

ДОНБАССКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*Выпуск 5 (48) 2017*



СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Сборник  
научных трудов  
Донбасского государственного технического  
университета**

Сборник  
Выходит 1–4 раза в год  
Основан в июне 1999 г.  
Выпуск 5 (48) 2017

**Збірник наукових праць  
Донбаського державного технічного університету**

Збірник  
Виходить 1–4 рази на рік  
Заснований у червні 1999 р.  
Випуск 5 (48) 2017

**Collection of Scientific Papers of DonSTU**

Collection  
Publishing 1–4 times a year  
Founded in June 1999  
Issue 5 (48) 2017

Алчевск  
2017

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 +  
621.3 + 33 + 621.37 + 1

**Сборник научных трудов  
Донбасского государственного  
технического университета**

**Сборник**

Выпуск 5 (48) 2017

**Основатель:  
Донбасский государственный  
технический университет**

---

*Свидетельство Министерства  
информации, печати и массовых  
коммуникаций ЛНР о государственной  
регистрации средства массовой  
информации МИ-СТР ПИ 000003  
от 05.02.2016*

*Рекомендовано ученым советом  
ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ»  
(Протокол № 6 от 03.03.2017)*

*Включен в наукометрическую базу  
данных РИНЦ*

---

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Усл. печат. л. 24,2  
Заказ № 78  
Тираж 100 экз.

Издательство не несет ответственности за  
содержание материала, предоставленного  
автором к печати.

Адрес редакции, издателя и основателя:  
ГОУВПО ЛНР «Донбасский  
государственный технический  
университет»  
пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР  
94204

E-mail: [info@dstu.education](mailto:info@dstu.education)  
Web-site: <http://www.dstu.education>

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ  
ЦЕНТР.

ауд. 2113, т/факс 2-58-59  
Свидетельство о государственной  
регистрации издателя, изготовителя  
и распространителя средства массовой  
информации  
МИ-СТР ИД 000055 от 05.02.2016.

**Главный редактор**

Зинченко А. М. — к.э.н., и.о. ректора

**Заместитель главного редактора**

Новохатский А. М. — д.т.н., проф.

**Редакционная коллегия:**

Литвинский Г. Г. — д.т.н., проф.  
Финкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнеев С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. А. — к.т.н., доц.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницкий В. Н. — к.т.н., проф.

Зелинский А. Н. — к.т.н., проф.

Куберский С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. Н. — к.т.н., доц.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух Н. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н., доц.

Псюк В. В. — к.т.н., доц.

Скомская С. А. — секретарь редакционной коллегии.

Для научных сотрудников, аспирантов,  
студентов высших учебных заведений.

**Язык издания:**  
русский, украинский и английский

Исмаилова Л. М. — корректор

© ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017  
© Чернышова Н. В., художественное  
оформление обложки, 2017

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

---

---

**НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ**

---

---

**GEOSCIENCES**





UDC 622.2:001.18

*Prof., PhD Litvinsky Garry G.  
(DonSTU, Alchevsk, LPR)*

## MINING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY OF THE FUTURE

*The retrospective analysis revealed the causes of stagnation and major deficiencies in mining engineering. The need to change the old conservative scientific doctrine to the progressive new was proved. Examples of new technical solutions and technologies of mining equipment (frontal roadheader, auger excavation aggregate, mine hoisting and drainage system) and the forecast of the mining development is made.*

**Key words:** *analysis, forecast, mining equipment, mining technology, scientific doctrine, efficiency, roadheader, excavation unit, mine hoisting, mine drainage.*

### Introduction

A retrospective analysis of the state and the historical development of the mining industry has shown that the first stage of its development is an advanced outpost of the science and technology development. However, so far in this industry there are clear signs of stagnation. Scientists of many countries considered the state of the mining industry from different perspectives and offer their predictions for its future development [1-5 etc.]. At the same time, most of these publications were devoted to discussion primarily organizational and economic problems. The concrete proposals were often neglected to change the base of the mining industry - its technology and equipment. Now the period of changing the technological structures of the world economy has come. It requires high-quality («jump») changes in the principles of mining production processes.

The aim of the article is to analyze the causes and to predict the perspective directions of mining machinery and technology development in the transition of global economy to a new (sixth) technological order. To do this, let's identify the technical contradictions responsible for the stagnation arising of the mining industry development, the main relics, outdated (relic) solutions inherent to mining equipment and technology and to develop ways their overcome on a new conceptual framework. Thus, complicated unresolved problem stands before mining industry on selecting alternative ways of development which, figuratively speaking; turn to

uncompromising struggle of old and new scientific doctrines.

### Struggle between old and new scientific doctrines

Looking at the technical side of the problem, we highlight the following main drawbacks of the mining industry:

- mining industry destroys the environment; pollute it with mine waters, methane emissions and gas and waste rock dumps, dramatically affects the water balance of the territory;

- an unacceptably high level of danger and emergency operations because of the inefficiency of ventilation, heat, and dust disturbances regime, frequent rock collapses and the destruction of the lining, the dangers of fires, explosions of gas and dust, flooding, etc.;

- mining equipment and systems have a large mass and spending energy, do not meet the principles of automation, mechatronics, do not provide manless technology and work organization;

- technological schemes of opening, preparation and development of deposits are unnecessarily diverse and complex, require the use of a wide range of specialized equipment and a large part of manual work;

- miners are in extremely unhealthy conditions (temperature extremes, dust, noise, vibration, bad lighting, air and water pollution), labor operations belong to a high category of intensity, are carried out in a forced position of the body (often lying and crawling), in imposed by mining machines pace.

Overcoming major technical contradictions in the mining industry lies on the way-out of the inertia vector of thinking inherent in existing nowadays the old **conservative** doctrine of mining technology.

The old conservative doctrine of mining technology uses:

- **inertia vector of thinking**: the outdated ideas and principles of mining, relics of the techniques and technologies;

- the concept of the **extensive** development of individual elements of the technology and techniques (increase of power, weight, size, speed, power availability, etc.)

- **incremental** improvements in **traditional** technical solutions aimed at eliminating "bottlenecks".

The inertia of thinking still dominates among manufacturers, designers and scientists and contributes to the preservation of relics and technical solutions, technical snowballing accumulation of contradictions, making them irresistible. We believe such technical relics are: cutters for breaking rocks, rails underground transport, pipe for drainage and ventilation, ropes in the hoisting, cables in power supply and for communication, forced mining ventilation, a huge complex surface, cyclicity in technology, etc.

The history of the development of technical systems has proven that attempts to overcome the technical contradiction based on traditional approaches cannot succeed and are fateful. It should be "**flexible thinking**" as the key to success in rapid changing of industry environment, e.g. mining companies need new basic solutions.

Based on the analysis of status and trends of mining industry development, we offer a new scientific doctrine, which involves:

- identifying, understanding and **overcoming** a qualitatively new level of accumulated technical **contradictions**;

- use of the concept of **intensive** development of mining machinery and technology, changing the **essence** of technology and design **principles** of the engineering;

- the rejection of the existing relics of technical solutions, a **fundamental change** in the existing conventional approaches and beliefs, to **overcome** the "**inertia vectors**" of thinking;

- the transition to using the **mechatronics** and **automation** principles in mining equipment, to providing secure, manless, in-line and environmentally friendly mining technologies.

Currently, there is a sharp struggle of these alternative scientific doctrines, the outcome of which depends on the development of the mining industry in the medium and long term. As examples, we present some solutions of mining equipment and technology to meet the requirements of the new scientific doctrine. These examples are special technical solutions in a number of design and technological researches carried out in the Donbass State Technical University.

#### **Frontal mining intelligent roadheader «MIR»**

Roadheaders [6] should be referred to as one of the basic types of mining equipment. Their extensive development has led to the emergence and consolidation of the following disadvantages: manual control and inability to being automated, absence of unification (a wide variety of types and modifications), poor adaptation to changing geological conditions, lengthy preparatory and final operations, low availability factor (0.5 ... 0.7) and time use index (0.2 ... 0.4). The cutting tools are outdated and have become one of the main brakes of roadheaders' improvement.

The main technical contradiction in this direction of mining machinery development was a functions discrepancy of executive cutting tool (equipped with incisors) and pressure (in the form of caterpillars) roadheader bodies carrying out the requirements of high-speed penetrations of the inclined and curved mining workings [6]. Existing roadheaders have been difficult to automate, they are not suitable for hard rock ( $f > 5 \dots 7$ ) and inclined workings, heading rate is less than 200 ... 300 m / month. High dust content, noise and vibration are occurred in the workings face.

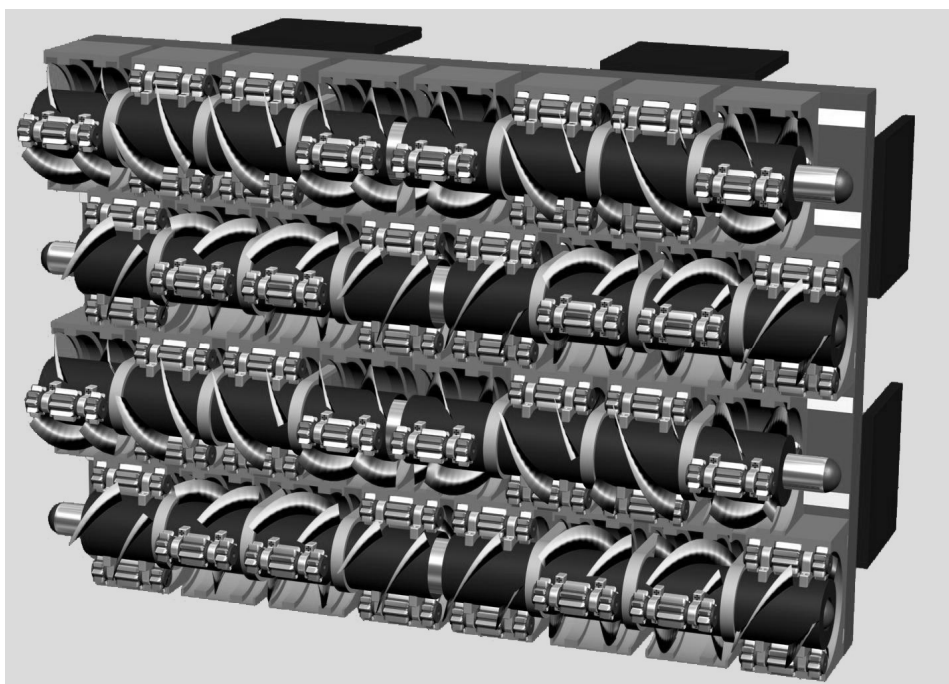


Figure 1 Frontal mining intelligent roadheader «MIR» (view of the working unit)

Based on the analysis of work and overcoming the inherent combines technical contradictions, we have developed the frontal mining intelligent roadheader «MIR» (Fig. 1) with a radically new arrangement for the streaming automated heading technology for horizontal and inclined ( $\pm 30^\circ$ ) workings in rocks of any hardness (up to  $f = 20$  or more) with a rate of 50...100 m / day (1500 ... 2000 m / month.).

The main structural differences of the roadheader "MIR" are the working unit in the form of a base' diaphragm with the augers and running cutters. The augers are rotated by high-torque voluminous hydraulic motors on a "stator-wheel" scheme from the pumping station. Propulsion of the roadheader is made of a walking type hydraulic jacks and base plates. The roadheader operates automatically under computer control.

The advantages of the roadheader «MIR» are safety and comfort working conditions (dust, vibration, temperature are excluded), continuous streaming technology, full automation of the work using the principles of mechatronics; versatility on any type of rock hardness and type of workings, simplicity and cheapness of construction; cutting of hard rock

by cutters due to high (200-300 ton) thrust forces on the working face, the absence of expensive and bulky gears (no shafts and tooth-ing); accuracy in keeping contour and predetermined heading route, high maneuverability (turning radius up to 10 m); a high heading rate (50-100 m / day), increase of labor productivity 7-12 times; reducing the cost of drilling 3-4 times, a payback period of less than 4-6 months.

#### **The frontal aggregate of the screw coal mining (AFSM)**

The main role in coal mining production on modern mines belongs to a shearer and a plow operating in a working face under the protection of the powered roof supports. The cutters are used as a cutting tool [6]. Disadvantages of this technique are much the same as that of the roadheaders with incisors.

To solve the problem of a manless coal mining with the help of streaming technology, we have developed the **frontal aggregate AFSM** (Fig. 2). It has excavation and delivery auger, working body with running cutters. The switchboards fence is fixed on augers. It eliminates the coal loss and the possible dilution by falling rock.

