКС» на базе модулей SCADA-систем, который используется для моделирования технологических процессов в строительстве и выполнения прикладных исследовательских работ в области материаловедения и эксплуатации конструкций и сооружений.

**Ключевые слова:** автоматизация, автоматика, технологический процесс, проект, управляющие и исполнительные устройства.



*Сельская  
Ирина Владимировна*



*Саливон  
Юрий Иванович*



*Волчков  
Александр Николаевич*

## ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающийся в последнее время рост уровня сложности строительных работ, связанный с применением информационных технологий, привел к появлению конструкций повышенной сложности и технологической эффективности. Известно, что это обусловлено в значительной степени применением автоматизации технологических процессов (3D-печать, умный дом, мониторинг состояния конструкций, зданий и сооружений, имеющих сложную пространственную геометрию, многоканальные эксплуатационные испытания и т.д.). С каждым годом всё больше различных сфер человеческой жизни связано с компьютерами и всевозможными программами. Современные производственные системы характеризуют сокращением сроков технологической подготовки производства при выпуске новой продукции. При этом ставятся задачи формализации, хранения и эффективной обработки знаний по реализуемым на производстве технологическим процессам. Имея базу знаний по типовым технологическим процессам необходимо иметь возможность оперативно синтезировать новые технологические процессы исходя из имеющихся возможностей и ограничений, проводя адаптацию производственной системы [1,2,3].

Также следует отметить, что в последние годы в связи с повышением требований к эффективности и качеству электроснабжения потребителей возникла необходимость быстрого развития автоматизированного централизованного управления системой электроснабжения на основе использования средств телемеханики и вычислительной техники. Работа систем электроснабжения городов, промышленных предприятий и сельского хозяйства невозможна в настоящее

время без автоматического управления элементами системы в нормальных и аварийных режимах. Методы и средства автоматического управления постоянно развиваются, также совершенствуется элементная база устройств автоматики.

## АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно последним нормативным документам Министерства образования и науки ДНР, программа дисциплин, преподаваемых в академии, должна быть согласована с новыми нормативными стандартами, учитывать последние достижения в науке и технике, учитывать потребности технических специальностей строительного профиля и использовать компетентностные подходы для системы организации учебного процесса.

На кафедре «Автоматизация и электроснабжение в строительстве» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство» читаются дисциплины «Общая электротехника и электроснабжение, вертикальный транспорт», «Автоматика» и «Автоматизация». Дисциплина «Автоматизация» разделена по профилям подготовки. В учебный процесс введены такие дисциплины: «Автоматизация производственных процессов в строительстве», «Автоматизация производственных процессов строительных материалов, изделий и конструкций», «Автоматизация производственных процессов в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог», «Автоматизация систем ВВ», «Автоматизация систем ТГВ», «Автоматизация систем ГСХ (проект «Умный дом»)), которые отражают направление профиля подготовки.

Согласно изложенному, данная работа является в настоящее время актуальной, так как новые введенные дисциплины с учетом новых нормативных стандартов с использованием компетентностных подходов и с применением интерактивных и мультимедийных технологий требуют детального и серьезного подхода в процессе преподавания [4,5].

Стремительно развивающиеся научные технологии требуют от современного вуза внедрения новых подходов к обучению, обеспечивающих развитие коммуникативных, творческих и профессиональных знаний для будущих специалистов строительного профиля. В настоящее время создано большое количество разнообразных информационных ресурсов, которые существенно повысили качество учебной и научной деятельности. Все чаще в обучении используются мультимедийные технологии, спектр которых заметно расширился: от создания обучающих программ до разработки целостной концепции построения образовательных программ в области мультимедиа, формирования новых средств обучения. Это позволяет сделать программный продукт информационно насыщенным и удобным для восприятия, стать мощным дидактическим инструментом благодаря своей способности одновременного воздействия на различные каналы восприятия информации [6,7].

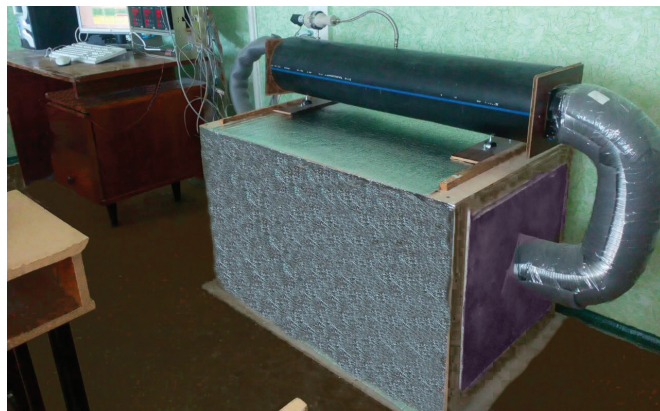


Рис. 1.1 Лаборатория автоматизации

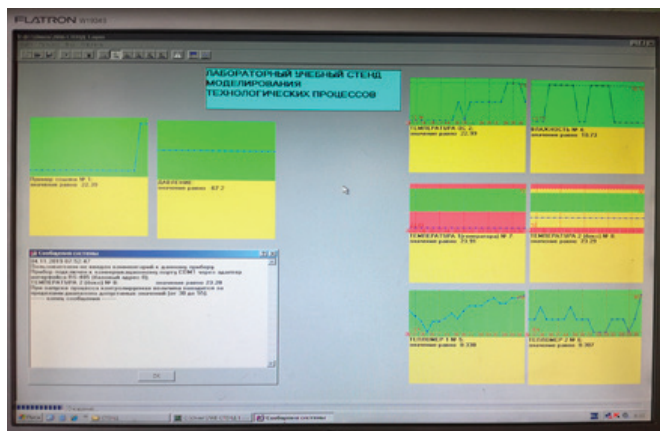


Рис. 1.2 Вывод результатов экспериментов



Рис. 1.3 Универсальный учебный стенд

В этой связи преподавателями кафедры «Автоматизация и электроснабжение в строительстве» проведен анализ видов технологий, доступных для моделирования в лабораторных условиях и проанализирован перечень факторов, наиболее значимых в плане создания программно-технологических моделей. Для этих целей создан учебный лабораторный «КОМПЛЕКС», который используется для моделирования технологических процессов в строительстве и выполнения прикладных исследовательских работ в области материаловедения и эксплуатации конструкций и сооружений (разработчик и исполнитель ст. преподаватель Ю.И. Саливон) (рис. 1) [8,9,10,11].



## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Изучение дисциплины «Автоматизация» базируется на знаниях, полученных студентами по дисциплинам «Общая электротехника и электроснабжение, вертикальный транспорт», «Автоматика». Предшествующие дисциплины снабжены лабораторной базой (рис. 2). Лабораторная база по дисциплине «Автоматика» разработана и введена в учебный процесс старшим преподавателем А.Н. Волчковым, которая усовершенствуется с каждым учебным годом (рис. 3).

Основная дисциплина, теоретический и практический материалы, которые использует дисциплина

«Автоматизация», является «Автоматика». Автоматика — это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и устройства средств и систем автоматического управления машинами и технологическими процессами [12]. Чтобы дальнейшие изучения процессов автоматизации были доступны, студент в результате изучения дисциплины «Автоматика» должен знать:

- основы релейной защиты и системы автоматики;
- классификацию систем автоматики и микропроцессорных устройств;
- принципы построения типовых узлов, применяемых в автоматике, преобразовательной и вычислительной технике;



Рис. 2 Лаборатория электротехники и электроснабжения



Рис. 3.1 Учебный лабораторный стенд





Рис. 3.2 Лаборатория автоматики

- основные технические средства автоматики и телемеханики, используемые в производстве;
- статические и динамические характеристики основных элементов и систем автоматического управления;
- принципы действия автоматических систем непрерывного и дискретного действия;
- структурные схемы и принцип работы микропроцессоров;
- области применения устройств микропроцессорной техники;
- принципы построения принципиальных электрических и функциональных схем автоматики, привязанных к производственным процессам.

Автоматизация производственных процессов есть совокупность мероприятий по разработке технологических процессов, созданию и внедрению высокопроизводительных автоматически действующих средств производства, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда. Автоматизация способствует значительному повышению производительности труда, улучшению качества продукции и условий труда людей. Автоматизация — это комплексная конструкторско-технологическая задача создания принципиально новой техники на базе прогрессивных технологических процессов обработки, контроля, сборки. Целью преподавания этой дисциплины является расширение мировоззрения студентов и приобретение комплекса специальных знаний и умений, необходимых для организации высокоэффективных автоматизированных производственных процессов в строительстве. Преподавание дисциплины «Автоматизация» должно обязательно соответствовать двум следующим требованиям: во-первых, курс «Автоматизация» должен быть изложен последовательно и гармонично, чтобы предоставить студенту четкое представление об автоматизации как о современной науке. Во-вторых, курс «Автоматизация» для инженерно-строительных

специальностей должен быть четко ориентирован именно на нужды инженера-строителя той или иной профессии. Формирование у студентов научного мировоззрения и современного научного мышления. Учет особенностей различных специальностей при преподавании курса «Автоматизация» надо проводить также путем рассмотрения на лекциях примеров практического использования процесса автоматизации в соответствующих отраслях строительства [1,2,3].

В процессе изучения дисциплины «Автоматизация» студент должен:

1. Усвоить знания по общим закономерностям и тенденции развития современного автоматизированного производства.
2. Знать основы построения, методы расчета технологических процессов автоматизированного производства, принципы проектирования автоматизированных технологических систем, цехов, предприятий.
3. Уметь оценивать уровень автоматизации производства.
4. Разрабатывать и организовывать оптимальные технологические процессы для условий автоматизированного производства.
5. Управлять производственными процессами с применением современных средств автоматики и вычислительной техники.
6. Пользоваться новыми методами автоматического контроля производственных процессов и качества выпускаемой продукции.
7. Применять роботы и манипуляторы для повышения эффективности производства.

Введенный в учебный процесс на кафедре «Автоматизация и электроснабжение в строительстве» учебный лабораторный «КОМПЛЕКС» позволяет создавать действующие автоматизированные системы по следующим направлениям: производство строительных материалов; испытание строительных конструкций на прочность; решение задач термодинамики при

испытаниях материалов на теплопроводность; изучение акустических характеристик и звукоизолирующих свойств ограждающих конструкций и поверхностей; исследование влияния метеорологических факторов и приземных атмосферных явлений на надежность эксплуатации сооружений, имеющих сложную пространственную геометрию; исследование вибрационных свойств объектов, амплитудно-частотный анализ резонансных явлений.

«КОМПЛЕКС» содержит ряд задающих, управляющих и исполнительных устройств:

- тестовый генератор теплового потока регулируемой производительности;
- источник воздушного потока на базе двигателя постоянного тока с двухконтурной системой регулирования методами фазоимпульсного и широтноимпульсного управления;
- высоколинейный акустический излучатель с повышенным уровнем звукового давления;
- вибромашина для низкого и инфранизкого диапазона гармонических колебаний и ударных воздействий.

Комплект измерительной аппаратуры базируется на линейке приборов фирмы «ОВЕН». При этом в структуре «КОМПЛЕКСА» можно выделить ряд подсистем:

- измерительно-регулирующую, выполняющую функции первичной обработки сигналов датчиков и подготовки управляющих воздействий;
- тензометрическую для проведения специальных измерений с помощью датчиков усилий, деформаций и тензодинамометров;
- индикационно-управляющую для выдачи управляющих воздействий по протоколу и индикации их текущих значений;
- силовую для регулирования числа оборотов двигателей постоянного тока и асинхронных двигателей;
- прецизионные электронные весы;
- интерфейсную для коммутирования информационных потоков.

Программно-технологические проекты создаются с помощью следующих SCADA-систем: «OWEN PROCESS MANAGER» (OPM), «MASTER SCADA» (MS) фирмы «ИнСАТ» и цифрового спектрального акустического анализатора «SpektraLAB». При этом с помощью OPM и MS реализуются как измерительно-управляющие функции, так и экспертно-предупредительная сигнализация о внепределных и аварийных ситуациях. Программа «SpektraLAB» позволяет регистрировать и анализировать спектры как гармонических, так и ударных воздействий и интерпретировать их в виде таблиц, графиков и спектрограмм.

«КОМПЛЕКС» построен по функционально блочному принципу агрегатирования программно-технических средств, допускающему несложные способы его адаптации к конкретному набору решаемых задач и оперативное конфигурирование технологических проектов. Открытая архитектура позволяет наращивать возможности «КОМПЛЕКСА» в соответствии с

требованиями решаемых задач. Создание технологических проектов при таком подходе сводится к формализации и алгоритмизации процесса с последующим конфигурированием требуемой структуры с помощью специализированных программных модулей.

Создание технологических проектов на базе модулей SCADA-систем.