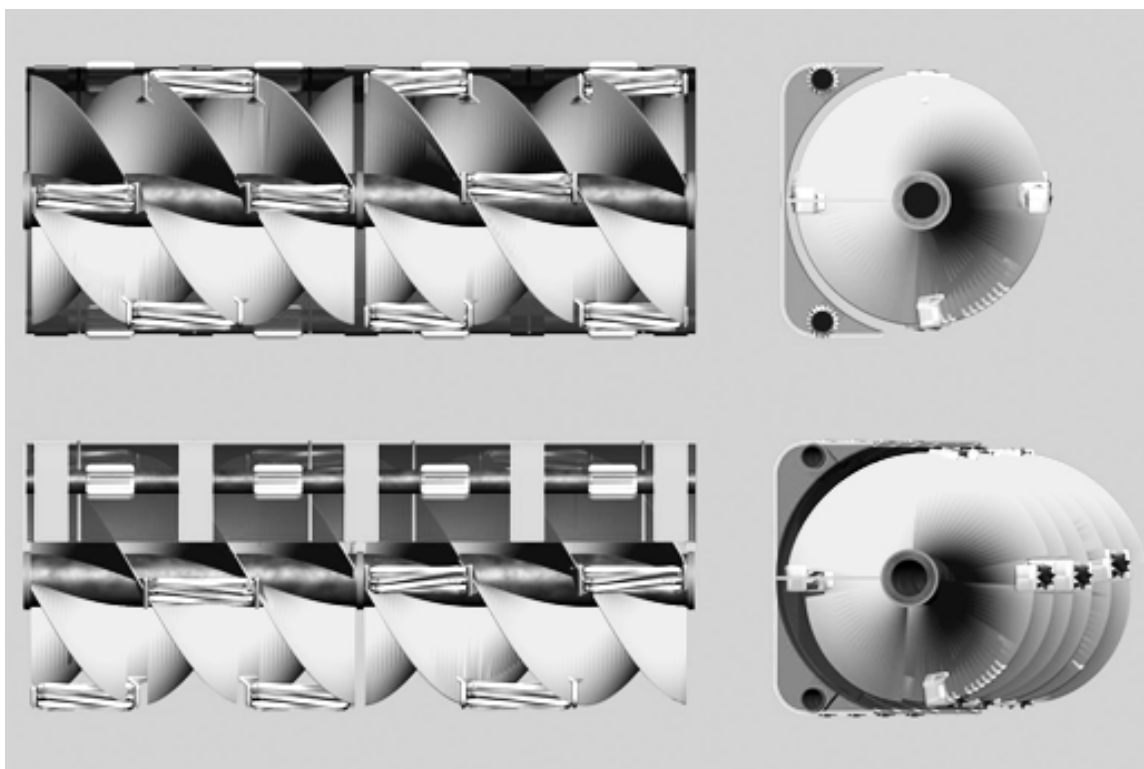


Figure 2 The frontal aggregate of the auger mining coal AFSM

The aggregate creates a thrust on the coal-face and is moved by thrust rollers. They can roll on the ground of a coal seam. Rolling cutters on augers produce effective frontal cutting of a coal face, at the same time reducing the resistance to rotation of the augers (rolling bearing effect).

Moving speed of the frontal aggregate is about 0.05 ... 2 mm / s. Due to the compact of aggregate and its high speed (to 50 ... 100 m / day) is not need for fixing the coal seam roof, which turns into a smooth descent mode. Miners are not required in the lava and ventilation is not necessary.

The advantages AFSM include: manless mining, streaming and continuity of the coal mining productivity, full automation, high capacity 150–200 t / h of coal from the lava, which has 100 meters in length, a neutral gas environment without ventilation of lava, simplicity and low cost of the aggregate construction, it is possible to extract thin coal seams from 0.4 m with angles of dip from 0

to 40–50 degrees, short the payback period of up to 1 month.

#### **Ropeless hydrojack hoisting and pipless drainage (HJHD)**

Modern mining hoist [7] has serious fundamental deficiencies that preclude its use for mining enterprises of the future: a large mass, insufficient carrying capacity and reliability of the rope; low efficiency factor (0.4 ... 0.5) and low productivity; cyclical operation, the complexity of automation.

Mining hoist problems can be resolved by eliminating the rope, which became the main vector of the thinking inertia [7]. To this end, we have developed an alternative and, at first glance, an unusual solution to this problem - ropeless hydrojack hoisting and pipless drainage. It includes (Fig. 3) lifting cans about 1 m<sup>3</sup> in the form of 2 columns of boxes and their propulsion system is a hydraulic cylinders. They stand at the reference stations in on the distance 120 ... 250 m along the shaft and move cargo and empty columns along the rails.



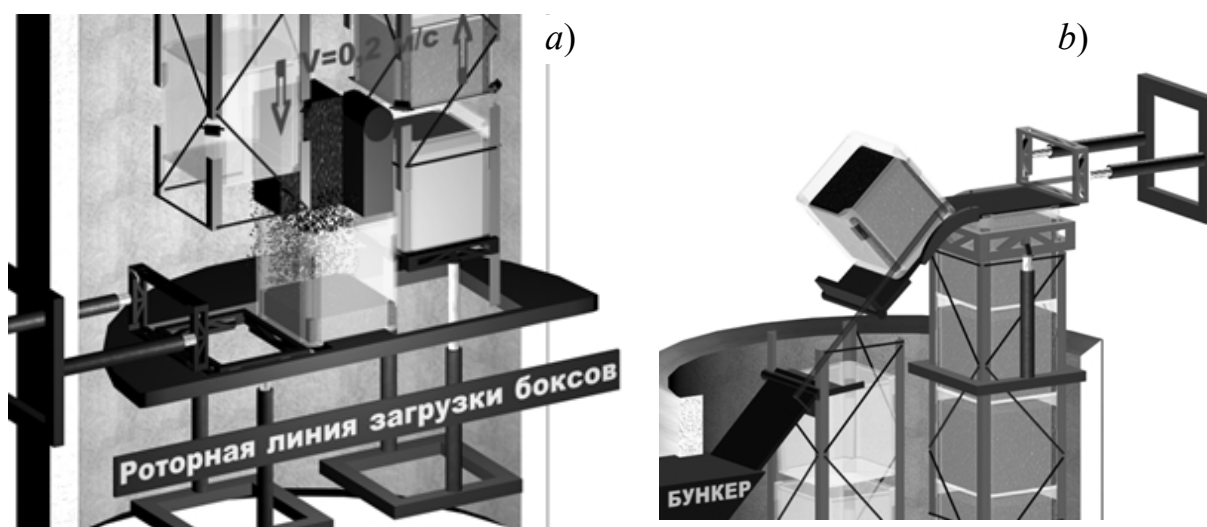


Figure 3 Ropeless hydrojack mining hoist and pipeless drainage: a rotary line a) in the shaft when loading boxes by the ore or mine water, b) on the surface at their unloading

Hydraulic cylinders operate continuously and automatically. They are connected to the stationary pumping stations at the surface. The lifting boxes are filled with bulk water or coal on the lower horizon by an automatic rotary line (area about 3 m<sup>2</sup>) and the cargo' column is lifted at a rate 0.2 ... 0.3 m / s at the mine surface where compact (area also 3 m<sup>2</sup>) automatic rotary line unloads boxes. Columns of empty boxes are lowered down at the same rate. Productivity the new mine hoist only in one shaft exceeds 20 thousand t / day and does not depend on the depth of lift. It allows a fulfil drainage for mine and fully refusing pumps, pipes, sophisticated drainage equipment, underground pumping cameras and so on. Specific energy consumption 1.8 ... 2.2 times lower, hardware and maintenance is cheaper 3–4 times.

### Conclusions

As part of the new scientific doctrine, we offer new design solutions for achievement of energetically self-sufficient and environmentally "clean" mining companies:

- new models of mining equipment and underground transport (methanol diesel trucks, gravity hydraulic transport of coal, leaving the empty rock in the mine);

- universal opening schemes, preparation and development systems of coal seams;

- energy supply (energy system of the free-piston methane-diesel engines); ventilation (to creat 100% CH<sub>4</sub> the neutral gas underground environment) and surface structure of mine (in the form of a compact closed block), and others.

The implementation of new and promising research results, united in a uniform technological mining industrial system allows the mining of domestic mining and engineering go to its rightful place in the global division of labor and competition, to solve the problem of the economy to ensure the country's energy and raw materials, significantly improve the socio-economic level people and society.

### Reference

1. Deutch J. *The Future of Coal* / John Deutch. — <http://breakingenergy.com/2013/12/04/>
2. Litvinsky, Garry G. *Problem eksploatacji cienkich pokladow w ukraińskich kopalniach wegla kamiennego Zagłębia Donieckiego.* / Garry G. Litvinsky // *Proc. of the School of Undergr. Mining 2002 : Intern. Mining Forum. Polish Acad. of Science.* — Krakow : Nauka-Technica, 2002. — pp. 343–363.

3. Plakitkina, L. S. Analysis of the status and outlook for the coal industry of Russia until 2035" / L. S. Plakitkina // Mining journal. — 2015. — № 7. — pp. 11–14.
4. Puchkov, L. A. Underground mining / L. A. Puchkov, Yu. A. H. Zhezhelevskiy. — M. : Gornaya kniga, 2009. — 624 p.
5. Shmatko, C. I. On measures for the integrated development of the coal industry of the Russian Federation / C. I. Shmatko. — Ugol, 2011. — № 1. — pp. 4–10.
6. Gorbatov, P. A. Mining machinery for underground mining / P. A. Gorbatov, G. V. Petrushkin. — Donetsk : Nord Kompyuter, 2006. — 669 p.
7. Bezhek, V. R. Mine rise / V. R. Bezhek, V. I. Dvornikov, I. G. Manets, V. A. Pristrom. — Donetsk : Yugo-Vostok Ltd., 2007. — 623 p.

© Литвинский Г. Г.

*Recommended for publication by Doctor of Science,  
head of Chair CUS&M DonNTU Bohchevskii S. V.,  
PhD, ass.prof., chair DMD DonSTU Melezhyk A. I.*

*The date of submission 28.02.17.*

**д.т.н. Литвинский Г. Г. (ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)**

#### **БУДУЩИЕ ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

*Ретроспективным анализом выявлены причины технического застоя и основные недостатки горной промышленности. Показана необходимость замены старой консервативной научной доктрины на новую прогрессивную доктрину. Даны конкретные примеры новых технических решений и технологий для горной промышленности: проходческий комбайн, лив. шнековый агрегат для добычи угля, шахтный бесканатный подъем и беструбный водоотлив.*

**Ключевые слова:** технология добычи, горные машины, научная доктрина, проходческий комбайн, шнековый агрегат для добычи угля, шахтный подъем, шахтный водоотлив.

**д.т.н. Литвинський Г. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **МАЙБУТНІ ГІРНИЧІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ**

*Ретроспективним аналізом виявлено причини технічного застою і основні недоліки гірської промисловості. Показана необхідність заміни старої консервативної наукової доктрини на нову прогресивну доктрину. Дано конкретні приклади нових технічних рішень і технологій для гірничої промисловості: прохідницький комбайн, шнековий агрегат для видобутку вугілля, шахтний безканатний підйом і безтрубний водовідлив.*

**Ключові слова:** технологія видобутку, гірські машини, наукова доктрина, прохідницький комбайн, шнековий агрегат для видобутку вугілля, шахтний підйом, шахтний водовідлив.

УДК 622.647.1

*д.т.н. Корнеев С. В.,  
к.т.н. Зотов В. А.,  
Доброногова В. Ю.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ НАТЯЖНЫМ УСТРОЙСТВОМ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

*Разработаны принципы построения системы адаптивного управления гидравлическим натяжным устройством скребкового конвейера на основе одноплатных компьютеров. Приведен алгоритм работы системы.*

**Ключевые слова:** скребковый конвейер, гидравлическое натяжное устройство, адаптивное управление, одноплатный компьютер.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** При эксплуатации забойных скребковых конвейеров возникают проблемы, связанные с чрезмерными натяжениями и провисаниями тягового органа (ТО) в рабочем режиме работы конвейера и при заклиниваниях цепей, а также с несовершенством существующих способов монтажного натяжения ТО и технологией перемещения конвейера на забой после прохода выемочной машины.

Известны разработки, направленные на решение отдельных задач посредством гидравлических натяжных устройств (ГНУ) с узлом раздвижности. Изначально ГНУ предназначалось для создания контролируемого монтажного натяжения ТО без рассоединения цепей. Затем ГНУ предписывалось регулирование натяжения в рабочем режиме [1].

В результате исследований [2–6] получена доказательная база возможности создания системы автоматического управления ГНУ, реализующей управление натяжением ТО. Возможно также расширение функций системы.

В работах [2, 3] установлено, что адаптивное управление натяжением, особенно при неравномерном заполнении става грузом по длине конвейера, позволяет: 1) повысить долговечность ТО по фактору износа шарниров цепей [2]; 2) снизить энергоем-

кость процесса перемещения ТО по изогнутому в профиле ставу [3]; 3) исключить провисание нижней ветви ТО и, как следствие, возможность схода цепей со звездочек, затягивания кусков груза под конвейер и складывания цепи с образованием «жучков», что приводит к заклиниваниям ТО.

На примере конвейеров типа КСД показано, что при правильной настройке предохранительного клапана ГНУ в сочетании со своевременным отключением приводных электродвигателей обеспечивается достаточно эффективная оперативная защита конвейеров с электромеханическим приводом от экстренных перегрузок, возникающих при заклиниваниях [4]. В конвейерах с гидродинамическим приводом снижаются или вовсе исключаются представляющие наибольшую опасность для прочности цепей «ударные нагрузки», возникающие при заклиниваниях вблизи привода сбегавшей с приводных звездочек ветви ТО и отключении двигателей или срабатывании тепловой защиты гидромуфт [5]. При этом в ряде случаев удастся также предотвратить срабатывание гидромуфт, относящееся к «неполомочным отказам» конвейера.

Возможно, ГНУ в совокупности с распорными устройствами позволит также выполнять в ручном режиме ряд технологических операций по продольному пере-



мещению в исходное положение сползающего вниз при работе на пологих и наклонных пластах конвейера, выравниванию искривленного в плане конвейерного става, а затем и линии очистного забоя.

В работе [6] предлагается функциональная схема системы автоматического управления (САУ) натяжением ГНУ. Вместе с тем остается нерешенной задача создания САУ многофункционального ГНУ, способного решать весь комплекс перечисленных выше задач.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка и обоснование принципиальной схемы САУ ГНУ забойных скребковых конвейеров, предусматривающей адаптивное регулирование натяжения, а также своевременное отключение приводных двигателей при аварийных режимах работы.

**Изложение материала и его результаты.** В работе [6] получены законы формирования управляющих воздействий для ГНУ скребковых конвейеров с двумя или одним приводом.

Для конвейера с двумя приводами применяется следующий закон изменения давления  $P_3$  в гидроцилиндрах (ГЦ) хвостового ГНУ, обеспечивающий заданный минимальный уровень  $S_{\min.3}$  натяжения скребковой цепи:

$$P_3 = P_0, \text{ если } l > 0; \quad (1)$$

$$P_3 = \frac{2(2S_{\min.3} + 10^3 \eta N_X / V)}{\pi d^2}, \quad (2)$$

если  $F_X \geq W_{II}$  и  $l = 0$ ;

$$P_3 = \frac{2(2S_{\min.3} + 2W_{II} + 10^3 \eta N_X / V)}{\pi d^2}, \quad (3)$$

если  $F_X < W_{II}$  и  $l = 0$ ,

где  $l$  — стрела провеса (слабина) тягового органа в характерной точке тягового контура, м;

$P_0$  — рабочее давление в гидравлической сети, которое подается в ГЦ хвостового ГНУ при провисании ТО, Па;

$F_X$  — тяговое усилие, развиваемое хвостовым приводом, т,

$$F_X = 10^3 \eta N_X / V; \quad (4)$$

$W_{II}$  — сопротивление движению порожняковой ветви,

$$W_{II} = \frac{\pi d^2 (P_X - P_G)}{4} + \frac{10^3 \eta (N_X + N_G)}{2V}; \quad (5)$$

$N_G$  и  $N_X$  — мощности, потребляемые головным и хвостовым приводами, кВт;

$\eta$  — КПД привода;

$V$  — скорость движения скребковой цепи, м/с;

$P_G$  и  $P_X$  — давление в гидроцилиндрах ГНУ головного и хвостового приводов, Па;

$d$  — диаметр поршня гидроцилиндра, м.

Для конвейера с одним приводом:

$$W_{II} = \frac{\pi d^2 (P_X - P_G)}{2} + \frac{10^3 \eta N_G}{2V}; \quad (6)$$

$$P_3 = P_0, \text{ если } l > 0; \quad (7)$$

$$P_3 = 4(S_{\min.3} + W_{II}) / \pi d^2, \quad (8)$$

если  $W_{II} \geq 0$  и  $l = 0$ ;

$$P_3 = 4S_{\min.3} / \pi d^2, \quad (9)$$

если  $W_{II} < 0$  и  $l = 0$ .

Практическая реализация системы управления возможна на основе микропроцессорной техники. Наиболее удобным является применение одноплатных компьютеров. Систему целесообразно выполнить в виде двух отдельных модулей для управления головным и хвостовым ГНУ. Взаимодействие двух модулей организуется с использованием телекоммуникационной связи.

На рисунке 1 представлен один из возможных вариантов реализации аппаратной части системы в привязке к одноплатным компьютерам типа «Тион-ПРО-270». Используются два одинаковых одноплатных компьютера.

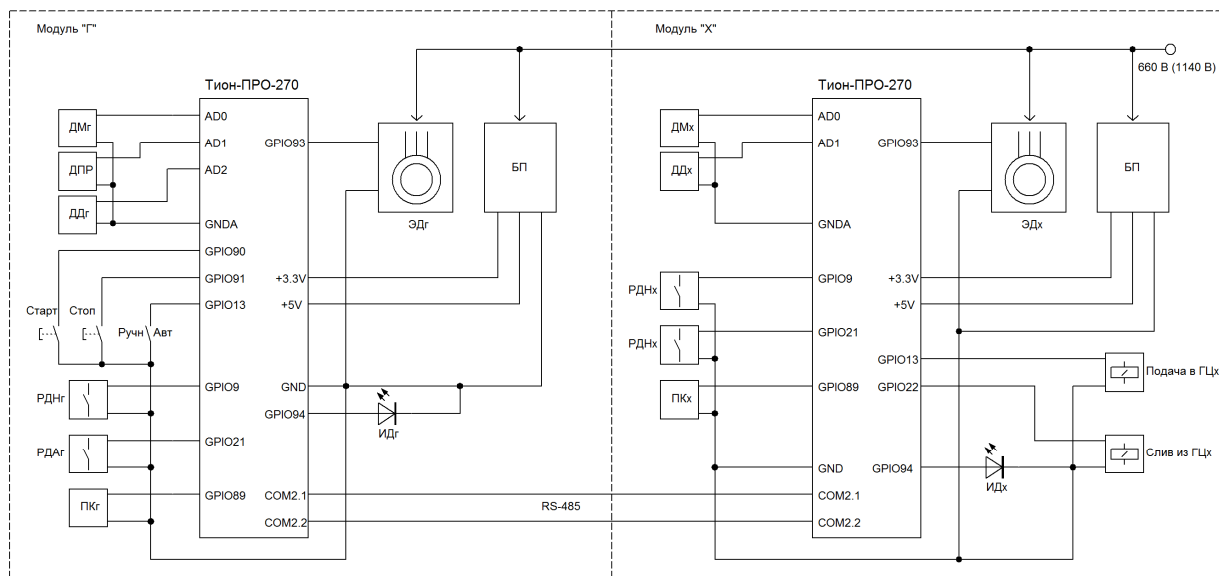


Рисунок 1 Принципиальная схема системы

Первый — для построения модуля управления головным ГНУ (модуль «Г»), второй — для построения модуля управления хвостовым ГНУ (модуль «Х»). Модули связываются между собой каналом последовательной связи RS-485, средства для организации которого предусмотрены в принятой модификации одноплатных компьютеров. Устойчивая связь при таком способе обмена данными возможна при удалении до 1 км, что позволяет размещать управляющие модули вблизи соответствующих ГНУ. В условиях применения большого числа датчиков и исполнительных устройств такой подход позволяет существенно упростить конструкцию управляющего устройства и сократить длину кабельных линий, что благоприятно отражается на помехоустойчивости и надежности системы.

На рисунке 1 используются следующие обозначения:

ДМг, ДМх — датчики мощности привода, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

ДПР — датчик провисания ТО;

ДДг, ДДх — датчики давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

РДНг, РДНх — реле номинального давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

РДАг, РДАх — реле аварийного давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

ИДг, ИДх — индикаторы нормального давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

«Старт» — кнопка для запуска системы управления натяжением ТО;

«Стоп» — кнопка для остановки работы системы;

«Ручн/Авт» — переключатель режимов работы, позволяющий выбрать ручной или автоматический режим управления натяжением ТО;

ПКг, ПКх — предохранительный клапан, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

«Подача в ГЦ», «Слив из ГЦ» — электромагниты гидравлического распределителя, выполняющего, соответственно, подачу рабочей жидкости в ГЦ и слив её из ГЦ;

ЭДг, ЭДх — головной и хвостовой электроприводы конвейера;

БП — блок питания микропроцессорного модуля.

Датчики ДМг, ДМх, ДПР, ДДг, ДДх подключены к аналоговым входам соответствующих одноплатных компьютеров. Остальные устройства используют дискретные входы/выходы. Все подключаемые устройства должны быть согласованы по уровням сигналов с портами одноплатного компьютера.

Особенностью данной системы является выполнение всех управляющих функций за счет программного обеспечения. Модули «Г» и «Х» работают параллельно, выполняя общую задачу поддержания натяжения ТО на допустимом уровне. Для обеспечения безопасности работ оба модуля постоянно проверяют сигналы готовности соответствующих ГНУ. Эти сигналы, а также переменные, необходимые для реализации управления ГНУ по формулам (1–9), передаются по последовательному интерфейсу RS-485. Интерфейс работает непрерывно, сигналы передаются по мере поступления информации в соответствующий буфер, организованный в оперативной памяти устройства. Буфера доступны в любой момент времени, что позволяет передавать данные в асинхронном режиме, не связывая их передачу с работой основной программы. Таким образом, создаются условия для циклического выполнения алгоритма от начала до конца за один такт работы, определяемый операционной системой одноплатного компьютера.

Программное обеспечение модуля «Г» строится по алгоритму, представленному на рисунке 2. Здесь в блоках 2–6, 18–21 выполняются типовые функции опроса кнопок «Старт», «Стоп» и переключателя «Ручн/Авт». Информация о режиме работы передается в модуль «Х». В блоках 7–9 выполняется анализ давления в ГЦг и разрешается дальнейшая работа системы. В случае несоответствия давления в ГЦг запрещается работа ЭДг (электродвигатели включаются оператором вручную при наличии разрешения системы).

Блоки 12–14, 25, 26, в зависимости от заданного режима управления натяжением ТО, обеспечивают обмен необходимой информацией с модулем «Х».

В блоках 15–16 выполняется проверка готовности хвостового натяжного устройства и разрешается или запрещается работа ЭДг.

В случае нажатия кнопки «Стоп» будет выполняться блокировка работы всей системы. Для этого в блоке 22 сбрасывается признак «Продолжение работы», который немедленно передается в модуль «Х» блоком 23. Вслед за этим запрещается работа ЭДг (блок 27).

Алгоритм выполняется на каждом такте операционной системы модуля «Г». Частота выполнения определяется параметрами аппаратной части одноплатных компьютеров, настройкой операционной системы и для осуществления функций управления натяжением ТО скребкового конвейера не имеет принципиального значения (может изменяться от единиц Гц до нескольких кГц).

Программное обеспечение модуля «Х» строится по алгоритму, приведенному на рисунке 3. Модуль воспринимает сигнал «Продолжение работы» (блоки 2, 3), поступающий из модуля «Г». Часть алгоритма по распознаванию номинального давления (блоки 4–7) идентична описанной для блока «Г».

В автоматическом режиме, который идентифицируется блоками 9 и 10, выполняется регулирование давления в ГЦ блоком 11 по формулам (1–9).

Обмен с модулем «Г» сигналами готовности с одновременным анализом поступающего сигнала выполняется в блоках 12–14. В зависимости от наличия сигнала «Готовность ГЦг» принимается решение о разрешении или запрещении работы электропривода ЭДх и возврате системы в исходное состояние (блоки 14, 15, 19).

Подпрограмма автоматического регулирования ГЦх приведена на рисунке 4. Блок 3 делит алгоритм на две ветви: для конвейера с одним приводом и для конвейера с двумя приводами. Блоки 4, 6–10 реализуют регулирование давления в ГЦх по формулам (1–5), блоки 5, 11–15 — по формулам (6–9).

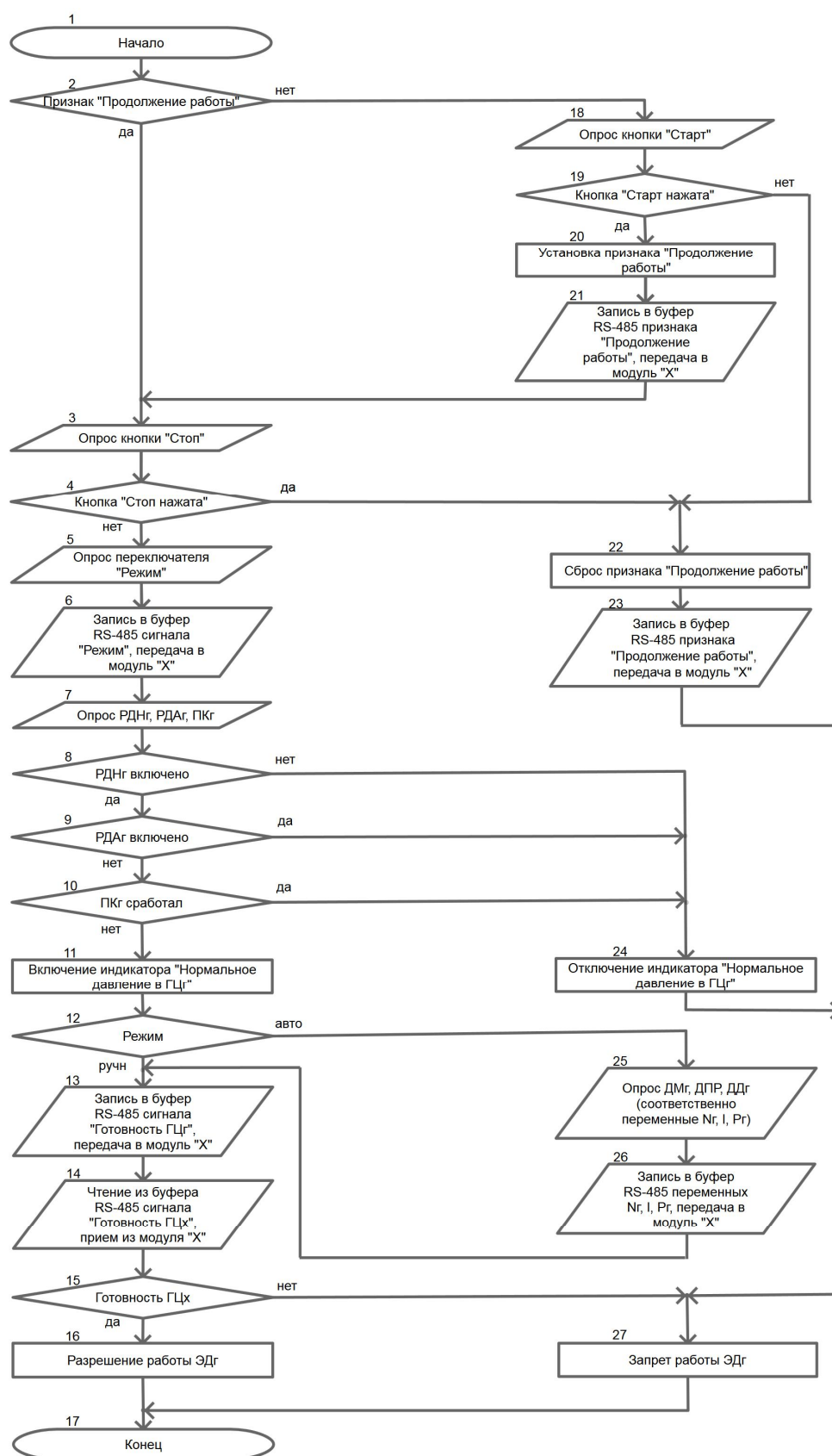


Рисунок 2 Алгоритм функционирования модуля «Г»