Порядок создания системы автоматизированного управления (САУ):

1. Процесс создания САУ начинается с формализации технологического процесса в виде диаграммы алгоритма, устанавливающего количество и характер функциональных модулей и связи между ними.

2. Выбирается способ технической реализации назначенных функций путем определения типов и количества датчиков физических переменных и первичных преобразователей сигналов.

3. Производится программное подключение датчиков к измерительным каналам путем их спецификации с учетом особенностей технологии.

4. Определяются количество и типы исполнительных устройств и формируются сквозные каналы регулирования.

5. По принципу пропорциональности производится настройка сквозных каналов, задавая при этом:

- тип датчика; шкалу сигнала; частоту опроса;
- величину «уставки» (контролируемое значение параметра);
- вид реакции на запредельные режимы;
- тип и режим работы исполнительного устройства;
- частоту и способ архивирования данных;
- устанавливается возможность удаленного доступа к архивам.

В качестве примера рассмотрим лабораторную работу, в ходе выполнения которой студентам предлагается создание и изучение работы условно-реального технологического процесса на базе масштабированной модели вентиляционной системы подготовки и нагнетания воздуха в рабочую зону климатической камеры.

**ПРИМЕР.** Атмосферный воздух, пройдя предварительную подготовку (нагрев, увлажнение), нагнетается в вентиляционный канал с помощью вентилятора-улитки с приводом от двигателя постоянного тока (ДПТ) с фазоимпульсным методом управления. Контроль числа оборотов двигателя вентилятора осуществляется по показаниям тахогенератора (ТхГ), установленного на валу. Питание ДПТ выполняется от управляемого источника питания. Температура контролируется датчиком температуры (Dt1), относительной влажности — датчиком. По мере создания избыточного давления, равного номинальному значению, и измеряемого датчиком давления и необходимой скорости воздушного потока, измеряемой датчиком (ДV), открывается электропневмоклапан подачи воздуха в рабочую зону климатической камеры. Здесь установлены датчик температуры и датчик мощности теплового потока. Значение температуры поддерживается на необходимом уровне с помощью тепловыделяющего

элемента, установленном в вентканале, влажность — с помощью парогенератора. Начальный и избыточный поток воздуха уходят в атмосферу через выпускной электропневмоклапан. По каналам ТхГ, Дт1, ДВ выполняется анализ текущих значений и сравнение их с допустимыми значениями. В случае их выхода за установленные пределы формируются предупредительные сигналы в виде всплывающих окон SCADA-системы OWEN OPM-1.06 и происходит блокирование возникновения аварий.

Данные, поступающие от всех датчиков, обрабатываются по заданной программе и архивируются в виде графиков и таблиц с привязкой к шкале времени. Архивы доступны для просмотра как в текущем режиме, так и в режиме произвольного доступа. Архивы также могут быть доступны для внешних пользователей в локальной сети и по GSM-протоколу в удаленном варианте.

Наглядность средств обучения в преподавании дисциплины «Автоматизация» играет важную роль в формировании информационно-интегрированной образовательной среды студента и решает целый комплекс современных дидактических, методических, психологических вопросов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация производства — одно из главных направлений технического прогресса. При автоматизации машины уже не только заменяют физический труд человека, но и выполняют функции управления производством. При этом процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации производятся автоматически. Автоматизация производства подготовлена всем предыдущим развитием науки, техники, технологии и является закономерным продолжением механизации производственных процессов. В то же время автоматизация — это качественно новый этап развития производства. В результате автоматизации увеличивается производительность оборудования, снижается себестоимость, сокращается брак и повышается безопасность работы и т.д. Промышленность, транспорт, системы связи и защита окружающей среды существенно зависят от автоматизированных систем управления. Практически ни одна техническая система — от железной дороги до ядерного реактора — не работает без той или иной формы управления.

## Список литературы

1. Автоматизация организационно-технологического проектирования в строительстве: учебник [Электронный ресурс] / С. А. Синенко, В. М. Гинзбург, В. Н. Сапожников [и др.]. // 2-е изд. Саратов: Вузовское образование, 2019. 235 с. — Режим доступа: URL: <http://www.iprbookshop.ru/79746.html>.

2. Молдабаева М. Н. Автоматизация технологических процессов и производств : учебное пособие [Электронный ресурс] / М. Н. Молдабаева. // Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 224 с. — Режим доступа: URL: <http://www.iprbookshop.ru/86574.html>.
3. Схиртладзе А. Г. Автоматизация технологических процессов и производств: учебник [Электронный ресурс] / А. Г. Схиртладзе, А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. // 2-е изд. Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2019. 459 с. — Режим доступа: URL: <http://www.iprbookshop.ru/83341.html>.
4. Никитина Т. В. Компетентностный подход как методологическая основа высшего образования [Текст] / Т.В. Никитина. // Вестник Кемеровского Государственного университета. 2015. Т. 3, № 2 (62). С.88-91.
5. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / И.Г. Захарова. — 6-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 192 с.
6. Сумина Г.А. Использование мультимедийных технологий в учебном процессе ВУЗа [Текст] / Г.А. Сумина, Н.Ю. Ушакова // Успехи современного естествознания. 2007. №5. С. 76-78.
7. Полат Е. С. Современные педагогические и информационные технологии в системе образования: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. [Текст]/ Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина. — 3-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 368 с.
8. Жидиков В. П. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Программное обеспечение систем управления. Автоматизация технологических процессов и производств» [Электронный ресурс] / В. П. Жидиков. // М. : Московский технический университет связи и информатики, 2016. — 64 с. — Режим доступа: URL: <http://www.iprbookshop.ru/61530.html>.
9. Гоношилов Д. С. Моделирование технологических процессов производства электронной аппаратуры инструментами когнитивной графики [Электронный ресурс] / Д. С. Гоношилов, Л. О. Маркос. // Молодой ученый. 2016, №24. С. 51-59. — Режим доступа: URL <https://moluch.ru/archive/128/35415/>.
10. Сельская И. В. Мультимедийные технологии моделирования технологических строительных процессов в преподавании дисциплины автоматизация. [Электронный ресурс] / И.В. Сельская, Ю.И. Саливон. // Научные технологии и инновации: эл. сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ. 2019. Ч. 10. С. 109-114. — Режим доступа: [http://conf.bstu.ru/material\\_conf/XXIII\\_nauchnye\\_chteniya](http://conf.bstu.ru/material_conf/XXIII_nauchnye_chteniya).
11. Адамова А. А. Визуальное моделирование адаптации подготовки производства к выпуску новой продукции [Текст] / А. А. Адамова, А. И. Власов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 2 (154). С. 46–56.
12. Певзнер Л. Д. Теория автоматического управления. [Текст] / Л. Д. Певзнер. Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 604 с.

# ТРУБЫ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ИЗ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ – КЛЮЧЕВОЕ ЗВЕНО В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДОВ

А. Я. Бабанин<sup>а</sup>, д.т.н., доцент; В. В. Белоусов<sup>б</sup>, д.т.н.; А. В. Чухаркин<sup>а</sup>, ст. преп.

<sup>а)</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

<sup>б)</sup> ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

**Аннотация.** В результате проведенных исследований разработана комплексная технология внепечной обработки конструкционной трубной стали на агрегате ковш-печь. При выплавке конструкционной трубной стали категории прочности Х70 в условиях конвертерного производства ПАО «МК «Азовсталь» получено значительное повышение механических и служебных свойств металла. Предел текучести и предел прочности соответствуют значениям стали категории прочности Х80 производства России и требованиям стандарта API 5L. Металл опытных плавок имеет более низкую скорость коррозии по сравнению со сравнительным.

**Ключевые слова:** магистральные газо- и нефтепроводы, конструкционные трубные стали, внепечная обработка, механические и служебные свойства.



**Бабанин**  
Анатолий Яковлевич



**Белоусов**  
Вячеслав Владимирович



**Чухаркин**  
Анатолий Витальевич

## ПРОБЛЕМА И ЕЕ СВЯЗЬ С НАУЧНЫМИ И ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАЧАМИ

Проектирование, строительство и эксплуатация магистральных газо- и нефтепроводов напрямую зависят от применяемых материалов, технологий и оборудования, а также от инженерных решений, реализуемых на практике. В Российской Федерации широко освоены технологии проектирования и строительства магистральных газо- и нефтепроводов в условиях пустыни, лесной, равнинной и горной местностей, а также в условиях тундры, лесостепи. В последние годы возникла необходимость проектирования и строительства магистральных газо- и нефтепроводов в условиях вечной мерзлоты и по морскому дну, что имеет определенные сложности.

Ранее построенные магистральные газопроводы работают при давлениях 50–55 и 70–75 МПа. Однако на сегодняшний день уже существует практика строительства магистральных трубопроводов для давлений 100 и более МПа, что дает возможность увеличить пропускную способность газотранспортной системы [1]. К примеру, трубы газопровода «Северный поток-2» имеют внутренний диаметр 1153 мм, толщину стенки 30,9 мм и рассчитаны на рабочее давление до 220 МПа.

Таким образом, постоянный рост объемов добычи, в том числе за счет освоения новых месторождений и новых регионов промышленной добычи, суровые климатические условия, снижение температуры эксплуатации до минус 40–60°C, строительство газотранспортных магистралей по дну морей, увеличение рабочего давления до 8,4–15 и более МПа, обеспечение коррозионной стойкости и их эксплуатационной надежности постоянно повышают требования к качеству металла для производства труб большого диаметра [2].



Таблица 1.

Основные служебные характеристики металла для магистральных газопроводов

Годы строительства газопроводов	Марка стали	Категория прочности стали	Диаметр труб, мм	Параметры эксплуатации		Временное сопротивление, кгс/мм <sup>2</sup>	Технология прокатки
				Рабочее давление МПа	Температура, °С		
1960–1970	17ГС	K52	1220	До 5,4	0°	52	Обычная
1970	09Г2ФБ	K55 – K60 (X70)	1420	7,4 – 8,3	-20	56 – 60	ТМП
2010–2012	10Г2ФБ	K60 (X70)	до 1420	9,8 – 11,8	-40	65 – 75	ТМП

Таблица 2.

Механические свойства основного металла труб большого диаметра в поперечном направлении [3]

Класс прочности	Временное сопротивление, σ <sub>в</sub> , МПа	Предел текучести, σ <sub>Т</sub> , МПа	σ <sub>в</sub> / σ <sub>Т</sub> , не более	Относит. удлинение, δ <sub>5</sub> %, не более
K54	530–630	402	0,90	20
K56	549–647	432	0,90	20
K60(X70)	588–686	481	0,90	20
K65(X80)	638–736	550	0,90	18

Тенденции улучшения основных служебных характеристик металла для магистральных газопроводов представлены в таблице 1, а тенденции повышения их механических свойств – в таблице 2.

Анализ технологий производства и качества конструкционных трубных сталей свидетельствует, что существенное влияние на формирование их механических и служебных свойств оказывает размер и количество остаточных неметаллических включений (НВ) и их структурно-химическое состояние. Базовым звеном, определяющим вышеуказанные параметры, является технологический участок: выпуск металла из конвертера – кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), включающий агрегат ковш-печь (АКП) с обработкой стали высокоактивными реагентами. За последние три десятилетия технология внепечной обработки конструкционных трубных сталей претерпела значительное усовершенствование в повышении чистоты металла по вредным примесям, газам и НВ.

Исходя из этого, развитие и усовершенствование технологии внепечной обработки конструкционных сталей, обеспечивающей более высокое качество металла, разработка алгоритма ее воспроизводства по обеспечению минимального остаточного содержания и их размера, а также заданного структурно-химического состояния НВ, является актуальной проблемой, решение которой имеет важное научно-техническое и практическое значение.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Анализ литературных данных свидетельствует, что эффективность, качество и надежность работы нефтегазотранспортных систем определяется качеством

конструкционных трубных сталей, основным направлением повышения которого является обеспечение низкого содержания вредных примесей, газов и НВ заданного структурно-химического состояния, обработка высокоактивными элементами, комплексное микролегирование упрочняющими карбонитридообразующими элементами (Nb, Ti, Mo, Co, V, Cr и др.), термомеханическая прокатка и ускоренное охлаждение [4–6].

Из вышеизложенного следует, что основа высокого качества конструкционной трубной стали создается при ее обработке в жидком состоянии, что обуславливает необходимость создания более эффективных технологий внепечной ее обработки [7–10].

### ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

В данной научной работе на основании ранее проведенных исследований разработаны и представлены основные положения комплексной технологии внепечной обработки конструкционных трубных сталей конвертерного производства, которые включают следующие наиболее эффективные технологические приемы:

- присадка мелкокускового углеродсодержащего материала фракцией 5–10 мм на дно сталеразливочного ковша в начале выпуска плавки при сливе 15–20 тонн металла (для 350-тонного сталеразливочного ковша);
- для обеспечения образования максимального количества первичных НВ в твердом кристаллическом виде присадку ферросплавов, содержащих марганец, кремний и алюминий, в сталеразливочный ковш необходимо производить в следующей последовательности:
  - а) марганецсодержащие ферросплавы – при наполнении сталеразливочного ковша на 0,5–0,6 его высоты;

б) кремнийсодержащие, а также кремний и марганецсодержащие ферросплавы — при наполнении сталеразливочного ковша на 0,6–0,7 его высоты;

в) ванадийсодержащие ферросплавы и алюминий — при наполнении сталеразливочного ковша на 0,8–0,9 его высоты;

г) температуру стали на выпуске и содержание углерода после повалки обеспечивать, соответственно, 1630–1650 °С и 0,06–0,08% °С.

Разработка новых технологических приемов внепечной обработки стали на АКП для каждого предприятия требует проведения дополнительных научных исследований и инжиниринга. Разработанный данный вариант внепечной обработки стали производится в следующей последовательности [11]:

- определение для данного производства оптимального содержания общего алюминия в стали для обеспечения заданных механических свойств;
- определение содержания алюминия, который находится в составе НВ для данного общего содержания алюминия в стали;
- корректировка содержания алюминия в стали до заданных его значений алюминиевой катанкой;
- обработка стали кальцийсодержащим реагентом, обеспечивающей отношение в НВ  $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,55–0,80$ ;
- формирование ковшевого шлака следует производить при обеспечении отношения  $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3 = 1,3–1,7$ ;
- обеспечение заданного содержания кальция по вводу осуществляется путем определения степени его усвоения от содержания алюминия в стали и достигаемом содержании кальция по вводу;
- для формирования заданного остаточного содержания кальция в стали, его содержание по вводу следует поддерживать с учетом потерь кальция на технологическом участке АКП-МНЛЗ в зависимости от содержания кальция по вводу, времени выдержки от окончания обработки на АКП до разливки на МНЛЗ и соотношении  $\text{Ca}/\text{Al}$ .

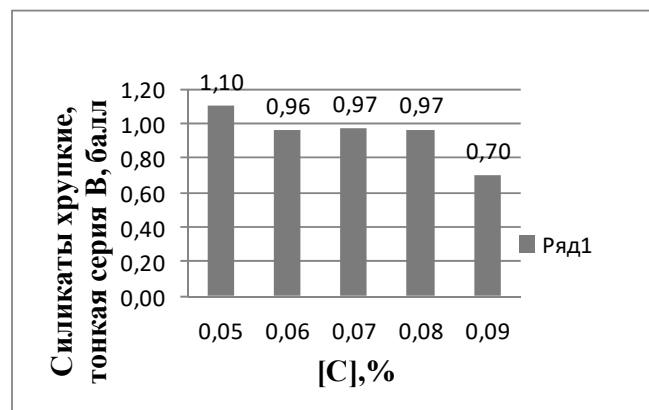
Усреднительная продувка металла аргоном производится через пористые пробки. Режим продувки осуществляется таким образом, чтобы обеспечить минимальную площадь открытой поверхности металла в закрытом крышкой сталеразливочном ковше.

Разработанный вариант технологии поточного рафинирования включает такие технологические операции:

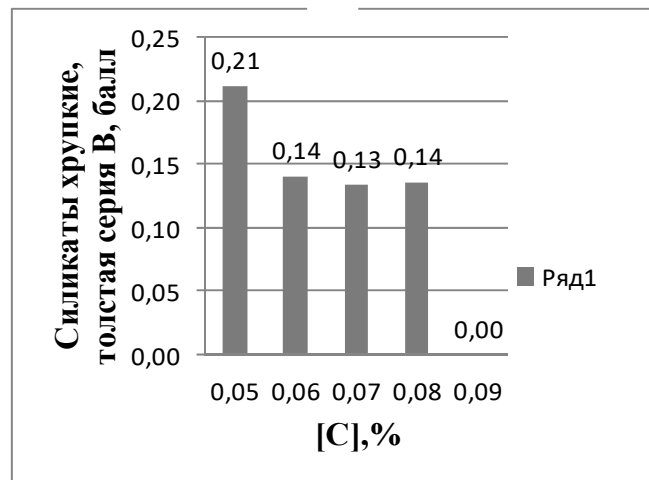
- корректировка содержания углерода в узких заданных пределах с положительным влиянием на равномерность распределения кальция и серы по поперечному сечению сляба;
- формирование оптимальной гидродинамической структуры и скорости движения циркуляционных потоков металла для создания условий максимального удаления НВ восходящими потоками в шлак;
- обеспечение минимальной глубины металла и формирование оптимальной гидродинамической структуры при перековшовке для исключения затягивания покровного шлака в кристаллизаторы.

На рис. 1 представлена гистограмма распределения балла НВ в виде силикатов хрупких в зависимости от углерода в металле, соответственно: а — тонкая серия, б — толстая серия, из которой следует, что наиболее оптимальным содержанием углерода в стали является диапазон 0,06–0,08%, который обеспечивает минимальный балл силикатов хрупких, тонкой и толстой серии, равный, соответственно, 0,96–0,97 и 0,13 и 0,14 среднему баллу.

Наиболее оптимальным содержанием углерода в стали, обеспечивающим минимальный балл силикатов крупных (недеформированных) как тонкой, так и толстой серии, также является диапазон 0,06–0,08%, обеспечивающий, соответственно, 1,02–0,86 и 0,21–0,18 средний балл НВ (рис. 2).



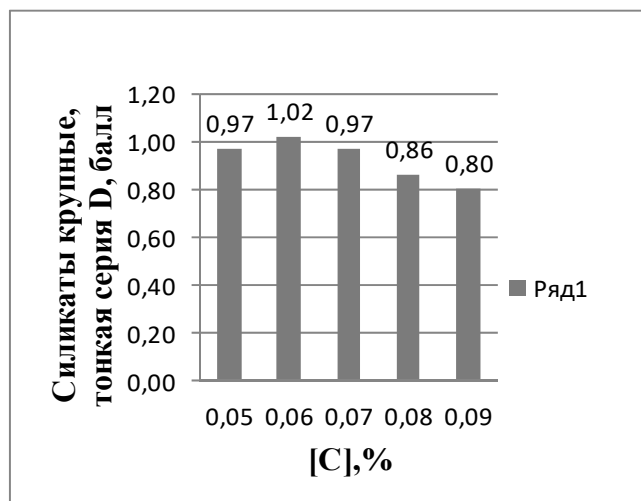
а)



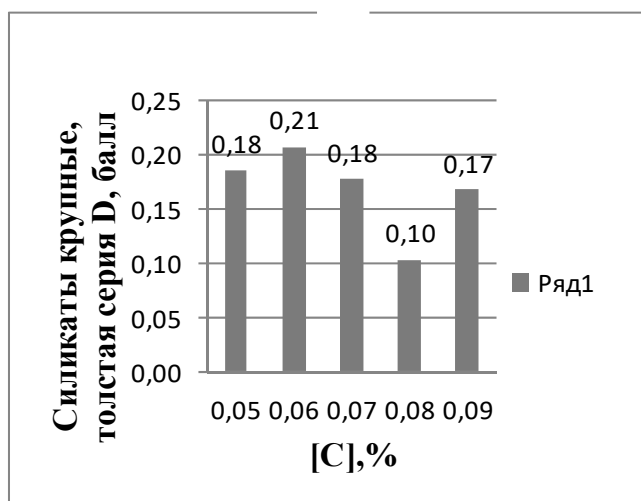
б)

Рис. 1. Зависимость балла силикатов хрупких, тонкой (а) и толстой (б) серии от содержания углерода в металле

Следует обратить внимание, что при содержании углерода в стали 0,05% содержание хрупких НВ несколько увеличивается, соответственно, тонкой и толстой серии на 0,13 и 0,07 балла, а крупных (недеформированных) НВ несколько снижается на 0,05 и 0,03 балла, соответственно, тонкой и толстой серии. Это можно объяснить тем, что при снижении содержания углерода в металле до 0,05% и его раскислении алюминием образующиеся алюминаты сложнее перевести в алюминаты кальция.



а)

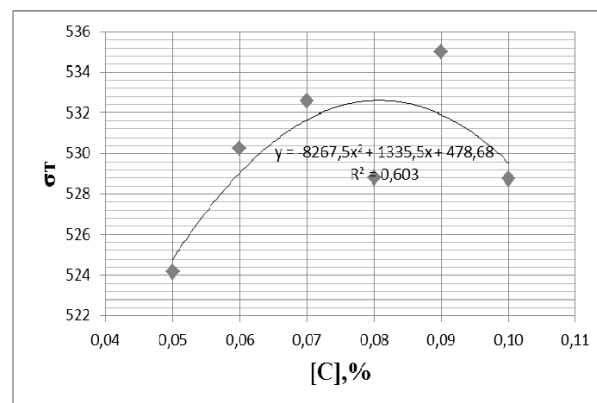


б)

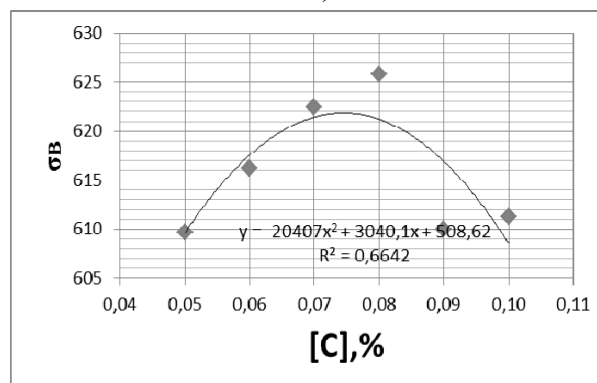
Рис. 2. Зависимость балла силикатов крупных (недеформированных) тонкой (а) и толстой (б) серии от содержания углерода в металле

На рис. 3 представлены графические зависимости влияния углерода после повалки на механические свойства толстого листа (средние значения предела текучести, предела прочности и относительное удлинение), из которых следует, что механические свойства находятся на высоком уровне, соответствующем требованиям НТД, а содержание углерода в металле после повалки существенно влияет на их величину. Для поддержания одновременно на высоком уровне предела текучести, прочности и относительного удлинения необходимо поддерживать содержание углерода в металле после повалки в диапазоне 0,06–0,08%.

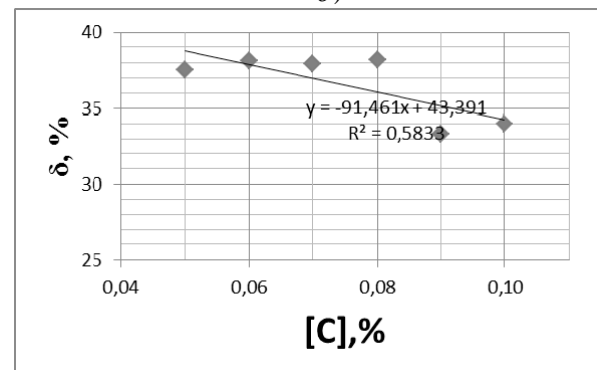
Известно, что к металлу труб большого диаметра северного исполнения предъявляются высокие требования, предусматривающие высокие значения ударной вязкости (так называемое сопротивление хрупкому разрушению). Графическая зависимость изменения средней поглощенной энергии удара по образцам Шарпи при температуре испытаний -10 °С в зависимости от содержания углерода в металле после повалки представлена на рис. 4.



а)



б)



в)

Рис. 3. Влияние углерода после повалки на механические свойства толстого листа, средние значения: а) – предел текучести, б) – предел прочности, в) – относительное удлинение

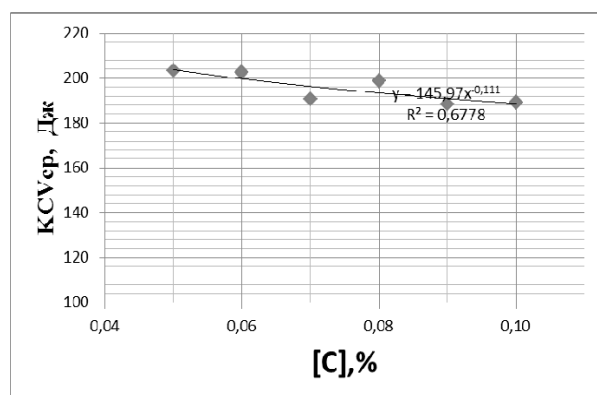


Рис. 4. Влияние углерода в металле после повалки на среднюю величину поглощенной энергии удара

Таблица 3.