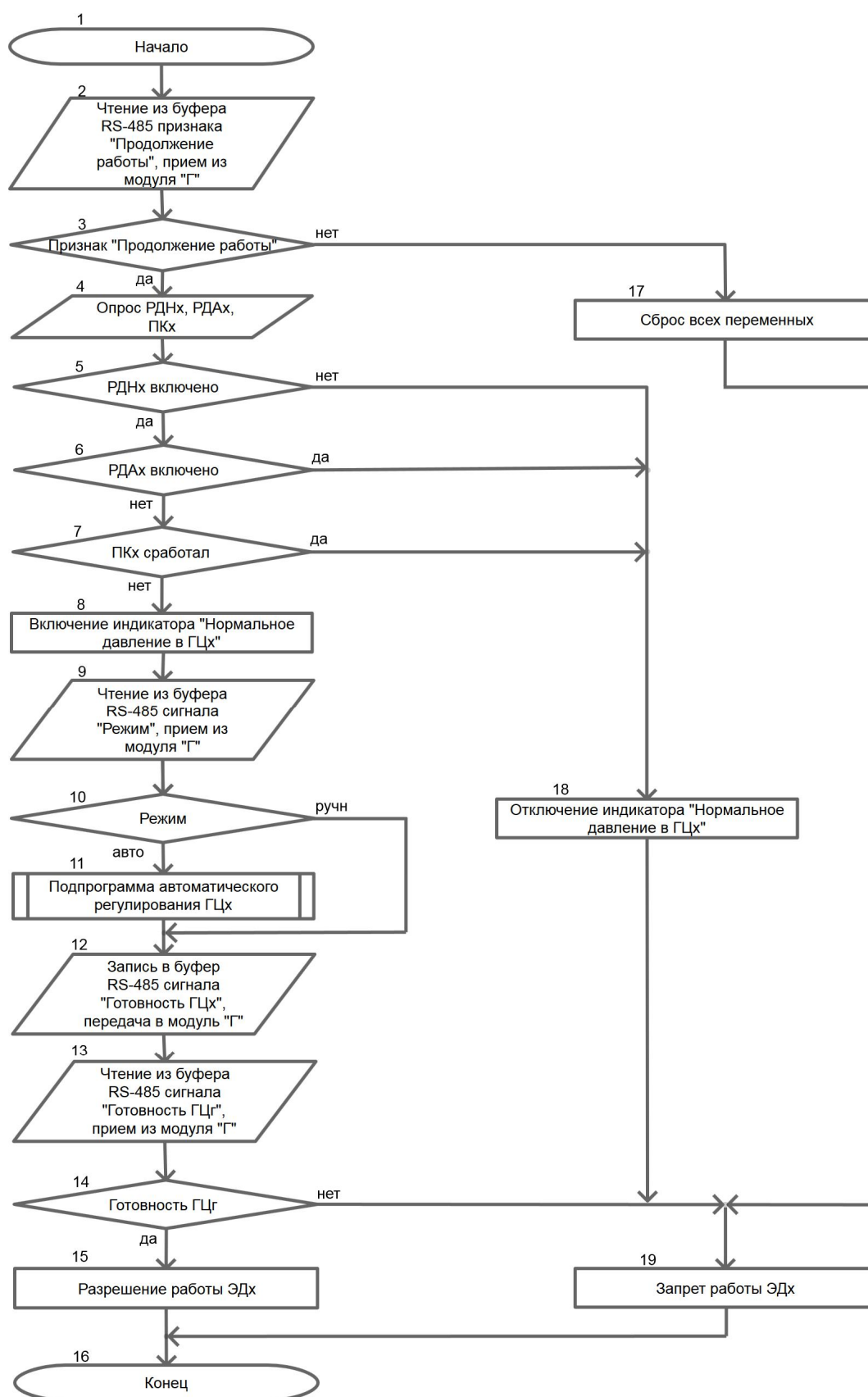


Рисунок 3 Алгоритм функционирования модуля «Х»

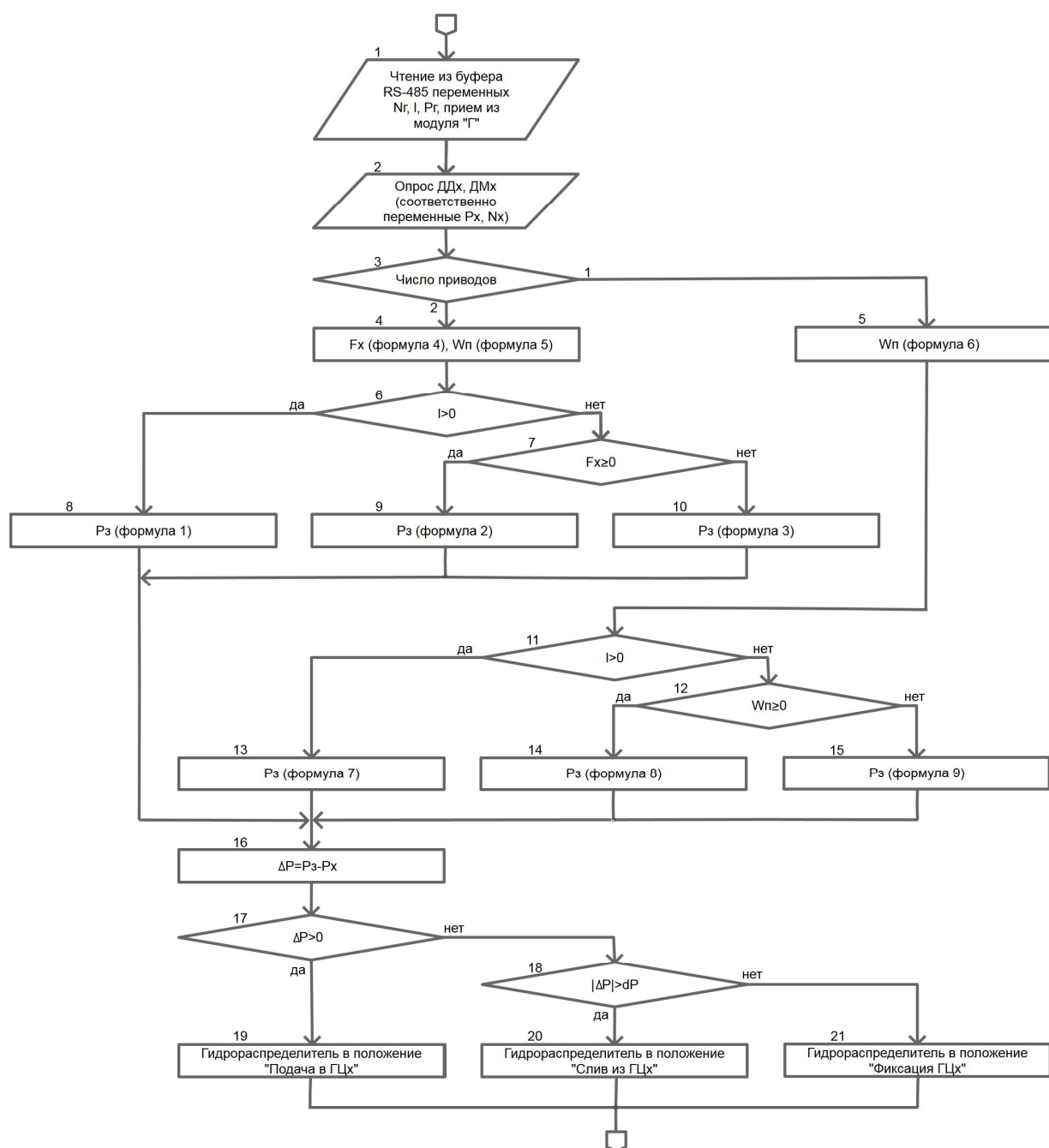


Рисунок 4 Подпрограмма автоматического регулирования ГЦх

В блоке 16 вычисляется рассогласование  $\Delta P$ , в зависимости от которого в блоке 17 принимается решение о подаче напряжения на нужный электромагнит гидрораспределителя, осуществляющего управление давлением в ГЦ хвостовой ГНУ. Блок 18 определяет зону нечувствительности  $dP$  для переключения гидрораспределителя, что обеспечивает фиксацию

положения хвостовой ГНУ при незначительных колебаниях натяжения ТО.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Разработана принципиальная схема САУ ГНУ, построенной на основе одноплатных компьютеров и обеспечивающей адаптивное регулирование натяжения тягового органа, а также защиту конвейера от перегрузок в аварийных режимах работы.

**Библиографический список**

1. Вихерс, К. П. Автоматическое регулирование предварительного натяжения цепей скребковых конвейеров и струговых установок [Текст] / К. П. Вихерс // Глюкауф. — 1986. — № 13. — С. 39–42.
2. Корнеев, С. В. Оценка эффективности регулирования натяжения цепей забойного скребкового конвейера по фактору износной долговечности [Текст] / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова, В. П. Долгих // Горное оборудование и электромеханика. — 2016. — № 4. — С. 28–35.
3. Корнеев, С. В. Моделювання статичних навантажень вибійних скребкових конвеєрів [Текст] / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова, В. П. Долгих // Міжнар. зб. наук. праць: «Прогресивні технології і системи машинобудування». — Донецьк : ДонНТУ, 2014. — Вип. 3(49). — С. 93–100.
4. Корнеев, С. В. Оперативная защита от перегрузок забойных скребковых конвейеров с электромеханическим приводом [Текст] / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова, В. П. Долгих // Изв. вузов.: Горн. журнал. — 2016. — № 5. — С. 69–75.
5. Корнеев, С. В. Ударные нагрузки в тяговом органе забойных скребковых конвейеров с гидродинамическим приводом [Текст] / С. В. Корнеев, В. И. Сафонов, В. Ю. Доброногова // Уголь Украины. — 2012. — № 12. — С. 16–19.
6. Корнеев, С. В. Адаптивное управление натяжением забойных скребковых конвейеров [Текст] / С. В. Корнеев, В. А. Зотов, В. Ю. Доброногова // Горное оборудование и электромеханика. — 2016. — № 3. — С. 14–18.

© Корнеев С. В.

© Зотов В. А.

© Доброногова В. Ю.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г.,  
к.т.н., доц. СУНИГОТ Петровым А. Г.**

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

**д.т.н. Корнеев С. В., к.т.н. Зотов В. О., Доброногова В. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

# **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАТЯЖНИМ ПРИСТРОЄМ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА**

Розроблені принципи побудови системи адаптивного управління натяжним пристроєм вибійного скребкового конвеєра на основі одноплатних комп'ютерів. Надано алгоритм роботи системи.

**Ключові слова:** скребковий конвеєр, гідравлічний натяжний пристрій, адаптивне управління, одноплатний комп'ютер.

**Dr.Tech.Sci. Korneiev S. V., PhD Zotov V. A., Dobronogova V. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

# **DESIGN PRINCIPLES FOR HYDRAULIC TIGHTENER AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DRAG BAR CONVEYOR**

Design principles for hydraulic tightener adaptive control system of drag bar conveyor have been designed on the basis of single board computers. Algorithm of system operation is given.

**Key words:** drag bar conveyor, hydraulic tightener, adaptive control, single board computer.

УДК 622.532:621.65.07

д.т.н. Паламарчук Н. В.,  
Паламарчук Т. Н.  
(ДОНИЖТ, г. Донецк, ДНР, nasos\_@mail.ru)

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЯД МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ШАХТНОГО И РУДНИЧНОГО ВОДООТЛИВА

*Разработан параметрический ряд новых насосов для шахтного водоотлива. Использована методология построения рационального типоразмерного ряда на базе двух доминирующих принципов: максимальная унификация базового образца, расширение в 1,5–1,8 раза рабочего диапазона напорной характеристики за счет применения четырех энергетически эффективных сменных проточных частей ступени в одном корпусе, использования новых конструкций и селективный подбор уплотнительных устройств и гидроняты для каждого исполнения насоса. Переход на предлагаемый параметрический ряд позволит сократить число применяемых типов шахтных насосов с 19 до 6.*

**Ключевые слова:** водоотлив, насос, унификация, параметрический ряд, модельная ступень, коэффициент быстроходности.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Производство шахтных насосов до середины 80-х годов прошлого столетия велось на базе централизованных заказов предприятий-потребителей без учета таких базовых принципов, как унификация и стандартизация. Количество их к периоду освоения серийного производства стандартизованных насосов марок МС и ЦНС (1968–1972 гг.) составило более 30 типов, число выпускаемых типоразмеров превышало 250 единиц.

Однако и после сокращения заводами-изготовителями к началу 90-х годов номенклатуры выпускаемых шахтных насосов их число составило 22 типа. Причиной многотипности конструкций насосов для водоотлива являлись, с одной стороны, неповторимость и разнообразие условий откачки шахтной воды на более чем 1,6 тыс. водоотливных установках (ВУ), а с другой — отсутствие обоснованного научного подхода к формированию принципов и требований, необходимых для создания унифицированного, энергетически эффективного, безопасного параметрического ряда насосов, экономически оправданного для изготовителя и потребителя.

В связи с увеличением глубины шахт, протяженности выработок, значительным усложнением гидрогеологических условий и

технологических схем откачки подземных вод, требованиями по согласованию графиков работы водоотливных установок (ВУ) с периодами максимума нагрузки в системе энергоснабжения необходим пересмотр методологии построения параметрического типоразмерного ряда шахтных насосов и общей концепции развития насосной техники для водоотлива.