Средние значения механических свойств толстолистового проката толщиной 15,9 мм из стали марки X70

Количество плавок, шт	Содержание [C]nn, %	σв, МПа	σт, МПа	δ5, н.б. %	кcu-60, Дж/см2	Скорость коррозии, мм/год	Площадь участка, пораженного коррозией, %
45	0,04–0,12	636	487	20	212	2,1	3,8
38	0,06–0,08	723	562	22	228	0,8	2,5
Разность значений / %		+87/13,6	+75/15,4	+2/10	+16/21,2	1,3/61,9	-13/34,2
X80 по API 5L X80 – Россия		621–827 638–736	552–690 560				

Средние значения механических свойств толстого листа, прокатанного из произведенной по разработанной технологии стали марки X70, представленные в таблице 3, свидетельствуют, что применение разработанных технологических приемов позволяет обеспечить не только высокие значения механических свойств, но и приблизить их значения к требованиям, предъявляемым к стали более высокой категории прочности X80.

Коррозионные испытания проводили химическим методом. Шлифы обрабатывали в течение 30 секунд реактивом, содержащим 0,5 % KCl (0,24 % ионов хлора) и воду, и далее в течение 10 секунд реактивом, содержащим 4 % азотной кислоты, этилового спирта и 0,1 % KCl (0,048 % ионов хлора). После испытаний шлифы исследовали на оптическом микроскопе «Неофот» при осмотре 100 полей площадью около 1 мм<sup>2</sup>. Определение количественных параметров проводили методом количественной металлографии.

В результате проведенных коррозионных испытаний и пересчете установлено, что металл опытных плавок имеет более низкую скорость коррозии по сравнению со сравнительным, которая составляет, соответственно, 0,8 и 2,1 мм/год. Доля площади пораженных участков коррозии – соответственно, 2,5 и 3,8 %.

### ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований применительно к повышению качества конструкционных трубных сталей для строительства магистральных газо- и нефтепроводов, разработана комплексная технология ее внепечной обработки стали на агрегате ковш-печь.

При выплавке конструкционной трубной стали категории прочности X70 в условиях конвертерного производства ПАО «МК «Азовсталь» с применением разработанных технологических приемов получено значительное повышение механических и служебных свойств металла. В частности, механические свойства предел текучести и предел прочности соответствуют значениям стали категории прочности X80 производства России и требованиям стандарта API 5L. Металл опытных плавок имеет более низкую скорость коррозии по сравнению со сравнительным, которая составляет, соответственно, 0,8 и 2,1 мм/в год. Доля площади пораженных участков коррозии, соответственно, 2,5 и 3,8 %.

Направление дальнейших исследований предполагает математическое описание протекающих физико-химических процессов для компьютерного управления технологией внепечной обработки стали.

### Список литературы

1. Бродов А. А. О модернизации производства стальных труб / А. А. Бродов, А. Ф. Кондратов // *Сталь*. – 2010. – № 7. – С. 81–85.
2. Формирование структуры в зоне термического влияния и свойства сварных соединений трубных сталей классов прочности X80, X90, K70 / А. Ю. Иванов [и др.] // *Сталь*. – 2011. – № 7. – С. 85–90.
3. Минин А. С. Трубы прочности X80 / А. С. Минин, С. Г. Чернышов // *Нефтегазопромышленность*. – 2011. – № 6. – С. 47–50.
4. Влияние термической обработки на механические свойства и структуру высокопрочных трубных сталей / М. Ю. Матросов [и др.] // *Металлург*. – 2011. – № 7. – С. 54–58.
5. Влияние трубного передела на механические свойства листов из стали категории прочности K60 / Ю. И. Матросов [и др.] // *Сталь*. – 2012. – № 6. – С. 53–55.
6. Оценка анизотропии механических свойств и трещиностойкости листов и труб большого диаметра / В. М. Дорохин [и др.] // *Сталь*. – 2001. – № 1. – С. 65–69.
7. Исследование эксплуатационных характеристик газопроводных труб на рабочее давление до 11,8 МПа / В. И. Столяров [и др.] // *Сталь*. – 2010. – № 1. – С. 73–76.
8. Особенности и классификация структур низкоуглеродистых низколегированных высокопрочных трубных сталей / М. Ю. Матросов [и др.] // *Сталь*. – 2012. – № 1. – С. 65–75.
9. Эфрон Л. И. Влияние термических режимов контролируемой прокатки на структурное состояние горячекатанного аустенита и свойства низкоуглеродистой микрелегированной стали / Л. И. Эфрон, Ю. Д. Морозов, Е. А. Голи-Оглу // *Сталь*. – 2012. – № 5. – С. 60–65.
10. Зайцев А. И. Физическая химия металлургических шлаков / А. И. Зайцев, Б. М. Могутнов, Е. Х. Шахпазов // *Интерконтакт, Наука*. – 2008. – 352 с.
11. Повышение эффективности ресурсо-экологических показателей внепечной обработки стали порошковой проволокой с кальцийсодержащими реагентами / В. В. Белоусов, А. Я. Бабанин [и др.] // *Металлург*. – 2012. – № 12. – С. 58–62.



# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА AL87NI8GD5, КОНСОЛИДИРОВАННОГО МЕТОДОМ КРУЧЕНИЯ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

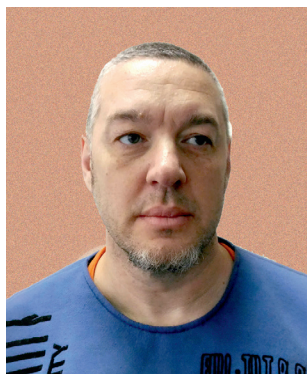
Т. В. Цветков<sup>1</sup>, А. И. Лимановский<sup>1</sup>, к.ф.м.н.; В. И. Парфений<sup>1,2</sup>, Е. А. Свиридова<sup>1</sup>, В. Н. Саяпин<sup>1</sup>, В. М. Ткаченко<sup>1</sup>, С. В. Васильев<sup>1,2</sup>, к.ф.м.н.; В. И. Ткач<sup>1</sup>, д.ф.м.н.

<sup>1</sup>ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина»

<sup>2</sup>ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** Методами рентгеноструктурного анализа, измерения твердости и испытаний на трехточечный изгиб исследованы структура и механические свойства образцов в форме дисков диаметром 5 mm, полученных кручением под высоким давлением (КВД) двухслойных пакетов из быстроохлажденных лент сплавов Al87Ni8Gd5 с аморфной структурой. Установлено, что увеличение твердости дисков, полученных при истинной деформации 77–230, обусловлено частичной нанокристаллизацией аморфной фазы. Также установлено, что предел прочности на изгиб для консолидированных дисков вдвое превосходит аналогичный предел для частично кристаллического материала, полученного термообработкой, что, по-видимому, обусловлено увеличением свободного объема аморфной матрицы в процессе КВД.

**Ключевые слова:** неравновесные структурные состояния, микротвердость, консолидация, кручение под высоким давлением, структура.



Цветков  
Тимур Валентинович



Лимановский  
Александр Иванович



Парфений  
Валерия Игоревна



Свиридова  
Екатерина Антоновна



Саяпин  
Валерий Николаевич



Ткаченко  
Виктор Михайлович



Васильев  
Сергей Владимирович



Ткач  
Виктор Иванович

## ВВЕДЕНИЕ

Сплавы на основе алюминия представляют собой важный класс конструкционных материалов, одним из основных требований к которым является сочетание высокой прочности с малым удельным весом. К настоящему времени многолетние разработки промышленных конструкционных сплавов, которые базируются на использовании известных механизмов упрочнения: измельчение размеров зерен, пересыщение твердых растворов, дисперсионное твердение и деформационное упрочнение [1] — привели к созданию материалов, максимальный предел прочности которых не превышает 600–700 МПа. Следовательно, для повышения прочностных характеристик необходим поиск новых механизмов упрочнения.

Одним из таких механизмов является формирование полностью неупорядоченных (аморфных) и частично упорядоченных (нанокомпозитных) структур, что позволило в сплавах на основе Al, легированных редкоземельными и переходными элементами, достичь пределов прочности 1000 и 1500 МПа соответственно [2]. Аморфные состояния в сплавах на основе Al получают закалкой из жидкого состояния как результат подавления кристаллизации, в то время как нанокомпозитные структуры являются следствием формирования в аморфной матрице нанокристаллов Al, объемная плотность которых может достигать 1024/м<sup>3</sup>.

Основным препятствием для реализации исключительно высокого уровня прочностных свойств алюминиевых сплавов с аморфной и нанокомпозитной структурой является низкая склонность расплавов к аморфизации. Несмотря на многочисленные попытки получения объемных образцов аморфных сплавов на основе Al, максимальный диаметр отливок, полученных к настоящему времени, не превышает 2,5 мм [3], что недостаточно для изготовления деталей или элементов конструкций. По этой причине основным направлением разработки высокопрочных конструкционных алюминиевых сплавов с неравновесными структурами является консолидация быстроохлажденных материалов, получаемых в форме лент, чешуек или порошков, размеры которых в одном измерении не превышают, как правило, 50 мкм.

Эксперименты по компактированию аморфных сплавов на основе Al, проведенные методами порошковой металлургии (в частности, изостатическим прессованием или экструзией), показали, что температурные режимы, необходимые для получения материалов с плотностью, близкой к теоретической, приводят к полной кристаллизации, которая сопровождается деградацией прочностных свойств. Более перспективными для этой цели оказались современные методы интенсивной пластической деформации [4], которые первоначально были разработаны для модификации структуры кристаллических сплавов. Как оказалось, при больших сдвиговых деформациях в методе винтовой экструзии консолидация дисперсных продуктов происходит при более низких температурах [5], а при использовании

метода кручения под высоким давлением (КВД) [4] консолидация аморфных сплавов на основе Al может быть достигнута даже при комнатной температуре [6,7]. Тем не менее, как установлено в этих работах, даже в процессе консолидации при комнатной температуре происходит частичная кристаллизация аморфной фазы.

Следует отметить, что в работах [6,7] метод КВД использовался для консолидации аморфных сплавов Al90Fe5Nd5 и AlNiCo(Y,Ce,Gd) в форме быстроохлажденного порошка и чешуек из размолотых лент соответственно. Вместе с тем, с практической точки зрения представлялось интересным изучить условия консолидации быстроохлажденных лент, сложенных в виде слоев, что являлось основной целью настоящей работы. В качестве объектов исследования были выбраны ленты металлического стекла Al87Ni8Gd5 [8]. Выбор этого сплава обусловлен как его высокими прочностными характеристиками [8], так и результатами предварительных исследований [9], согласно которым консолидация аморфных лент методом КВД происходит при относительно невысоких степенях истинной деформации (52.6).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованный в работе сплав номинального состава (в ат.%) Al87Ni8Gd5 (AlNiGd) готовился индукционным плавлением химически чистых компонентов в кварцевых тиглях в атмосфере Ar. Быстроохлажденные образцы сплава AlNiGd в форме лент шириной 10 мм и толщиной  $40 \pm 6$  мкм и  $40 \pm 8$  мкм получали методом спиннингования расплава в защитной атмосфере [8]. Быстроохлажденные ленты сплава AlNiGd были относительно пластичными и без разрушения выдерживали загиб на 180°C практически нулевым радиусом.

Эксперименты по консолидации лент проводили методом КВД между двумя пуансонами (наковальнями Бриджмена) в форме усеченных конусов с плоскими поверхностями диаметром 5 мм. Обработка производилась при комнатной температуре под приложенными давлениями 2 и 4 ГПа со скоростью вращения нижнего подвижного пуансона 1 г/мин. Деформации на угол  $2\pi$ ,  $4\pi$  и  $6\pi$  подвергались двухслойные образцы, конечная толщина которых составляла  $112 \pm 10$  мкм из лент сплава AlNiGd. Величина истинной деформации кручения,  $\gamma$ , рассчитывалась по соотношению [4]

$$\gamma(r) = \vartheta r / l$$

$$\langle \gamma \rangle = \frac{\int_0^R \gamma(r) dr}{R} = \vartheta r / 2l, \quad (1)$$

где  $\vartheta$  — угол поворота (в радианах),  $r$  — расстояние от центра образца,  $R$  — радиус консолидированного диска,  $l$  — толщина деформированного образца.

Атомная структура быстроохлажденных лент и деформированных образцов изучалась методами

рентгенографического анализа. Дифрактограммы снимались с помощью стандартного автоматизированного дифрактометра ДРОН-3М в фильтрованном кобальтовом излучении. Средние размеры кристаллитов рассчитывались с помощью соотношения Селякова-Шерера [10]

$$L = \lambda / (B \cos \theta), \quad (2)$$

где  $\lambda$  — длина волны рентгеновского излучения,  $B$  и  $\theta$  — физическая полуширина и угловое положение дифракционного максимума (111)-Al соответственно. Относительная доля кристаллической фазы,  $X$ , в частично закристаллизованном образце оценивалась из соотношения [11]

$$X = A_c / (A_c + A_a), \quad (3)$$

где  $A_c$  и  $A_a$  — площади кристаллических рефлексов ((111) и (200)) и аморфного гало соответственно.

Влияние деформации на механические свойства образцов оценивалось по изменениям микротвердости,  $H_v$ , измеренной с помощью стандартного микротвердомера ПМТ-3. Испытания проводились под нагрузкой 0.49 N, время экспозиции составляло 10 s. Толщина лент и консолидированных пластинок измерялась оптическим длинномером ИКВ-1 с точностью  $\pm 1 \mu\text{m}$ .

Консолидированные образцы, как и частично закристаллизованные, полученные в условиях непрерывного нагрева со скоростью 10 K/min, подвергались испытаниям на трехточечный изгиб. Расстояние между опорами составляло 2 mm. Конструкция опор, изготовленных из капролактама, жестко крепилась к станине инструментального микроскопа, а подвижная опора соединена с двухкоординатным столом того же микроскопа. В процессе испытаний на трехточечный изгиб измерялся критический прогиб перед появлением первой трещины.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Аморфный характер структуры исходной ленты сплава AlNiGd, использованной в экспериментах по консолидации, был подтвержден характером дифракционной картины, на которой отсутствуют четкие рефлексы от кристаллических фаз (рис. 1, кривая 1). Как следует из результатов рентгенографических исследований, деформация, создаваемая кручением на угол  $2\pi$  ( $\langle \gamma \rangle = 77$ ), которая обеспечивает полную консолидацию лент, приводит к появлению в структуре дисков наномасштабных кристаллитов чистого Al (рис. 1, кривая 2). Анализ этой дифракционной картины показал, что средние размеры нанокристаллов Al составляют  $40 \pm 2 \text{ nm}$ , а их доля — 11%. Увеличение средней истинной деформации до 154 приводит к увеличению объемной доли нанокристаллов Al до 19%, однако их средний размер существенно снижается (до  $11 \pm 1 \text{ nm}$ ). Дальнейшее увеличение истинной деформации дисков до  $\gamma = 231$  практически не влияет на долю закристаллизованного

объема, однако приводит к дальнейшему снижению размеров нанокристаллов до  $8 \pm 1 \text{ nm}$  (таблица 1). Наблюдаемые изменения структурных параметров свидетельствуют об увеличении объемной плотности нанокристаллов Al до  $6.7 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ .

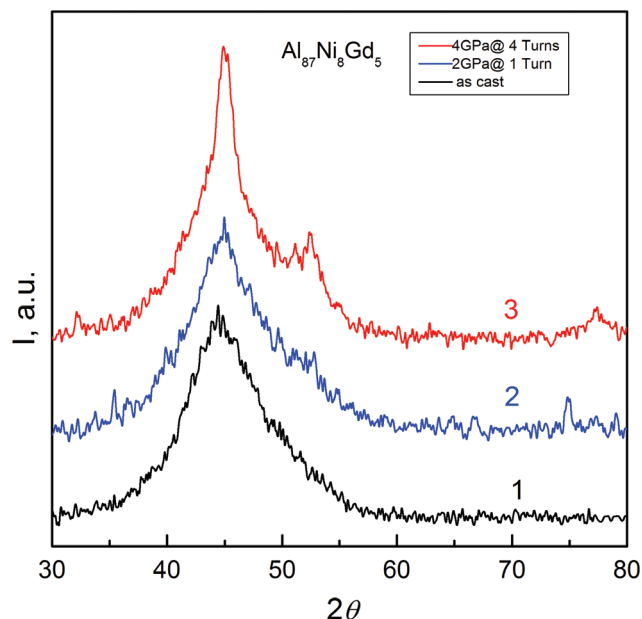


Рис. 1. Дифрактограммы быстроохлажденных лент сплава Al87Ni8Gd5 в исходном (1) и деформированных состояниях: 2) — 1 оборот под давлением 2 GPa и 3) — 3 оборота под давлением 4 GPa

Как было установлено ранее [8], частичная кристаллизация аморфного сплава Al87Ni8Gd5 в условиях непрерывного нагрева со скоростью 10 K/min до температуры 491 K приводит к росту микротвердости от значения 2.5 GPa в исходном аморфном состоянии до значения 3.75 GPa в частично кристаллическом, доля кристаллической фазы в котором составляет около 20%. При этом одновременно с ростом твердости нанокристаллизация в процессе термообработки сопровождается резким падением пластичности практически до нулевого значения [12].

Как показал анализ [13], рост микротвердости обусловлен образованием нанокристаллов алюминия, которые являются бездефектными в виду их малых размеров, и соответственно их твердость стремится к теоретическому пределу твердости идеального монокристалла ( $\geq 8 \text{ GPa}$ ).

Падение же пластичности в процессе термообработки связано с выходом свободного объема из аморфной матрицы (ее уплотнения) [12].

Частично кристаллический, консолидированный методом КВД, сплав уже при средней степени деформации 77 обладает более высоким значением микротвердости по сравнению с термообработанным сплавом (3.97 GPa по сравнению со значением 3.75 GPa). По мере увеличения деформации микротвердость выходит на насыщение и имеет значение 4.12 GPa. Такое увеличение микротвердости консолидированного материала по сравнению с термообработанным связано с более высокой плотностью нанокристаллов алюминия



Таблица 1.

Влияние деформации методом КВД на микротвердость и структурные параметры консолидированных образцов

P, GPa	n, оборот	$\langle \gamma \rangle$	$\langle H\mu \rangle$ , GPa	$\langle L \rangle$ , nm	X, %	N, m <sup>-3</sup>
0	0	0	2.5	0	0	0
2	1	77	3.97	40	11	3.3 10 <sup>21</sup>
2	2	154	4.12	11	19	2.7 10 <sup>23</sup>
2	3	231	4.12	9	17	4.5 10 <sup>23</sup>
4	3	231	4.12	8	18	6.7 10 <sup>23</sup>

в остаточной аморфной матрице вследствие их более мелких размеров. Полученные результаты согласуются с литературными данными [14] и свидетельствуют о более эффективном воздействии на структуру стекла интенсивной пластической деформации методом КВД по сравнению с «классической» термообработкой.

При испытаниях на трехточечный изгиб термообработанного аморфного металлического сплава AlNiGd толщиной 44 мкм (нагретого до температуры 491 К, со скоростью 10 К/мин), величина критического прогиба составила  $260 \pm 10 \mu\text{m}$ . На рис. 2а изображена форма прогиба термообработанного образца сплава AlNiGd при испытании на трехточечный изгиб непосредственно перед появлением в нем первой трещины, а на рис. 2б показан тот же образец после разрушения.

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_K} = \frac{h_T \Delta w_T}{h_K \Delta w_K}, \quad (4)$$

где  $h$  – толщина образца,  $\Delta w$  – величина критического прогиба, индекс «Т» относится к термообработанному сплаву, а индекс «К» к консолидированному. Расчет по выражению (4) дает отношение пределов прочности при поперечном изгибе.

Таким образом, консолидированный материал, кроме более высокого значения микротвердости по сравнению с термообработанным, имеет и практически вдвое больший предел прочности при поперечном изгибе. Учитывая, что произведение величин критического прогиба и толщины характеризуют пластичность

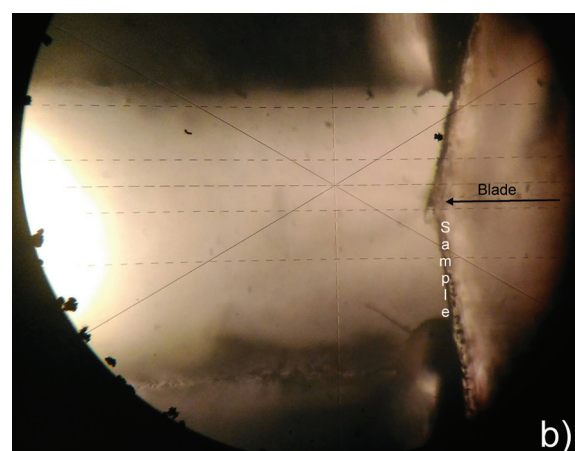
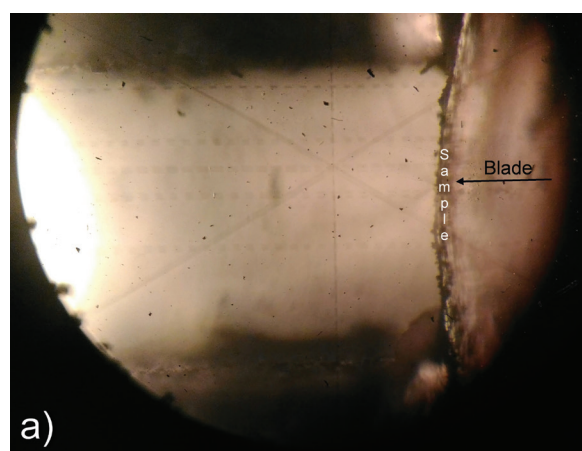


Рис. 2. Испытание на изгиб термообработанного ленточного образца сплава AlNiGd, полученного в условиях непрерывного нагрева до температуры 491 К со скоростью 10 К/мин: а) форма изогнутого образца до появления в нем первой трещины и б) – начало разрушения

Величина критического прогиба для консолидированного диска толщиной 112 мкм составила  $180 \pm 10 \mu\text{m}$ . Учитывая близкие значения модулей Юнга сплавов на основе Al в аморфном и закристаллизованном состояниях [15], отношение пределов прочности при поперечном изгибе может быть вычислено по следующему выражению:

материала, проведенная оценка свидетельствует о повышенной пластичности консолидированного образца с нанокompозитной структурой. Наиболее вероятной причиной увеличения пластичности деформированных образцов является увеличение свободного объема аморфной матрицы (разрыхление), что экспериментально наблюдалось авторами работы [16].

## ВЫВОДЫ

Эксперименты по использованию метода КВД для консолидации двухслойных пакетов лент сплава Al<sub>87</sub>Ni<sub>8</sub>Gd<sub>5</sub> с аморфной структурой показали, что:

- деформация лент сплава AlNiGd приводит к частичной нанокристаллизации аморфной матрицы – формированию нанокристаллов Al со средним размером, монотонно меняющимся от 40 nm до 8 nm по мере увеличения средней степени деформации от 77 до 231 и объемной долей, возрастающей от 11 до 19%;
- микротвердость консолидированных дисков возрастает по мере увеличения степени деформации с выходом на насыщение, соответствующее значению 4.12 GPa, что на 65 % выше значений H<sub>и</sub> исходных недеформированных образцов и на 10 % превосходит значение микротвердости термообработанного аморфного сплава, содержащего близкую долю нанокристаллов Al;
- испытания на трехточечный изгиб деформированных дисков показали, что они имеют вдвое большее значение предела прочности при поперечном изгибе по сравнению с термообработанными образцами с нанокompозитной структурой.