Одним из способов, позволяющих построить параметрические ряды насосов, является сокращение числа модельных образцов ступеней. Этот принцип, например, использован при разработке типоразмерного ряда нефтяных насосов и секционных многоступенчатых насосов серии ЦНС. Однако, как показывает анализ, применение только этого способа для шахтных и рудничных насосов бывает недостаточным, а для отдельных участков поля «водоприток — высота водоподъема» действующих ВУ — и энергетически нецелесообразным.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является разработка и построение рационального ряда насосов для шахтного и рудничного водоотлива с минимальным количеством их базовых образцов.

**Изложение материала и его результаты.** В настоящее время на ВУ угольных шахт и рудников Российской Федерации и Украины в основном используется 13 типов



насосов ЦНС (изготовители: ООО «ЯНЗ», Тульская обл.; ОАО «Димитровградхиммаш», Ульяновская обл., Россия; ГОАО «Стахановский РМЗ», ЛНР) и шесть близких к ним по конструкции аналогов – НСШ («СНПО им. М.В. Фрунзе»; КЛМЗ, г. Красноармейск), ЦНСШ (ООО «Южгидромаш») и АЦНС АКАНТИ (АРМЗ, г. Антрацит). При этом из примерно 5,6 тыс. эксплуатируемых насосов 87 % объема насосного парка занимают насосы ЦНС 300-120...600 и ЦНС 180-85...425.

Авторами обработаны уточненные данные (на октябрь 2013 г.) по всем действующим ВУ угольных шахт и рудников Украины, включая шахты с сухой консервацией, построено поле водопритоков и водоподъема с равномерно изменяющимися интервалами притока и высоты водоподъема, а также поле рациональных (требуемых) режимов работы установок. Поле режимов охватывает зону по подаче в пределах от 30 до 1900 м<sup>3</sup>/ч и по напору от 20 до 1100 м. Значительная часть режимов ВУ (около 50 %) располагается в интервале 200–400 м<sup>3</sup>/ч и рабочих напоров 100–500 м.

Введено понятие «рациональный режим работы насосов с расширенным диапазоном рабочих подач», под которым понимаем режим работы насоса, обеспечивающий обязательное соблюдение режима максимальной экономии энергозатрат на водоотлив и полную откачку суточного притока в период внепикового потребления электроэнергии, т. е. в течение не более 16 часов. Также для построения параметрического ряда приняты следующие основные положения: а) допускается совместная параллельная работа на установке не более двух однотипных насосов на один трубопровод; б) требуемая область использования насоса на напорной характеристике ограничена не только высокими значениями КПД, но и условиями устойчивости режима в области малых подач и бескавитационной работы; в) единичная максимальная потребляемая мощность насоса, нормированная максимальной мощностью выпускаемых электродвигателей серии ВАО4, не должна превышать 1800 кВт;

г) для ВУ шахт и рудников Украины рассматривается использование базовых насосов с синхронной частотой вращения только 1500 мин<sup>-1</sup>; д) область применения новых типов насосов по напору определяется числом их ступеней от двух до одиннадцати.

Совмещение скорректированных рабочих зон применяемых шахтных насосов ( $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ ) с полем энергетически оправданных рабочих режимов позволяет сделать ряд выводов:

1. По рабочему диапазону напоров и подач используемые 19 типов шахтных насосов не обеспечивают удовлетворительного покрытия поля водопритоков: около 44 % действующих ВУ находятся вне зон допустимого применения насосов по подаче и более 25 % — по напору.

2. Из-за отсутствия насосов с заданными параметрами полностью не перекрываются области подач в интервалах от 65 до 150 м<sup>3</sup>/ч, от 200 до 250 м<sup>3</sup>/ч, от 600 до 720 м<sup>3</sup>/ч.

3. Выделенные изолиниями внешние контуры рабочих полей насосов в зоне их максимальных напоров эквидистантно замыкаются вблизи прямой, координаты которой во всем диапазоне подач соответствуют значениям коэффициента быстроходности насоса  $n_s$  в интервале от 63 до 65.

4. Режимы области с наибольшим удельным числом установок могут быть обеспечены базовыми насосами, располагающими номинальными подачами от 125 до 310 м<sup>3</sup>/ч.

Эти данные позволяют обосновать основные параметры базовой модели насоса, являющиеся исходными величинами для построения всего ряда шахтных насосов.

При построении рационального типоразмерного ряда насосов для угольных и рудных предприятий России и Украины использованы два принципа создания базовой модели насоса: возможность унификации корпусных деталей у смежных по подаче насосов и расширения оптимальной зоны использования за счет варьирования различного сочетания сменных проточных частей (рабочих колес и направляющих аппаратов) и сменных узлов уравнивающего устройства (гидропята). Этот принципиаль-

но новый путь в построении параметрического ряда позволяет в 3,5 раза уменьшить число существующих типов насосов.

Некоторое усложнение конструкции, связанное с введением двух различных по профилю входных каналов отводов направляющих аппаратов и двух или трех типов рабочих колес, а также селективной установкой узла уравнивания осевой нагрузки ротора с заданными параметрами, компенсируется такими преимуществами, как: глубокая унификация насосного оборудования в пределах всего типоразмерного ряда шахтных насосов; расширение рабочей зоны напорной характеристики в одном насосе в 1,5–1,8 раза; достижение высоких зна-

чений КПД во всем рабочем интервале напорной характеристики; стабильная и устойчивая работа насосных агрегатов на общую трубопроводную сеть; значительное повышение надежности насоса.

В качестве базовых выбраны 6 насосов с основной модельной ступенью, имеющей коэффициент быстроходности 63 и оптимальные (номинальные) подачи 80, 125, 200, 315, 500 и 800 м<sup>3</sup>/ч. По известной зависимости, связывающей коэффициент быстроходности с основными рабочими параметрами насоса (подачей, напором и частотой вращения) определен напор на одну ступень в оптимальном режиме.

Таблица

Исполнение	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор ступени, м	$n_s$	Рабочая часть характерис- тики, м <sup>3</sup> /ч	Диаметр колеса, мм
Насос ЦНС 315-140...790					
№ 1	315	70	63	250-350	450
№ 2	250	70	56	200-270	450
№ 3	315	62	71	250-350	420
№ 4	250	62	63	200-270	420
Насос ЦНС 125-80...440					
№ 1	125	40	63	105-140	340
№ 2	100	40	56	85-110	340
№ 3	125	34	71	270-350	420
№ 4	100	34	63	210-270	420
Насос ЦНС 200-100...550					
№ 1	200	55	63	170-220	380
№ 2	160	55	56	135-175	380
№ 3	200	46	71	170-220	354
№ 4	160	46	63	135-175	354
Насос ЦНС 500-200...1000					
№ 1	500	100	63	425-550	530
№ 2	400	100	56	340-440	530
№ 3	500	86	71	425-550	495
№ 4	400	86	63	340-440	495
Насос ЦНС 800-280...560					
№ 1	800	140	63	680-880	610
№ 2	630	117	56	535-690	610
№ 3	800	140	71	680-880	565
№ 4	630	117	63	535-690	565

*Примечание к таблице.* Варианты исполнения: № 1 – базовая модель; № 2 – обуженное рабочее колесо; № 3 – подрезка рабочего колеса исполнения № 1; № 4 – подрезка рабочего колеса исполнения № 2.

Требуемый диапазон подач и напоров обеспечивается двумя конструктивными исполнениями ступени с коэффициентом быстроходности 63 (базовая) и 56 (зауженная) и двумя подрезками базового выходного диаметра рабочего колеса.

В таблице приведены параметры 5 насосов нового параметрического ряда шахтных насосов, которые рационально использовать на главных ВУ.

Для упрощения технологии изготовления и сборки насосов, имеющих четыре отмеченных в таблице варианта исполнения проточной части, возможно использование единой конструкции направляющего аппарата, рассчитанного по диаметру  $D_3$  на рабочее колесо основной модели. В этом случае подрезка выходного диаметра колеса должна проводиться только по лопаткам с сохранением диаметра ведущего и покрывного дисков.

Следует отметить, что для промышленного освоения параметрического ряда насосов не требуется, за исключением ЦНС 125–80...400, создание новых конструкций, отличающихся по габаритам и присоединительным размерам от применяемых насосов серии ЦНС.

В целях внедрения в угольной отрасли новой системы водоотлива, базирующейся

на временном нормативе (откачка суточного притока в период внепикового потребления электроэнергии, но не более чем за 16 ч), следует пересмотреть § 576 и § 579 Правил безопасности в угольных шахтах. Подачу насоса  $Q_H$  для водоотливной установки, имеющей суточный водоприток  $Q$ , надо выбирать с учетом соотношения  $Q_H = 1,5Q_{np}$ , а объемы водосборников должны обеспечивать аккумулялирование воды в течение 8 ч.

Переход на новый типоразмерный ряд насосов и обеспечение режима откачки шахтного притока в часы минимума нагрузки энергосистемы позволит снизить эксплуатационные затраты на водоотлив на 25–30 %.

**Выводы.** Разработан параметрический ряд новых модернизированных шахтных насосов. Использование при построении ряда принципов максимальной унификации смежных по подаче исполнений насоса и применение четырех энергетически эффективных сменных проточных частей ступени в одном корпусе позволяет расширить в 1,5–1,8 раза оптимальную зону рабочего диапазона напорной характеристики для каждого базового типа насоса и полностью перекрыть поле водопотоков ВУ шахт России, Украины и республик Донбасса новыми насосами.

© Паламарчук М. В.

© Паламарчук Т. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.*

*Статья поступила в редакцию 10.01.17.*

**д.т.н. Паламарчук М. В., Паламарчук Т. Н. (ДОНІЗТ, м. Донецьк, ДНР)**

# **ПАРАМЕТРИЧНИЙ РЯД МОДЕРНІЗОВАНИХ НАСОСІВ ДЛЯ ШАХТНОГО ТА РУДНИЧНОГО ВОДОВІДЛИВУ**

*Розроблено параметричний ряд нових насосів для шахтного водовідливу. Використана методологія побудови раціонального типорозмірного ряду на базі двох домінуючих принципів: максимальна уніфікація базового зразка, розширення в 1,5–1,8 рази робочого діапазону напірної характеристики за рахунок застосування чотирьох енергетично ефективних змінних проточних частин ступені в одному корпусі, використання нових конструкцій і селективний підбір ущільнювальних пристроїв і гідроп'яти для виконання кожного насоса. Перехід на запропонований параметричний ряд дозволить скоротити кількість застосовуваних типів шахтних насосів з 19 до 6.*

**Ключові слова:** водовідлив, насос, уніфікація, параметричний ряд, модельна ступінь, коефіцієнт швидкохідності.

**Doctor of Technical Sciences Palamarchuk N. V., Palamarchuk T. N. (DONIRT, Donetsk, DNR)**

**PARAMETRIC SERIES OF MODERNIZED PUMPS FOR MINE DRAINAGE**

*A parametric series of new pumps for the mine water has been developed. There has been used a methodology of constructing rational standard series on the basis of two dominant principles: maximum standardization of the sample base, enhancing 1,5–1,8 times the working pressure characteristics through the use of four energy-efficient exchangeable flow units of a stage in one body, the use of new structures and selective choice of sealing devices and hydraulic balancing device for each pump performance. Transition to the proposed parametric series will reduce the number of used types of mine pumps from 19 to 6.*

**Key words:** drainage, pump, unification, parametric series, model stage, rate index.

УДК 622.235.5

к.т.н. Шульгин П. Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

*Приведен анализ состояния проведения горных выработок, показаны достоинства контурного взрывания, дана подробная классификация методов контурного взрывания, рассмотрен экономический эффект от применения контурного взрывания.*

**Ключевые слова:** взрыв, переборы, контурное взрывание, предварительное щелеобразование, оконтуривающие шпурсы, экономический эффект, качество буровзрывных работ.

Уголь является одним из основных первичных энергоносителей, занимая в мировом балансе второе место (24 %) после нефти (39 %) и доминируя в выработке электроэнергии (34–40 %). Согласно прогнозам различных организаций, на протяжении 20–30 лет потребление угля будет возрастать со среднегодовыми темпами 1,4–1,6 %, уступая нефти (1,7 %) и природному газу (2,7–2,8 %), но оставаясь главным источником производства электроэнергии [1].

Практически все отрасли народного хозяйства, прежде всего промышленность и коммунально-бытовой сектор, используют уголь, и сфера его применения с каждым годом, причем не только как топлива, постепенно расширяется.

Увеличение добычи угля ведет за собой и увеличение объемов сооружаемых горных выработок.

В настоящее время проведение горных выработок осуществляется, как правило, буровзрывным способом. Так, например, за последние годы этим способом пройдено около 80 % общего объема основных подготовительных выработок [2–3]. Такое положение объясняется тем, что для проведения выработок по породам с прочностью свыше 60 МПа еще не созданы экономически эффективные механические способы разрушения горных пород, которые могли бы заменить буровзрывные работы. Поэтому в ближайшие годы буровзрывные работы будут преобладать при сооружении горных выработок, а совер-

шенствование их технологии и повышение эффективности представляет собой актуальную задачу горной промышленности.

В сравнении с комбайновой технологией буровзрывная имеет ряд преимуществ: универсальность, простоту, незначительную энергоемкость, возможность быстрого приспособления к резко меняющимся горно-геологическим условиям, в том числе к существенному увеличению крепости пород.

Однако при её применении ставятся две противоречивые задачи: с одной стороны, для создания благоприятных условий работы погрузочных механизмов необходимо добиться хорошего дробления вынимаемой породы, а с другой — требуется ограничить чрезмерное превышение проектного сечения, не допустить нарушение законтурного массива и получить более-менее гладкую поверхность стенок выработки.