## Список литературы

1. Мирошниченко И. С. Закалка из жидкого состояния [Текст] / И. С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
2. Inoue A. High-strength aluminium alloys containing nanoquasicrystalline particles [Text] / A. Inoue, H. J. Kimura // *Light Met.* – 2001. – vol. 1. – pp. 31–41.
3. Yang B.J. Melt fluxing to elevate the forming ability of Al-based bulk metallic glasses [Text] / B. J. Yang, W. Y. Lu, J. L. Zhang, J. O. Wang, E. Ma // *Sci. Reports.* – 2017. – pp. 1–12.
4. Valiev R.Z. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation [Text] / R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev, I. V. Alexandrov // *Progr. Mater. Sci.* – 2000. – vol. 45. – pp. 103–189.
5. Shpak A. P. Nanostructured Al<sub>86</sub>Gd<sub>6</sub>Ni<sub>6</sub>Co<sub>2</sub> bulk alloy produced by twist extrusion of amorphous melt-spun ribbons [Text] / A. P. Shpak, V. N. Varyukhin, V. I. Tkatch [et al.] // *Mater. Sci. Eng. A.* – 2006. – Vol. 425. – pp. 172–177.
6. Yavari A.R., Botta Fihlo W.J., Rodrigues C.A.D., Cardoso C., Valiev R.Z. *Scripta Mater.* – 2002. – Vol. 46. – pp. 711–716.
7. Kovacs Zs. Directly hydrothermal growth of CdIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> nanosheet films on FTO substrates for photoelectric application [Text] / Zs. Kovacs, P. Henits, L. K. Varga, E. Schafner E., A. Revesz // *J. Alloys Compds.* – 2013. – Vol. 561. – pp. 5–9.
8. Маслов В. В. Микротвердость и структура нанофазных композитов, формирующихся при нагреве аморфных сплавов Al<sub>87</sub>Ni<sub>8</sub>RE (RE = Y, Gd) и Al<sub>86</sub>Ni<sub>8</sub>–xCoxGd<sub>6</sub> (x = 2, 6) [Текст] / В.В. Маслов, В.И. Ткач, В.К. Носенко [и др.] // *Металлофиз. новейшие технол.* – 2011. – Т. 33, № 5. – С. 661–672.
9. Лимановский А. И. Консолидация методом кручения под высоким давлением ленточных образцов алюминиевых сплавов с аморфной и кристаллической структурами [Текст] / А.И. Лимановский, В.Н. Саяпин, В.М. Ткаченко [и др.] // *ФТВД* – 2019 – Т. 29, № 2 – С. 5–13.
10. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ [Текст] / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.
11. Уманский Я. С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия [Текст] / Я.С. Уманский [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
12. Wesseling P. Quantitative evaluation of α-Al nano-particles in amorphous Al<sub>87</sub>Ni<sub>7</sub>Gd<sub>6</sub> – comparison of XRD, DSC, and TEM [Text] / P. Wesseling, B.C. Ko, J.J. Lewandowski // *Scr. Mater.* – 2003. – Vol. 48. – pp. 1537–1541.
13. Свиридова Е.А. Влияние химического состава аморфных сплавов на основе Al на термически индуцированное охрупчивание [Текст] / Свиридова Е.А., В.В. Максимов, С.Г. Рассолов [и др.] // *ФТТ.* – 2014. – Т. 56, №7. – С. 1304–1311.
14. Kim, H.S. Hardening behaviour of partially crystallised amorphous Al alloys [Text] / H.S. Kim // *Mater. Sci. Eng. A.* – 2001. – Vol. 304–306. – pp. 327–331.
15. Aronin A. Nanocrystal formation in light metallic glasses at heating and deformation [Text] / A. Aronin, A. Budchenko, D. Matveev [et al.] // *Rev. Adv. Mater.* – 2016. – Vol. 46. – pp. 53–69.
16. Inoue A. Amorphous, nanoquasicrystalline and nanocrystalline alloys in Al-based systems [Text] / A. Inoue // *Progr. Mater. Sci.* – 1998. – Vol. 43. – pp. 365–520.
17. Hajlaori K. Thermal expansion and indentation-induced free volume in Zr-based metallic glasses by real-time diffraction using synchrotron radiation [Text] / K. Hajlaori, T. Benemeur, G. Vaughan, A. R. Yavari // *Scr. Mater.* – 2004. – Vol. 51. – pp. 843–848.



# ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА В СИСТЕМЕ «ГАЛЛИЙ-ИНДИЙ»

В. Д. Александров, д.х.н., проф.; С. А. Фролова, к.х.н., доцент; Д. А. Шкильнюк,; Д. В. Мальцев  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** Методом циклического термического анализа исследовано влияние перегрева расплава эвтектического сплава Ga+14,2 мол.%In на величину предкристаллизационного переохлаждения на образцах массой 2 г. Установлено, что при перегревах жидкой эвтектики выше эвтектической температуры  $T_E = 288,3$  К и последующего охлаждения зависимость переохлаждения от перегрева имеет монотонно-возрастающий характер. Предельное значение переохлаждения составляет 25 К после предварительного прогрева расплава до 400 К. Установлено, что кристаллизация из переохлажденного состояния всегда носила «взрывной» характер со скоростью  $\approx 40-45$  К/с. При этом на величину переохлаждения не влияли ни скорости охлаждения от 0,01 до 10 К/с, ни длительная (в течение нескольких часов) изотермическая выдержка расплава в перегретом и переохлажденном состояниях.

**Ключевые слова:** галлий, индий, эвтектический сплав, термический анализ, перегрев, предкристаллизационное переохлаждение, предельное переохлаждение.



Александров  
Валерий Дмитриевич



Фролова  
Светлана Александровна



Шкильнюк  
Давид Александрович



Мальцев  
Дмитрий Валентинович

Сплавы галлия с индием широко используются в различных областях техники. Так, эвтектические сплавы галлия с индием и оловом — для замены ртути в кварцевых термopарах, жидких растворах вакуумных аппаратов [1]. Низкотемпературные эвтектические сплавы с галлием используют для создания реперных температурных точек с целью градуировки средств измерения [2]. Особый интерес представляют сплавы с индием, особенно эвтектический, которые применяют для т.н. «холодной» пайки. Вместе с тем, галлий и его эвтектические сплавы с Sn, In и др. склонны к большому переохлаждению и взрывной кристаллизации из этого состояния [3,4]. Т.к. для галлия [5] в зависимости от температуры прогрева жидкой фазы, а затем при охлаждении наблюдалось две разновидности кристаллизации — квазиравновесная (КРК) с практически отсутствием переохлаждения и неравновесно-взрывная (НКРК) с достаточно высоким переохлаждением (свыше 30 К), по-видимому, следовало ожидать таких же закономерностей и для эвтектического сплава Ga-In.

Диаграмма состояния Ga-In [6] (рис. 1) является диаграммой с односторонней ограниченной растворимостью со стороны In с максимальной растворимостью  $\approx 2,5$  мол.% Sb. Согласно диаграмме, состав эвтектики — Ga+14,2 мол.% In, эвтектическая температура  $T_E = 288,3$  К. В заэвтектической области имеется  $\beta$ -твердый раствор на основе олова с ретроградным солидусом. Т.о., эвтектический сплав ниже температуры  $T_E$  — это смесь кристаллов Ga и  $\beta$ -твердым раствором на основе In.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Методом циклического термического анализа (ЦТА) [7] исследовано влияние величины перегрева  $\Delta T^+$  расплава эвтектического состава Ga + 14,2 мол.%

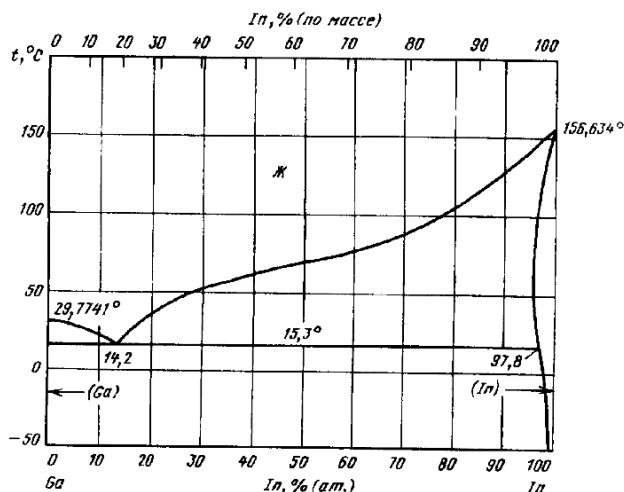


Рис. 1. Диаграмма состояния сплавов в системе Ga-In

In ( $\Delta T^+ = T - T_{\text{ж}}$ ,  $T > T_{\text{ж}}$ ) относительно эвтектической температуры  $T_{\text{ж}}$  на степень переохлаждения  $\Delta T^-$  ( $\Delta T^- = T_{\text{ж}} - T_{\text{мин}}$ ), где  $T_{\text{мин}}$  — минимальная температура в области переохлаждения, при которой начинается кристаллизация).

Эвтектические сплавы готовили сплавлением компонентов галлия и олова (марки ОСЧ) соответствующего состава общей массой 0,5 г. При сплавлении компоненты нагревали в алуновом тигле до температуры 530 К, т.е. выше температур плавления In (428 К) и Ga (305 К) и перемешивали до полного растворения. Термоциклирование всех образцов (5 шт.) проводилось в одинаковых условиях в т.н. «безградиентной» печи сопротивления, специально сконструированной для метода ЦТА. Печь с образцом находилась в холодильной камере «Веко» с температурой 249 К. Температуру измеряли хромельалюмелевой (ХА) термопарой с помощью цифрового термометра UT325 с выходом на персональный компьютер. ХА-термопара через защитный тонкий кварцевый цилиндрический колпачок непосредственно опускалась в расплав. Погрешность измерения температуры составляла ~0,1 К. Нижнюю границу во всех циклах поддерживали постоянной (253–255 К), а верхнюю поэтапно увеличивали на 2–3 К относительно верхней границы предыдущего цикла. Скорость нагревания лежала в пределах 3–4 К/мин. При охлаждении температура печи (и образца) уменьшалась от 6,0 до 0,05 К/мин. по экспоненциальному закону  $T = T_0 \exp(-\alpha t)$ , где  $T_0$  — температура на момент начала охлаждения,  $\alpha$  — константа.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате циклического нагревания и охлаждения эвтектического сплава Ga+14,2 мол.% In вблизи эвтектической температуры  $T_{\text{ж}}$  удалось установить ряд эндо- и экзотермических эффектов и закономерностей.

На рис. 2 приведены некоторые кривые нагревания — охлаждения эвтектического сплава в координатах

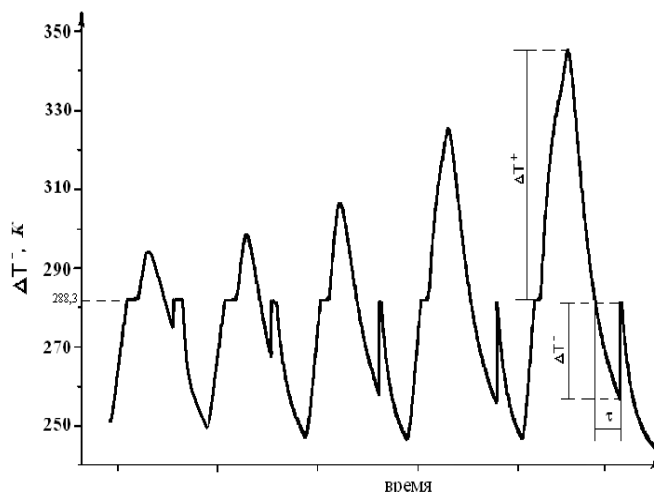


Рис. 2. Кривые нагревания-охлаждения эвтектического сплава Ga-In

температура  $T$  — время  $\tau$ , показывающее увеличение предкристаллизационного переохлаждения  $\Delta T^-$  в зависимости от перегрева  $\Delta T^+$  расплава.

Анализ термограмм на рис. 2 позволил установить наличие предкристаллизационных переохлаждений  $\Delta T^-$  при любых перегревах эвтектического сплава. Переохлаждение отсутствовало только после предварительных слабых прогревов расплава до ~0,5 К. В этом случае имела место квазиравновесная кристаллизация при температуре  $T_{\text{ж}}$ . При перегревах  $\Delta T^+$  расплава эвтектики относительно  $T_{\text{ж}}$  и дальнейшего охлаждения наблюдалось увеличение величины переохлаждения  $\Delta T^-$  до 25 К. Например, перегревам  $\Delta T^+ = 9, 14, 17, 27, 30$  К соответствовали переохлаждения  $\Delta T^- = 1, 3, 13, 23, 25$  К (рис. 2). Дальнейший перегрев жидкой эвтектики выше температуры  $T_{\text{ж}}$  от 30 К до 100 К практически не влиял на средние переохлаждения  $\langle \Delta T^- \rangle \approx 25$  К. Это переохлаждение можно считать предельным переохлаждением  $\Delta T_{\text{ю}}^-$  в условиях наших экспериментов.

Т.о., при нагреве жидкой эвтектики до любых температур выше  $T_{\text{ж}}$  и последующем охлаждении кристаллизация всегда происходила с предкристаллизационным переохлаждением  $\Delta T^-$  и носила неравновесно-взрывной характер на начальном этапе с быстрым подъемом температуры со скоростью 30–40 К/с. Последующая кристаллизация шла равновесно при температуре  $T_{\text{ж}}$ .

На рис. 3 на основании ~100 термоциклов нагревания и охлаждения приведен обобщающий график зависимости  $\Delta T_{\text{ж}}^-$  от  $\Delta T^+$  для эвтектического сплава.

Для эвтектического сплава зависимость  $\Delta T^-$  от  $\Delta T^+$  имеет вид:

$$\Delta T^- = \frac{\Delta T_{\text{ю}}^-}{1 + \exp(-c(\Delta T^+ - d))}, \quad (3)$$

где  $\Delta T_{\text{ю}}^- = 25$  К,  $c = 0,28 \text{ K}^{-1}$ ,  $d = 6,0$  К.