Согласно СНиПу на горнопроходческие работы [4] допускается (за исключением прохождения с применением комбайнов и забивной крепи) увеличение размеров с каждой стороны периметра проводимой горной выработки в результате перебора породы:

$f = 0,4 - 1,5$  менее 50 мм;

$f = 1,5 - 8$  менее 75 мм;

$f = 8 - 20$  менее 100 мм.

Однако на практике в связи с применением обычных способов буровзрывных работ эти нормы не соблюдаются, и требуется внедрение новых способов ведения работ, которые позволят разрушать породу

с заданной интенсивностью, с соблюдением контура выработки и не будут нарушать законтурный массив.

Проведенные исследования показали возможность более точного оконтуривания горных выработок при взрывных работах [5–6]. Предложенный метод принято назы-

вать «контурное», «профильное», «гладкое» или «гладкостенное» взрывание (в Германии — *schonendes sprengen*, в Англии — *controlled blasting*; далее по тексту — контурное взрывание).

Приведем краткую характеристику способов контурного взрывания (рис. 1).

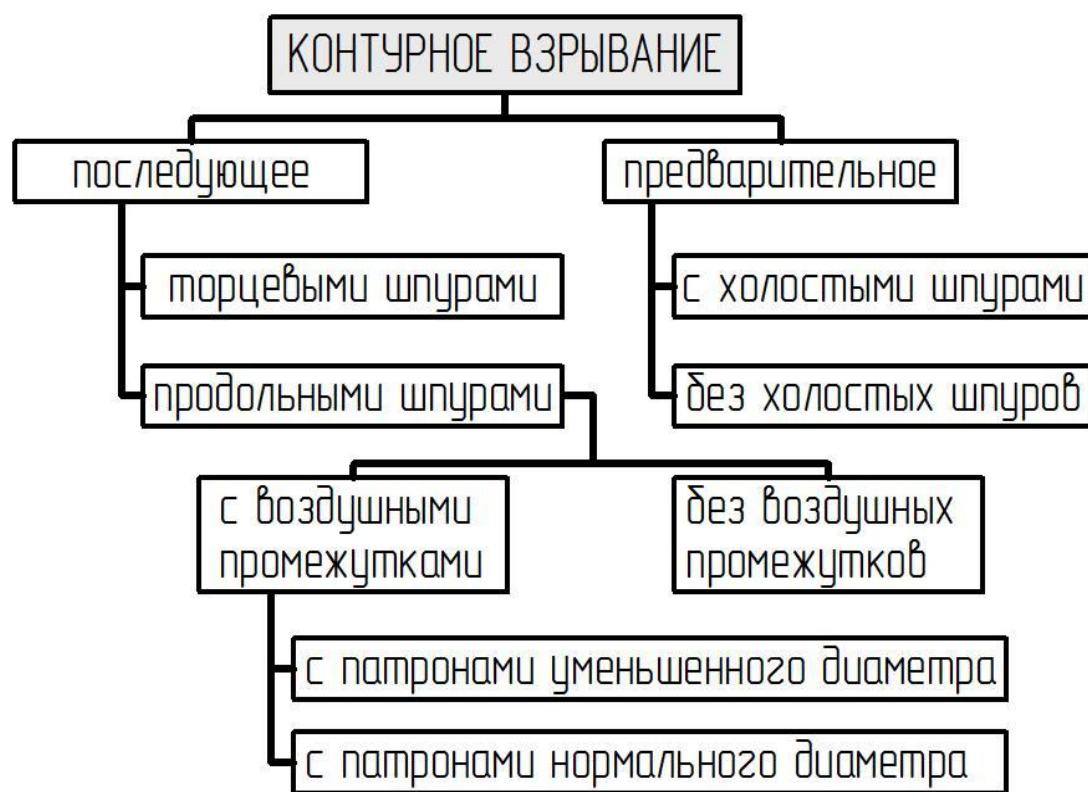


Рисунок 1 Классификация методов контурного взрывания

Метод контурного взрывания с предварительным оконтуриванием (метод предварительного щелеобразования — ПЩО) получил распространение при прохождении открытых выработок — каналов, траншей, котлованов, а также, в последнее время, на открытых разработках. На подземных разработках ПЩО применяется, главным образом, при прохождении водосборников. Рассмотрим данный метод на примере прохождения (сверху — вниз) выработки узкого и длинного сечения (рис. 2). В первую очередь взрываются оконтуривающие шпуры 1 одновременно с применением детонационного шнура, в результате чего вдоль контура образуется

щель; внутренние шпуры 2, предназначенные для дробления оконтуренного участка горного массива, взрываются во вторую очередь.

Принципиальная схема последующего оконтуривания продольными шпурами (на примере горизонтальной выработки) представлена на рисунке 3: разрушение центральной части забоя 1 производится в первую очередь, а затем формируется контур выработки путем взрывания оконтуривающих шпуров 3, расположенных вдоль контура выработки.

При проведении подземных горных выработок наибольшее распространение получил метод контурного взрывания с по-



следующим оконтуриванием. Характерным для этого способа является стремление уменьшить энергию взрыва оконтуривающих шпуров для сохранения контура выработки.

Это достигается различными методами: использованием патронов взрывчатого вещества (ВВ) уменьшенного диаметра, применением низко бризантных ВВ пониженной плотности, рассредоточением зарядов при помощи воздушных промежутков.

Для использования контурного взрывания при проведении горных выработок следует выполнять следующие условия:

- 1) точная разметка шпуров, с обязательной выдержкой всех размеров и местоположения шпуров, контроль за углами наклона шпуров и их глубины при бурении;
- 2) снижение энергии взрыва в оконтуривающих шпурах путем использования менее мощного ВВ или за счет конструкции заряда (рассредоточенные, направленного действия и т. д.);

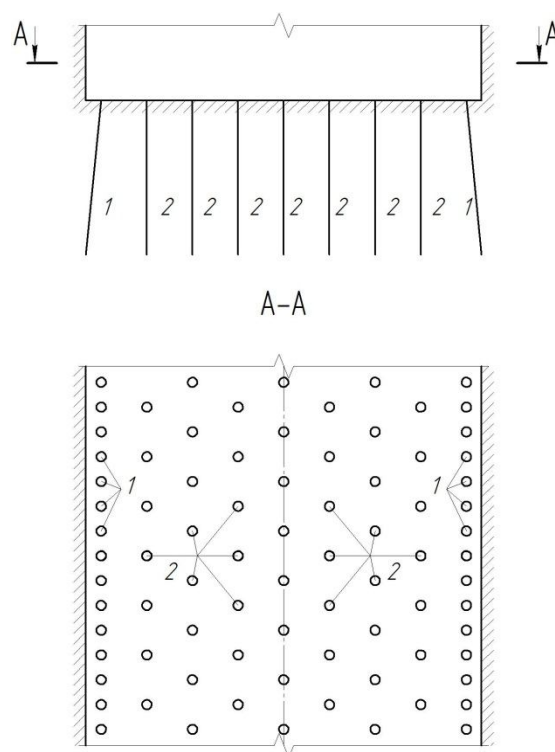


Рисунок 2 Метод предварительного щелеобразования

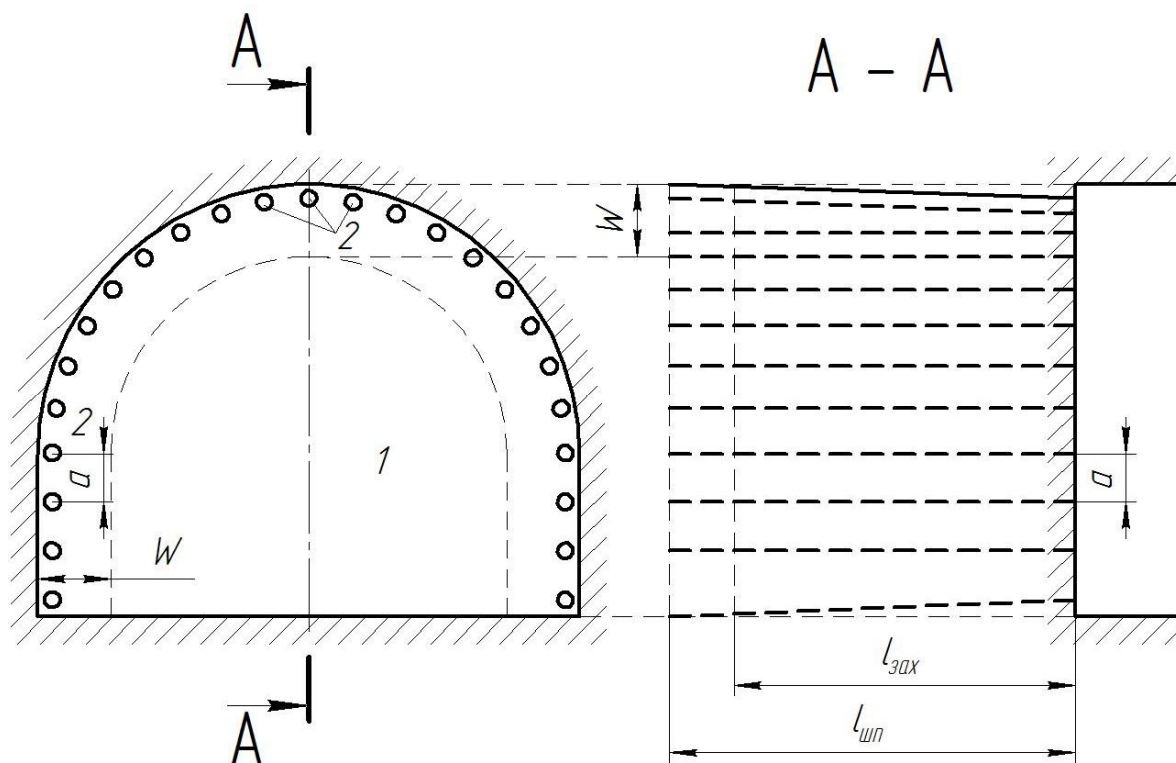


Рисунок 3 Метод последующего оконтуривания

3) применение особых методик по расчету параметров оконтуривающих шпуров (между шпурами должна образовываться сплошная трещина, обеспечивающая требуемый контур выработки [7]).

Весьма важным моментом при ведении буровзрывных работ с использованием контурного взрывания является точность соблюдения параметров размещения шпуров в забое выработки. В настоящее время для соблюдения этих параметров разработан ряд приспособлений, которые позволяют производить разметку и бурение шпуров в забоях горизонтальных горных выработок. Более детально рассмотрим устройство для разметки и бурения шпуров — УРБ [8].

УРБ (рис. 4) состоит из базовой трубы 1, которая вставлена и расклинена в подбурке 2. На ней, с возможностью поворота на необходимый угол, установлен оголовок 3, оснащенный лимбом 4 с фиксатором 5 и отвесом 6. На оголовке 3 при помощи зажима 7 зафиксирована подвижная рейка 8 с линейной шкалой, которая может вра-

щаться вокруг своей оси и радиально двигаться относительно оголовка 3 базовой трубы 1. На конце рейки 8 при помощи шарнира-фиксатора с возможностью поворота закреплен люнет 10, оснащенный угломерной шкалой 11 и указателем направления 12.

Устройство работает следующим образом (рис. 5). В центре забоя горной выработки бурят подбурок 2, глубина которого 100–300 мм. В него вставляют и расклинивают базовую трубу 1. На эту трубу накручивают оголовок 3, в который вставляют подвижную рейку 8 с люнетом 10.

Предложенная конструкция устройства для разметки и бурения шпуров позволяет: производить разметку и бурение всего комплекса шпуров из одного положения устройства, что снижает трудоемкость работ; снизить материалоемкость работ за счет отказа от подмостей; повысить точность разметки места положения шпура и угла его наклона.