Из рис. 3 видно, что зависимость  $\Delta T^-$  от  $\Delta T^+$  для эвтектического сплава, как и у галлия, при увеличении перегрева  $\Delta T^+$  до 25 К носила монотонно-возрастающий

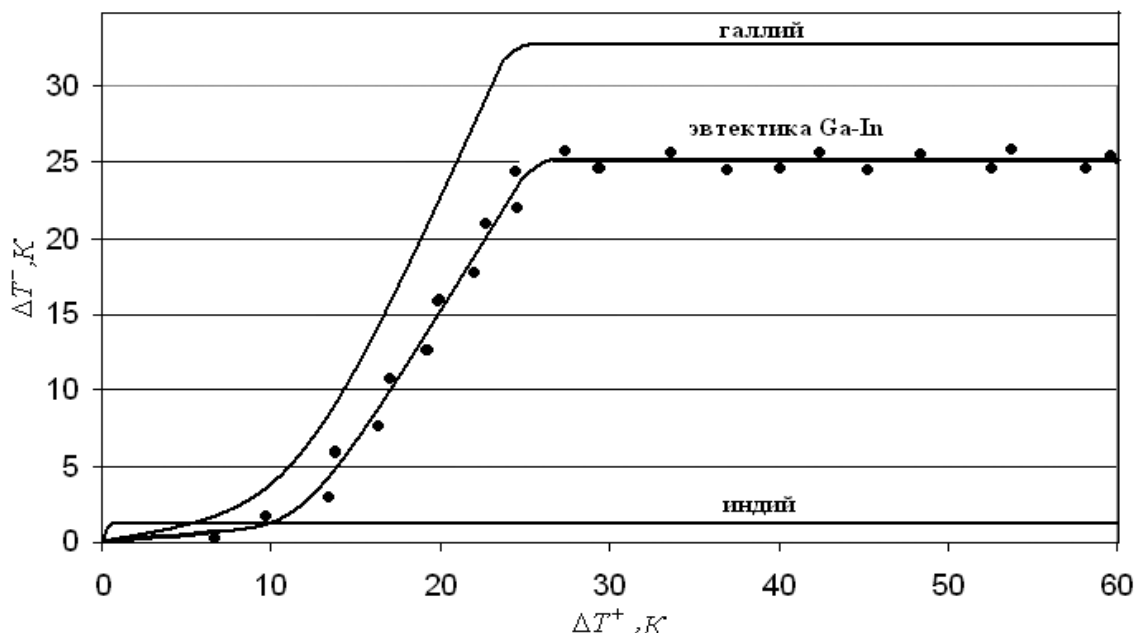


Рис. 3. График зависимости для эвтектического сплава Ga-In

характер, при дальнейших перегревах более 25 К величина  $\Delta T^-$  практически не менялась. Кристаллизация индия носила квазиравновесный характер практически без переохлаждения.

Трактовать эти результаты возможно с точки зрения кластерно-коагуляционной структуры. Эвтектика Ga-In состоит из галлия, имеющего орторомбическую кристаллическую решетку [8-10], в узлах которой находится двухатомный  $\text{Ga}_2$ , и твердого раствора на основе индия с тетрагональной решеткой [8-10]. В перегретом расплаве эвтектики сохраняются кристаллоподобные кластеры, концентрация которых зависит, видимо, от величины перегрева. При охлаждении эвтектического сплава от температур  $0 \leq \Delta T^+ \leq 25$  К за время  $\tau$  (рис. 2) т.н. инкубационного периода происходит зарождение кристаллов из кристаллоподобных кластеров, а далее их объединение в устойчивый зародыш, готовый к росту. Различная концентрация кристаллоподобных кластеров приводит к тому, что эвтектики, охлажденные от разных температур, имеют разную величину предкристаллизационного переохлаждения. Чем меньше перегрев расплава эвтектики, тем больше кристаллоподобных кластеров, сохраняется в расплаве. При температурах  $\Delta T^+ > 25$  К разрушаются почти все кристаллоподобные кластеры, и кристаллизация такого расплава происходит с максимальным предкристаллизационным переохлаждением  $\Delta T^- = 25$  К.

3. Александров В.Д., Фролова С.А., Амерханова Ш.К. Особенности кристаллизации эвтектического сплава в системе галлий-олово // *Металлы*. — Москва. — 2016. — № 3. — С. 47-52.
4. Александров В.Д., Фролова С.А. Влияние перегрева расплава галлия на его переохлаждение при кристаллизации // *Металлы*. — Москва, Россия. — 2014. — № 1. С. 19-24.
5. Александров В.Д., Фролова С.А. Влияние термовременной обработки жидкой фазы на кристаллизацию сплавов в системе Sn-Bi // *Расплавы*. — Москва. — 2003. — № 3. — С. 14-21.
6. *Диаграммы состояния двойных металлических систем* ред. Лякишева Н.П. Машиностроение, 1996-2000 г.
7. Александров В.Д., Постніков В.А., Фролова С.О., Прокоф'єв С.В. Спосіб сумісного циклічного та диференційного термічного аналізу // *Патент на винахід*. — 2008. — № 83721. — Бюл. № 15 від 11.08.2008р.
8. Глазов В.М. Основы физической химии. Учебное пособие для ВТУЗов. — М.: Высшая школа, 1981. — 456 с.
9. *Свойства элементов* // Под ред. Дрица М.Е. — М.: Металлургия. — 1985. — 672 с.
10. Крестовников А.Н., Вигдорович В.Н. Химическая термодинамика. — М.: Металлургия. — 1974. — 256 с.

#### Список литературы

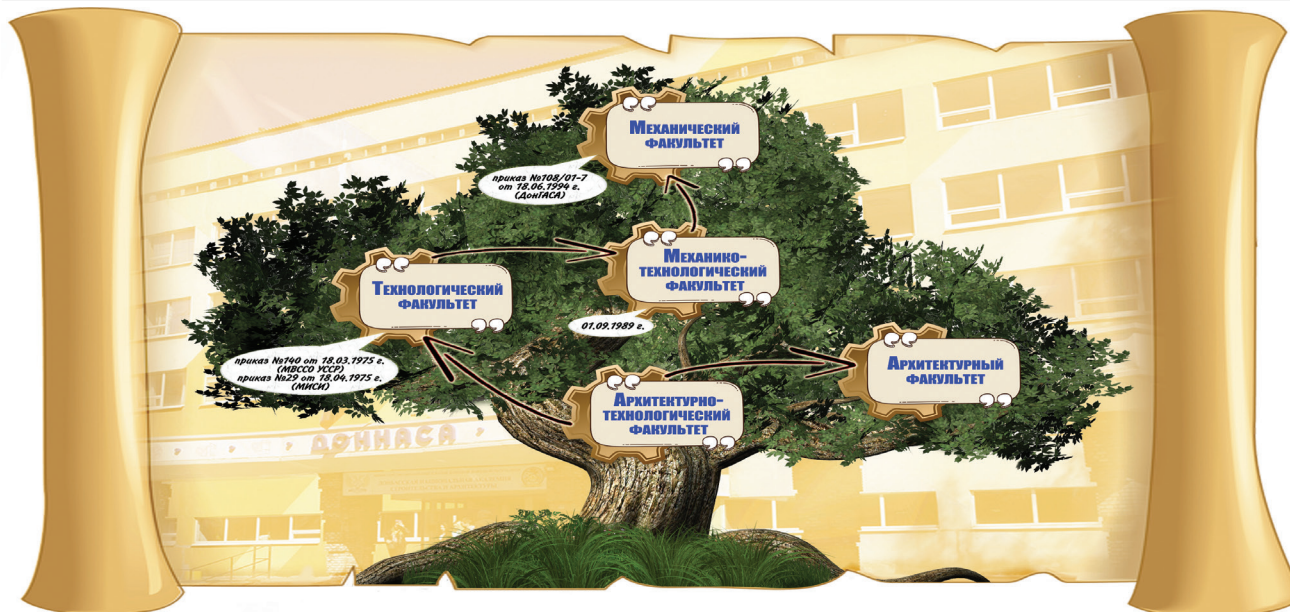
1. Ченцов В.П., Шевченко В.Г., Мозговой А.Г., Покрасин М.А. Плотность и поверхностное натяжение тяжелых жидкометаллических теплоносителей. Галлий и индий // *Перспективные материалы*. — 2011, № 3. — С. 46-52.
2. Яценко С.П. Галлий. Взаимодействие с металлами. — Москва: изд-во «Наука». — 1974. — С. 26-28.



# ИСТОРИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

А. Д. Бумага, к.т.н., доцент; О.Н. Шевченко, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



**Бумага**  
**Александр Дмитриевич**



**Шевченко**  
**Ольга Николаевна**

## ВСПОМНИМ КАК ВСЁ НАЧИНАЛОСЬ...

Истоки механического факультета берут начало в 1976 году, когда в составе технологического факультета нашего вуза была основана кафедра «Строительные машины» (Приказ № 429 от 22.11.1976 МинВУЗа УССР и №145 от 29.11.1976 МИСИ), чему предшествовало разделение кафедры «Технологии строительного производства» на «ТСП» и «Строительные машины и охрана труда» (Приказ №103 от 04.09.1976). Развитие кафедры «Строительные машины» в составе технологического факультета привело к тому, что в соответствии с Приказом №448 от 10.12.1982 по МинВУЗ УССР с 01.09.1983 был осуществлен первый прием на новую специальность «Строительные и дорожные машины и оборудование».

В 1989 году факультет был переименован в механико-технологический, а в 1994 году преобразован в механический (Приказ № 108/01-7 от 18.06.1994) с сохранением в его структуре переименованной кафедры подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования. После открытия в 1995 году специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» кафедра снова переименована – в «Автомобили, подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

В январе 2000 года на базе этой кафедры были образованы две: «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» (ПТСДМО) и «Автомобили и автомобильное хозяйство» (ААХ) (Приказ № 6/01-3 от 25.01.2000), которые в сентябре 2016 года вновь были объединены в одну: «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей, технологических машин и оборудования» в составе механического факультета. С 2009 года состав факультета пополнился еще двумя кафедрами (Приказ № 256/01-3 от 31.12.2008): «Физика и физическое материаловедение» (в период с сентября 2016 г. по сентябрь 2018 г. – «Физика, математика и материаловедение») и «Электротехника и автоматика» (с сентября 2017 г. – «Автоматизация и электроснабжение в строительстве»). На сегодняшний день механический факультет объединяет четыре кафедры: «Автомобильный транспорт, сервис и эксплуатация», «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства», «Физика и физическое материаловедение», «Автоматизация и электроснабжение в строительстве».



*Деканы механического факультета*



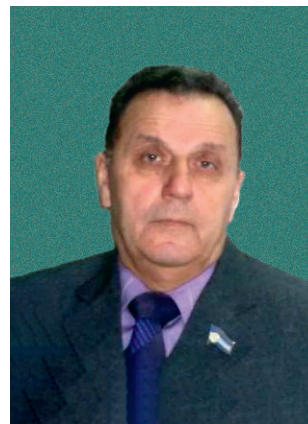
**Матвиенко**  
**Василий Андреевич,**  
профессор, доктор  
технических наук  
(с 1982 по 1990 год)



**Манакин**  
**Анатолий Петрович,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 1990 по 1991 год)



**Ефремов**  
**Александр Николаевич,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 1991 по 1996 год)



**Мельник**  
**Владимир Порфирьевич,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 1996 по 1997 год)



**Горожанкин**  
**Сергей Андреевич,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 1997 по 2000 год)



**Прилепский**  
**Юрий Валентинович,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 2000 по 2004 год)



**Чурсин**  
**Сергей Иванович,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 2004 по 2007 год)



**Бумага**  
**Александр Дмитриевич,**  
доцент, кандидат  
технических наук  
(с 2007 г.)

За время развития факультета его возглавляли: заместителями декана в определенные периоды были асс. Калганов А.И., асс. Кораблева Г.Г., к.т.н. Корольков Б.А., к.т.н. Бумага А.Д., к.т.н. Кралин А.К., к.т.н. Шевченко О.Н.

В 1987 году первые 18 выпускников факультета получили диплом инженеров-механиков по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование». Это стало историческим событием нашего факультета. Именно с этой даты и начался отсчет выпускников-механиков в нашем вузе.

Кафедра начала готовить специалистов по направлению «Автомобили и автомобильное хозяйство» с 1995 г. И событием 2000-го года в вузе был первый выпуск инженеров-механиков по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». 76 первых выпускников специальности могли похвастаться дипломом автомобилиста.

А на сегодняшний день факультетом подготовлено почти 5 тысяч специалистов. Лучшие студенты

продолжили свое образование в магистратуре и аспирантуре, лучшие выпускники пополнили ряды преподавательского состава.

В настоящее время факультет ведет подготовку по очной, заочной, ускоренной очной и заочной формам обучения по направлениям:

- 23.03.02 (бакалавриат) и 23.04.02 (магистратура) «Наземные транспортно-технологические комплексы», профиль «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» (ПТМ);
- 23.03.03 (бакалавриат) и 23.04.03 (магистратура) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профили «Автомобили и автомобильное хозяйство» (ААХ) и «Сервис и эксплуатация автотранспортных средств» (АС);
- 23.05.01 (специалитет) «Наземные транспортно-технологические средства» (НТТС), профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство».



Высокое качество подготовки специалистов обеспечивается на факультете, во-первых, высококвалифицированным преподавательским составом, большинство имеют ученые степени, звания и обладают большим опытом работы в высшей школе. В настоящее время на факультете работают три профессора, доктора технических наук, 11 доцентов, кандидатов технических наук. К учебному процессу привлекаются также опытные специалисты-производственники. Коллектив кафедр возглавляют ведущие специалисты с большим опытом работы в высшей школе: доктор технических наук, профессор Пенчук Валентин Алексеевич (кафедра НТТКС), кандидат технических наук, доцент Бумага Александр Дмитриевич (кафедра АТСЭ), доктор технических наук, профессор Александров Валерий Дмитриевич (кафедра ФФМ), кандидат технических наук, доцент Сельская Ирина Владимировна (кафедра АЭС).

Высокое качество подготовки обеспечивается постоянным совершенствованием методического обеспечения учебного процесса. В настоящее время за счет постоянного совершенствования методологической базы по всем преподаваемым дисциплинам разработаны паспорта согласно всем необходимым нормативным актам. Паспорта разработаны также на все направления дипломного проектирования.

Что немаловажно, механический факультет имеет и свою развитую материальную базу. Занятия по дисциплинам фундаментальной и прикладной подготовки проводятся в специализированных лабораториях механики и молекулярной физики, материаловедения и технологии конструкционных материалов, автоматики, электротехники и электроники. Дисциплины выпускающих кафедр представлены лабораториями с действующими макетами, что позволяет осуществлять математическое моделирование процессов перемещения и транспортировки грузов, изучать физические процессы в узлах и деталях при эксплуатации машин и многое другое. Такое оснащение имеют лаборатории землеройной техники, оборудования строительных предприятий, технологии производства и ремонта машин, диагностики и технической эксплуатации автомобилей, технического обслуживания и ремонта и другие.

На протяжении всего срока обучения в вузе студенты факультета имеют возможность участвовать в работах научного направления деятельности кафедр, в частности:

- разработка паспортов и рабочей документации на новое и модифицированное оборудование;
- оценка энергосберегающих процессов технологий, машин и оборудования для проектируемых предприятий;
- выдача конкретных рекомендаций по эффективному использованию энергосберегающих процессов и рабочих органов, реализующих процессы;
- автоматизация проектной деятельности для выполнения конструкторских разработок строительных машин и оборудования;
- обследование и оценка технического состояния,

паспортизация строительных машин, находящихся в стадии эксплуатации и проектирования;

- разработка и внедрение в учебный процесс учебно-методических комплексов дисциплин «Автоматизация», «Автоматика», «Общая электротехника и электроснабжение», «Вертикальный транспорт» с учетом новых нормативных стандартов, с использованием компетентностных подходов и применением интерактивных и мультимедийных технологий;
- кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных расплавов.

Ни для кого не секрет, что в ДОННАСА ведется активная общественная, культурная и спортивная жизнь. Студенты механического факультета традиционно показывают хорошие и лучшие результаты во всех этих направлениях жизни академии. Об этом говорят как современные достижения наших студентов, так и архивные документы:

Как показывают достижения, нынешние студенты механики не подводят своих предшественников:

- I место за «Дебют первокурсника» в 2014, 2016, 2017 гг.; I место в номинации «КВН» в дебюте первокурсника 2015 г.; II место за «Дебют первокурсника» в 2018, 2019 гг.
- команда КВН «Со вкусом» — трижды чемпионы Открытой Юзовской Лиги КВН, финалисты российских центральных лиг КВН (центральная лига «Поволжье», г. Казань), участники международного фестиваля КВН в г. Сочи «КиВиН-2017», «КиВиН-2018».
- команда КВН «Время первых» — серебряные призеры Открытой Юзовской лиги КВН, участники российской центральной Юго-Западной лиги КВН, участники Международного Сочинского фестиваля КиВиН-2019, финалисты Юго-Восточной лиги КВН, финалисты Луганской открытой лиги «Роллик» КВН, финалисты Открытой Юзовской Премьер-лиги КВН.
- Станислав Приймак — двукратный победитель Республиканского фестиваля молодежного творчества «Территория молодых» «Вокал» в 2018 и 2019 году; 30-го юбилейного евразийского фестиваля студенческого творчества «На Николаевской-2019» (г. Оренбург), лауреат I степени в направлении «Музыка» в номинации «Авторская песня» (спецприз за авторскую песню, г. Оренбург); победитель конкурса «Студенческая весна Донбасса» в музыкальном направлении, номинация «Авторская песня соло», 2018 и 2019 годы.

Современные молодые люди очень мобильны, поэтому широка география предприятий, на которых трудятся конструкторами, инспекторами, механиками и директорами предприятия выпускники факультета. Среди них есть крупные предприятия нашего региона и стран ближнего зарубежья, множество частных предприятий, занимающихся проектированием конструкций и механизмов, сервисом и обслуживанием автомобильной и строительной техники: автобаза ГП «Макеевуголь», ООО «Донецк-авто ЛТД»,



3. Наиболее важными достижениями факультета являются следующие:

1. Факультет являлся победителем в социалистическом соревновании в 1976 и в 1979 гг.

2. Студент гр. ПСК-IIа Мате И.Ф. в 1980 г. стал олимпийским чемпионом по вольной борьбе.

3. Художественная самодеятельность студентов факультета признана лучшей на вузовском фестивале "Студенческая весна-79".

4. Вокально-инструментальный ансамбль факультета занял I место в смотре-конкурсе комсомольской песни, посвященном 60-летию ВЛКСМ.

5. Количество преподавателей с учеными степенями и званиями возросла от 22,5% до 40%.

6. Качественный показатель успеваемости студентов составляет 52-55%.

7. 84-88% студентов защищают дипломные проекты на "хорошо" и "отлично".

8. 8% выпускников факультета получили дипломы с отличием.

9. Количество реальных дипломных проектов за 8 лет увеличилось до 30%.

10. Студенты факультета отмечены наградами на республиканском конкурсе студенческих научных работ

1976 г. - студ. Шевченко Т.М. и Цыганкова Л.В. (рук. доц. Базжин ЛИ) награждены дипломом III степени.

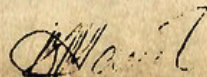
1978 г. - студ. Аношин А.М. (рук. Матвиенко В.А.) награжден дипломом III степени.

1980 г. - студ. Хацько В.И., Хацько Л.Д., Кривега А.В.

(рук. проф. Почапский Н.Ф.) награждены дипломом II степени

II. Студенческий строительный отряд факультета "Альтаир" в 1981 г. занял II место среди ССО института.

Декан технологического факультета



В.А. Матвиенко

коммунальное предприятие администрации г. Донецка «Донэлектроавтотранс», отдел транспорта администрации города Макеевки, ООО «АТП 11429», ООО «Фазтон», ООО «Магистраль», ООО «Экипаж», ООО «ТЕХНОСОЮЗ», ООО «ПРОМТЕХСЕРВИС ПЛЮС», ООО «ГАРАНТИЯ ТМ», государственное

предприятие «Машиностроительный завод «ИТРАС», государственное предприятие «Донецкгормаш», ООО АФ «Россия нова» и многие другие. И везде выпускников ДОННАСА принимают на работу с пониманием того, что специалист имеет достойный уровень теоретической и практической подготовки.

## **УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

Планируемый к изданию 10-й номер научно-практического журнала «Строитель Донбасса» будет включать статьи и сообщения, в которых излагаются результаты исследований и разработок по направлениям:

### **СТРОИТЕЛЬСТВО**

- теория расчета строительных конструкций;
- работа материала в составе конструкции, работа материала в условиях хрупкого разрушения, при циклических воздействиях и т.п.;
- проблемы формообразования и оптимальное проектирование зданий и сооружений;
- нагрузки и воздействия на конструкции, здания и сооружения;
- экспериментальные исследования строительных конструкций;
- изготовление строительных конструкций;
- теоретические основы надёжности конструкций зданий и сооружений;
- обеспечение и прогнозирование эксплуатационной надёжности уникальных сооружений;
- техническая диагностика и мониторинг конструкций зданий и сооружений;
- теория формирования и совершенствования строительных технологий;
- анализ технологических процессов при возведении, реконструкции, усилении, восстановлении строительных объектов;
- системы комплексных строительных технологий при возведении зданий, сооружений и инженерных сетей;
- организация и управление строительным производством при возведении, реконструкции, усилении, восстановлении строительных объектов;
- технология и организация эксплуатации зданий и сооружений промышленных предприятий и инженерных сетей;
- технология и организация ведения работ при демонтаже (разборке) зданий и сооружений;
- анализ эффективности применения основных строительных машин и механизмов при осуществлении строительно-монтажных, реконструктивных и демонтажных работ;
- строительные материалы.

### **ИНЖЕНЕРНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

- интенсификация процессов биологической очистки городских сточных вод;
- современные экологически безопасные технологии обработки осадка, инновационные подходы к разделению иловых смесей в биологических реакторах;
- повышение эффективности работы систем подачи и распределения воды;
- оптимизация режима работы теплогенерирующего оборудования систем тепло-снабжения;
- использование низкопотенциальной теплоты в системах тепло- и холодоснабжения;
- энергосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования;
- обеспечение безопасности строительных объектов при возникновении ЧС техногенного характера;
- изучение методов предотвращения обрушения строительных объектов при катастрофах;
- повышение надёжности систем городского хозяйства;
- развитие транспортных систем населённых пунктов;
- комплексная реконструкция территорий промышленных предприятий региона
- электротехника и автоматизация в строительстве.

### **АРХИТЕКТУРА**

- исследование проблем архитектуры, ее стилеобразования, эстетики и художественной выразительности;
- процессы формирования современной градостроительной среды объектов городской застройки;
- особенности развития садово-парковой и ландшафтной архитектуры в современных социально-экономических условиях;



- разработка основных положений и приоритетных подходов к сохранению и развитию архитектурно-исторической среды в рамках концепции устойчивого развития городских территорий;
- определение фундаментальных основ и приоритетных подходов развития и совершенствования жилищной архитектуры в условиях нового строительства и реконструкции;
- особенности формирования архитектурной среды жизнедеятельности и реабилитации маломобильных групп населения в городах промышленного типа;
- исследование региональных особенностей архитектуры зданий и сооружений и их комплексов, в том числе объектов историко-архитектурного культурного наследия;
- определение научных и практических направлений развития архитектурно-градостроительной реконструкции зданий и сооружений, городских территорий гражданского и промышленного назначения;
- прогнозные исследования в области архитектурной модернизации промышленных зданий и сооружений;
- теоретические и экспериментальные основы градостроительного использования нарушенных территорий в промышленных городах.

## **ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И НЕДВИЖИМОСТИ**

- актуальные вопросы экономики строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- теоретические и прикладные аспекты управления проектами;
- новое в экспертизе и управлении недвижимостью;
- инвестиционные проблемы развития промышленного и гражданского строительства;
- цифровая экономика в строительстве: перспективы развития;
- кадровое обеспечение строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- отраслевые приоритеты научных исследований в области экономики и управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством.

## **ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

- автотранспортное обеспечение строительного комплекса;
- совершенствование конструкции, рабочего процесса и технологии ремонта современных автотранспортных средств;
- эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов;
- подъёмно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование;
- повышение комплексной безопасности технологического процесса при использовании наземных транспортно-технологических машин;
- физико-химическое материаловедение транспортно-технологических машин и оборудования;

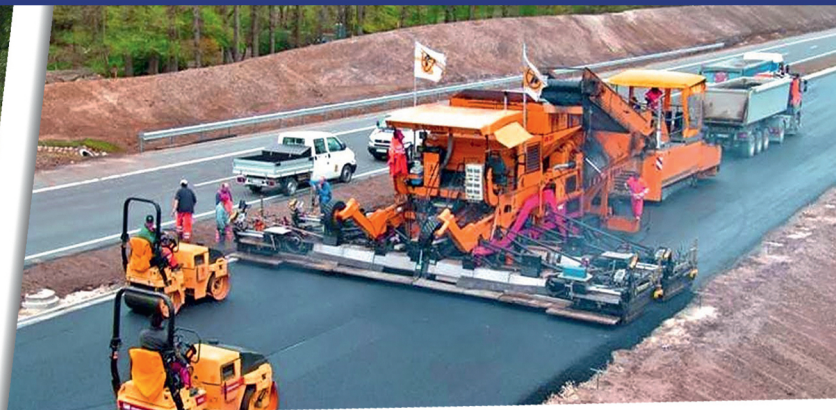
**Материалы просим направлять до 3 марта 2020 г. по адресу:**

**86123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, дом. 2,  
ГОУ ВПО «ДОННАСА». Электронная почта: [strdon@donnasa.ru](mailto:strdon@donnasa.ru)**

**При подаче материалов придерживайтесь «Требований для авторов»  
с целью обеспечения наиболее быстрой публикации ваших статей.**

*С уважением, редакционная коллегия*





ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»



ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, дом 2



+38(0623) 43 -70 -33



mailbox@donnasa.org