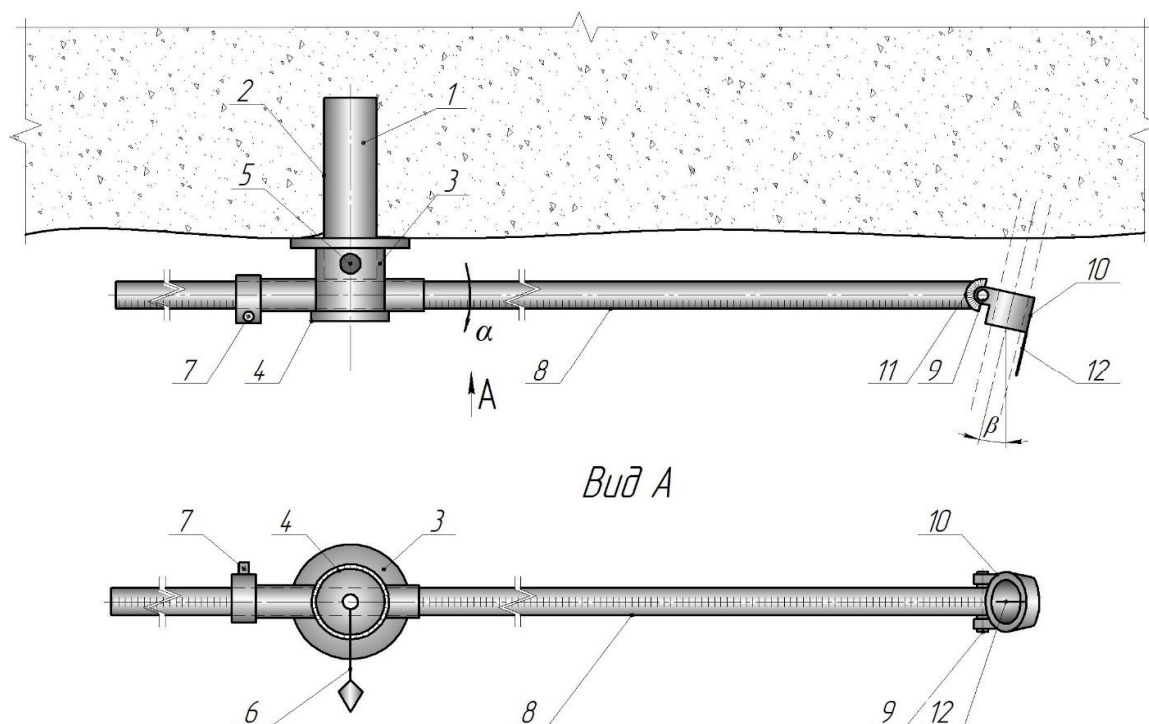


Рисунок 4 Конструкция устройства для разметки шпуров



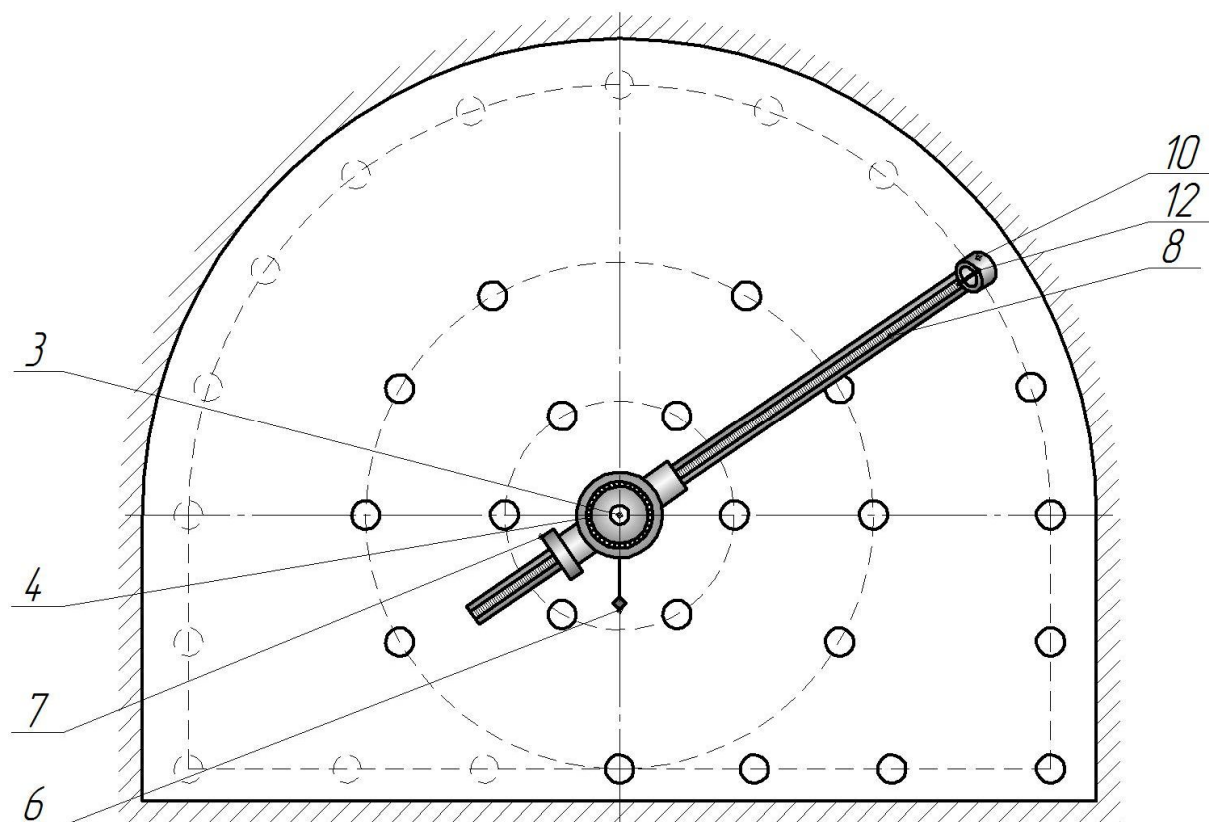


Рисунок 5 Устройство для разметки и бурения шпуров, установленное в рабочее положение в забое выработки

При изменении параметров паспорта буровзрывных работ можно определить данные об изменении затрат на ту или иную операцию либо по той или иной статье расходов в результате перехода на новый метод. Однако по одной операции или по одной статье расходов, как правило, нельзя судить об экономической целесообразности применения новых способов и средств горной технологии. Для этой цели необходимо дать комплексную оценку, предусматривающую детальный учет основных расходов, прямо или косвенно связанных с изменением техники и технологии.

Согласно этому методу экономический эффект  $\mathcal{E}$  от применения паспорта буровзрывных работ с контурным взрыванием можно определить из выражения

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6,$$

где  $\mathcal{E}_1$  — экономия от повышения скорости проходки;

$\mathcal{E}_2$  — экономия от снижения времени на погрузочно-транспортные работы;

$\mathcal{E}_3$  — экономия от снижения объема бурения шпуров и расхода ВВ;

$\mathcal{E}_4$  — экономия от сохранения крепи после взрыва;

$\mathcal{E}_5$  — экономия от улучшения условий работы крепи;

$\mathcal{E}_6$  — экономия от снижения объемов забутовки закрепного пространства.

Рассмотрим эти слагаемые экономического эффекта более детально.

При правильном и обоснованном расположении шпуров вблизи контура выработки будет достигнуто снижение коэффициента излишек сечения (к.и.с.). Уменьшение объема породы приводит к уменьшению затрат на погрузочные работы, а также на транспортирование отбитой породы (от забоя до навала, по горизонтальным и наклонным выработкам, стволам).

При ведении взрывных работ с использованием метода контурного взрывания создается ровный контур, что позволяет крепить работать в нормальном режиме, не подвергаясь сосредоточенным нагрузкам; позволяет применять более легкие конструкции крепи, а также прогрессивные её виды — анкерную, набрызг-бетонную, крепь «монолит». Также из-за уменьшения переборов породы в значительной мере уменьшается объем забутовки при креплении.

Применение контурного взрывания позволит снизить вероятность выбивания крепи, что сократит затраты на восстановление выработки после проведения взрывных работ.

Отсутствие пустот за крепью не даёт образовываться местным скоплениям газа метана, что в значительной мере повышает безопасность работ и позволяет отказаться от дегазации.

При приведении забоя в безопасное состояние (оборка забоя) также значительно упрощаются работы из-за ровности контура и отсутствия зависших кусков породы и её вывалов.

В различных горно-геологических условиях переход на применение контурного взрывания может по-разному влиять на ко-

личество шпуров и расход взрывчатых материалов. В одних случаях он будет больше, чем при обычном методе, в иных — меньше. Но, несмотря на это, применение контурного взрывания позволит уменьшить общую стоимость сооружения 1 погонного метра горной выработки на 5–10 %.

### Вывод

Основным критерием качества буровзрывных работ при проходке горных выработок принято считать коэффициент использования шпуров (КИШ) и кусковатость отбитой взрывом породы. Качеству оконтуривания, к сожалению, все еще не уделяется должного внимания. Отсутствует и материальный стимул улучшения оконтуривания горных выработок при проходке. В результате перебор породы часто велик, что приносит большой материальный ущерб.

Решить данную проблему возможно внедрением контурного взрывания при сооружении горных выработок. Однако, несмотря на многочисленные исследования в данной области, до настоящего момента не создано единой методики по расчету параметров оконтуривающих шпуров, которая бы подходила для любых горно-геологических условий.

### Библиографический список

1. Key World Energy Statistics 2010–2016 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics.html>
2. Итоги работы угольной промышленности России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ugolinfo.ru/itogi.html>
3. Официальный портал Министерства угольной промышленности Украины [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mvp.gov.ua>.
4. СНиП 3.02.03-84. Подземные горные выработки [Текст] / Госстрой СССР. — М. : ЦИТИ Госстрой СССР, 1985. — 15 с.
5. Барон, Л. И. Контурное взрывание при проходке выработок [Текст] / Л. И. Барон, А. В. Ключников. — Л. : Наука, 1967. — 204 с.
6. Литвинский, Г. Г. Контурное взрывание при проведении горных выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский, П. Н. Шульгин // Сборник тезисов докладов международной студенческой конференции «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». — Донецк : ДонНТУ, 2003. — С. 26–28.
7. Шульгин, П. Н. Обоснование новой методики проектирования паспортов БВР с использованием ЭВМ [Текст] / П. Н. Шульгин // ДонГТУ : сб. науч. тр. — Алчевск : ДонГТУ, 2016. — Вып. 47. — С. 7–32.

8. Пат. 20391 Украина, МПК E21D 9/00, F42D 3/04. Устройство для разметки расположения, направления и забуривания шпуров УРБ / Г. Г. Литвинский, П. Н. Шульгин; заявитель и патентообладатель ДонГТУ; заявл. 07.08.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. — 2 с.

© Шульгин П. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г.,  
д.т.н., проф. , зав. каф. ГД АФГТ ЛНУ им. В. Даля Рябичевым В. Д.*

*Статья поступила в редакцию 28.02.17.*

**к.т.н. Шульгин П. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### **АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КОНТУРНОГО ПІДРИВАННЯ ДЛЯ СПОРУДЖЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК**

*Наведено аналіз стану проведення гірничих виробок, показані переваги контурного підривання, дана докладна класифікація методів контурного підривання, розглянуто економічний ефект від застосування контурного підривання.*

**Ключові слова:** вибух, перебори, контурне підривання, попереднє щілиноутворення, оконтурювальні шпури, економічний ефект, якість буропідривних робіт.

**PhD Shulgin P. N.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### **ANALYSIS OF USING THE CONTOUR BLASTING FOR MINE WORKING ERECTION**

*Condition analysis of driving the mine workings is given, the advantages of contour blasting are presented, the detailed classification of methods is given, the effect of contour blasting is studied.*

**Key words:** explosion, excess, contour blasting, presplit, edging holes, economic effect, blasting standards.

УДК 622.807 + 504.4.054

к.т.н. Давиденко В. А.,

Ноженко А. А.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, ebgd@ukr.net)

## ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕОБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

*Приведены результаты исследований возможности загрязнения подземных и поверхностных вод при применении рабочих жидкостей, используемых для повышения эффективности заблаговременного снижения пылеобразующей способности угольных пластов. Проанализированы возможные последствия такого загрязнения и условия, выполнение которых снизит вероятность проявления этих последствий.*

**Ключевые слова:** пылеобразование, предварительное увлажнение угольных пластов, поверхностно-активные вещества, подземные воды, поверхностные воды, экологическая безопасность, биологическое разложение.

### Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

В связи с усложнением горно-геологических условий добычи угля подземным способом и внедрением высокопроизводительной добычной и проходческой техники имеет место постоянный рост пылевыведения в горные выработки. Высокие уровни концентраций пыли, значительно превышающие установленные предельно допустимые концентрации, являются причиной возникновения взрывов угольной пыли и пылеметано-воздушных смесей, а также профессиональных заболеваний пылевой этиологии. Большое количество пыли выносится отработанными вентиляционными струями из горных выработок на дневную поверхность. Она является существенным источником негативного воздействия на окружающую среду.

Основным методом снижения пылеобразования при выемке угля является предварительное увлажнение угольных пластов. Для повышения эффективности предварительного увлажнения угольных пластов наиболее широкое применение нашли химические вещества и их композиции, в состав которых входят поверхностно-активные вещества (ПАВ), электролиты, полимеры и другие. Водные растворы ПАВ, являясь основой таких реагентов, улучшают смачиваемость

угля и угольной пыли, не полностью смачиваемых водой, увеличивают степень капиллярного влагонасыщения угольных пластов и повышают его равномерность. Их применение приводит к очень существенному снижению пылеобразования по сравнению с использованием одной воды при увлажнении (в 2–4 раза)[1].

Целый ряд высокоэффективных реагентов для снижения пылеобразующей способности угольных пластов, содержащих ПАВ, был разработан и внедрён на угольных шахтах учёными Донбасского государственного технического университета совместно с коллегами из Московского горного института, ИГД им. А. А. Скочинского, ВНИИПАВ, ИПКОН АН СССР и других научно-исследовательских организаций в 1970–1980 гг. Но в последние десятилетия резко возросла угроза негативного воздействия ПАВ на жизнедеятельность гидробионтов и качество воды в водных объектах вследствие расширения сферы их применения в различных областях жизнедеятельности и постоянного роста объёмов производства.

Вместе с тем отсутствуют какие-либо исследования, обосновывающие необходимость применения экологически безопасных ПАВ в угольных шахтах для борьбы с пылью.

**Постановка задачи.** Задачей исследований является обоснование необходимости применения экологически безопасных ПАВ как компонентов рабочих жидкостей для снижения пылеобразующей способности угольных пластов.

**Изложение материала и его результаты.** В практике увлажнения угольных пластов применяют 3 основные схемы: через шпур, короткие скважины, перпендикулярные забою лавы, и через длинные скважины, параллельные забою лавы. При первой схеме процесс нагнетания обычно продолжается не более 20 минут, при второй — 60–180 минут, а при третьей обычно длится 1–2 суток и более. Достижение максимальной эффективности увлажнения угля требует значительных временных затрат, которые очень часто трудносовместимы с технологическими процессами горных работ, и возможно лишь при бурении длинных скважин [2].

В процессе бурения скважин по угольным пластам они могут отклоняться от проектного направления по азимуту на значительные величины, достигающие в ряде случаев 20–25 м при длине скважин 100–120 м, и выходить в боковые породы. Это вызвано изменчивостью мощности и угла падения угольного пласта, ошибками угла установки бурового станка при забуривании, соотношением между крепостью угля и боковых пород, наличием включений твёрдых пород, хаотично расположенных в массиве. Допустимым же отклонением при бурении по углю нагнетательных скважин считается  $\pm 1,5$ –3 м [3]. Наибольшая интенсивность потерь скважин наблюдается на участках длиной 20–30 м, что соответствует длине коротких скважин. Уход жидкости в боковые породы составляет для сланцев до 5–10 %, для песчаников и известняков — до 10–20 % на крутых и крутонаклонных пластах [4].

Горный массив, вмещающий угленосную толщу и прорезанный выработками, образует сложную гидросистему, параметры которой определяются наличием и расположе-

нием тектонических нарушений, выработок, водоносных горизонтов и водоупоров, зон повышенной проницаемости, формирующихся при надработке, подработке и сдвиге отдельных участков массива. Распространение химических веществ в нарушенном массиве происходит в сложном режиме, включающем перетоки по выработкам, фильтрацию по зонам с повышенной проницаемостью, в качестве которых выступают зоны дробления разрывов, структурно-ослабленные области литологической неоднородности пород. Динамика развития процесса во многом зависит от соотношения ориентировок зон потенциальной повышенной проницаемости и тензора тектонических нарушений.

Возможность проникновения загрязнённой ПАВ воды может возникнуть не только при наличии открытых трещин, но и в тех случаях, когда на участках сдвига горных пород возникают растяжения, повышающие их пористость и способствующие развитию микротрещин, что может резко изменить фильтрующие свойства. Эти изменения приводят к увеличению обводнённости массива, вызывая резкое снижение прочности пород, и отслаиванию их по обводнённым контактам [5].

Наличие структурно ослабленных зон в массиве горных пород приводит к тому, что ПАВ, проникая через поры и трещины, взаимодействуют с подземными водами, на участках с повышенной проницаемостью попадают в выработки и вместе с шахтными водами перекачиваются в объекты гидрографической сети или очистные сооружения, которые чаще всего не предназначены для очистки сточных вод от ПАВ. Из-за плохого технического состояния и несоблюдения технологии эксплуатации очистных сооружений в поверхностные водоприёмники (балки, реки) поступает 95 % не подвергнутой очистке либо недостаточно обработанной шахтной воды [6].

В последние годы из-за процессов затопления закрываемых шахт, рядом с которыми находятся ещё работающие шах-

ты, гидрогеологическая обстановка в угледобывающих регионах характеризуется очень значительными нарушениями региональных водоупоров в зонах ведения горных работ и усилением переноса вод глубоких горизонтов в зону активного водообмена и поверхностные водные объекты, а также активизацией взаимосвязи поверхностных и подземных вод вследствие развития зон подтопления и затопления, наличием многочисленных зон подработки речных русел и водохранилищ.

ПАВ не только сами хорошо мигрируют в подземных водах, но и способствуют миграции других, обычно плохо растворимых загрязнителей, таких как нефтепродукты, пестициды, канцерогенные вещества. Такие свойства проявляются при концентрации ПАВ около 10 мг/л [7].

ПАВ, попадая в объекты гидросферы, наносят существенный ущерб окружающей природной среде. Сточные воды, содержащие ПАВ, попадая с подземными водами в поверхностные водоёмы, тормозят процессы самоочищения, ухудшают органолептические показатели, отрицательно действуют на развитие животных и растительных организмов, населяющих водоёмы. Они вызывают обильное пенообразование, что нарушает кислородный обмен в водоемах и отрицательно влияет на растительность прибрежных районов. Для водных животных наибольшую опасность представляют залповые выбросы сточных вод с высокой концентрацией ПАВ, что приводит к массовой гибели зоо- и фитопланктона [8].

Воздействие ПАВ на сапрофитную водную микрофлору водоёмов зачастую носит двойственный характер в зависимости от типа ПАВ. При стимулирующем влиянии почти всегда происходит биологическое разложение ПАВ за счёт их использования микроорганизмами в качестве питательной среды. Это может способствовать самоочищению воды от органических загрязнителей сточных вод. Пагубное влияние детергентов на микрофлору возрастает с

увеличением минерализации воды [9]. Сточные воды угольных шахт имеют повышенную степень минерализации, и поэтому наличие в них ПАВ может способствовать угнетению микрофлоры.

Поскольку ПАВ могут попасть в подземные, а затем и в поверхностные воды, то одним из наиболее существенных требований, предъявляемых к детергентам, используемым для борьбы с пылью в угольных шахтах, является экологическая безопасность. Общепринятыми критериями экологической безопасности ПАВ являются высокий уровень биологического разложения и низкая токсичность продуктов их биологического разложения.

Биологическим разложением является любое изменение молекулы вещества, вызванное живыми организмами, ведущее к её упрощению. Биологическое разложение может быть полным и первичным. Полное биологическое разложение характеризуется распадом ПАВ до простых неорганических соединений. Первичное биологическое разложение представляет собой минимальное упрощение молекулы. Выделяют также биологическое разложение, приемлемое для окружающей среды, – изменение вещества, результатом которого служит потеря веществом своих вредных свойств. Оно может совпадать с первичным или полным в зависимости от химической структуры ПАВ [8].

Официальных документов, регламентирующих уровень биологического разложения ПАВ, используемых для борьбы с пылью в угольных шахтах, не существует. Такие нормативные документы предусмотрены только для ПАВ, входящих в состав моющих средств. В соответствии с требованиями Технического регламента моющих средств, утверждённого постановлением Кабинета Министров Украины № 717 от 20.08.2008, принятого с учётом Регламента № 648/2004 Европейского парламента и Совета ЕС от 31.03.2004 о моющих средствах, уровень первичного биологического разложения ПАВ должен составлять не менее

80 %. Норматив по полному биологическому разложению ПАВ установлен на уровне не менее 60 % за 28 дней (при контроле по диоксиду углерода) или 70 % (при контроле по общему органическому углероду). Аналогичные требования содержатся и в проекте Технического регламента Таможенного Союза «О безопасности синтетических моющих средств и товаров бытовой химии (ТР 201\_/00\_/ТС). Поскольку ПАВ, используемые для борьбы с пылью, могут попасть в те же поверхностные водные объекты, что и компоненты моющих средств, то и к ним целесообразно предъявлять аналогичные требования. При первичном биологическом разложении не менее 80 % негативное воздействие ПАВ на наземные воды резко уменьшается. В частности, в результате первичного биологического разложения уменьшается токсичность воды и пенообразование на её поверхности [8].

Биологическое разложение ПАВ в подземных и поверхностных водах ограничивается видовым составом биоценозов, химическими свойствами самих ПАВ, температурой, минерализацией и окислительно-восстановительными условиями вод. Биологическое разложение ПАВ происходит наиболее активно в условиях наличия растворённого кислорода. Такие условия в подземных условиях создаются только вблизи нагнетательных скважин. ПАВ разлагаются сульфатовосстанавливающими бактериями таких родов: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Nocardia*. Поскольку ПАВ повышают проницаемость клеточной мембраны микроорганизмов, то воздействие разных классов детергентов на них отличается. Для сульфатовосстанавливающих бактерий характерен следующий ряд воздействия ПАВ на изменение проницаемости клеточной мембраны: катионные > анионные > неионогенные. Повышение проницаемости клеточных мембран катионными ПАВ приводит к такому увеличению их содержания в плазме клеток, что вызывает их гибель. Поступление анионных и неионогенных ПАВ в плазму проис-

ходит в меньшей степени, а действие их менее токсично. Поэтому их биологическая деструкция протекает более интенсивно по сравнению с катионными ПАВ [7, 8].

По степени биологического разложения все ПАВ разделяют на три группы. К первой группе относятся «биологически мягкие» ПАВ. Для них характерно увеличение потребления кислорода пропорционально их концентрации в воде. Обычно потребление кислорода для этой группы веществ в течение 6 часов составляет от 30 до 40 % от теоретического количества для полного окисления ПАВ. Динамический метод, который имитирует работу очистных сооружений, показывает, что количество подвергшихся деструкции ПАВ при этом составляет более 80 %. Скорость полного разложения в водоёмах зависит от начальной концентрации ПАВ. Для этой группы веществ при исходной концентрации 1 мг/л полный распад происходит в течение 0,5–1,5 суток и при концентрации 5 мг/л – в течение 1,5–5 суток. Ко второй группе относятся ПАВ, которые разлагаются значительно медленнее и для которых характерно нарушение пропорциональности в потреблении кислорода при повышении исходной концентрации ПАВ в воде. Третью группу составляют «биологически жёсткие» ПАВ. Они также характеризуются уменьшением скорости деструкции при увеличении концентрации ПАВ в сточных водах. Соединения этой группы при длительной биологической очистке (более 30 суток) распадаются всего на 35–40 %. Распад на 50 % достигается в течение 2 месяцев. При содержании ПАВ этой группы в воде свыше 10 мг/л возникает сильное пенообразование и нарушаются окислительные процессы в водоёмах [10].

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

При определённых условиях ПАВ, являющиеся компонентами рабочих жидкостей для снижения пылеобразующей способности угольных пластов, могут попасть в шахтные воды, а через систему шахтного водоотлива — и в поверхностные водные

объекты. ПАВ, не способные быстро разлагаться в водной среде, оказывают на неё существенное негативное воздействие.

Применение рабочих жидкостей для пылеподавления с регламентируемым уровнем биологического разложения позволяет существенно снизить уровень запылённости воздуха в горных выработках

угольных шахт, решить экологическую проблему за счёт снижения техногенной нагрузки на гидросферу при сбросе в поверхностные водоёмы шахтных сточных вод, содержащих ПАВ с первичным биологическим разложением не менее 80 %.

### Библиографический список

1. Кудряшов, В. В. Смачиватели и связывание пыли в угольных шахтах и разрезах [Текст] / В. В. Кудряшов // *Безопасность труда в промышленности*. — 2001. — № 11. — С. 26–28.
2. Ищук, И. Г. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий [Текст] : справочник / И. Г. Ищук, Г. А. Поздняков. — М. : Недра, 1991. — 273 с.
3. Твардовский, Е. Д. Средства и контроль направленного бурения скважин по углю для нагнетания [Текст] / Е. Д. Твардовский, Б. П. Притчин, П. Н. Торский // *Борьба с силикозом*. — М. : Наука, 1970. — т. VIII. — С. 72–77.
4. Технология подземной разработки и процессы горных работ в очистных забоях крутых и крутонаклонных угольных пластов [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. : С. С. Гребёнкина. — Донецк : КП «Регион», 2000. — 506 с.
5. Майборода, А. А. Воздействие горно-геологических факторов на состояние водных и экологически опасных объектов [Текст] / А. А. Майборода, О. В. Терешина // *Уголь Украины*. — 1994. — № 3. — С. 52–54.
6. Григорюк, М. Е. Угольное производство как составляющая техногенной нагрузки [Текст] / М. Е. Григорюк // *Уголь Украины*. — 2006. — № 2. — С. 31–33.
7. Тютюнова, Ф. И. Гидрогеохимия техногенеза [Текст] / Ф. И. Тютюнова. — М. : Наука, 1987. — 335 с.
8. Микробиологическая очистка воды от поверхностно-активных веществ [Текст] / С. С. Ставская и др. — К. : Наукова думка, 1988. — 184 с.
9. Григорьева, Л. В. Санитарная бактериология и вирусология синтетических моющих средств [Текст] / Л. В. Григорьева. — К. : Здоров'я, 1980. — 160 с.
10. Бухитаб, З. И. Технология синтетических моющих средств [Текст] / З. И. Бухитаб, А. П. Мельник, В. М. Ковалёв. — М. : Легпромбытиздат, 1988. — 320 с.

© Давиденко В. А.

© Ноженко А. А.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,  
к.м.н., гл. врачом ГС «АГСЭС» МЗ ЛНР Капрановым С. В.**

Статья поступила в редакцию 28.02.17.

**к.т.н. Давиденко В. А., Ноженко О. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

### **ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РОБОЧИХ РІДИН ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПИЛОУТВОРЮЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

Наведено результати досліджень можливості забруднення підземних і поверхневих вод при використанні робочих рідин, які застосовують для підвищення ефективності завчасного зниження пилоутворювальної здатності вугільних пластів. Проаналізовані можливі наслідки такої забруднення та умови, виконання яких знизить вірогідність прояву цих наслідків.



**Ключові слова:** *пилоутворення, попереднє зволоження вугільних пластів, поверхнево-активні речовини, підземні води, поверхневі води, екологічна безпека, біологічний розклад.*

**PhD Davidenko V. A., Nozhenko A. A.** *(DonSTU, Alchevsk, LPR)*

**JUSTIFICATION THE NEED OF USING ENVIRONMENTALLY SAFE WORKING LIQUIDS TO REDUCE THE DUST OCCURENCE IN COAL-BASED LAYERS**

*Investigation results for the possible contamination of groundwater and surface water with working fluids being used to increase the efficiency of the forehand reduce of dust-forming ability of coal seams are presented. The possible consequences of such pollution and the conditions, which will reduce probable manifestation of these consequences, have been analyzed.*

**Key words:** *dust-forming, preliminary moistening of coal seams, surface-active substances, groundwater, surface water, ecological safety, biological decomposition.*

УДК 631.6.033

Лиман С. А.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, sergejliman@rambler.ru)

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ НИВЕЛИРОВАНИЯ

*В данной статье рассмотрены основные технологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность геодезических работ, в частности, геометрическое и боковое нивелирование, действующие в условиях производственного процесса на промышленных предприятиях. При непрерывном технологическом процессе на точность геодезических наблюдений влияние оказывают вибрация от работающего оборудования и рефракция от работы различных нагревательных и вентиляционных механизмов. Поскольку в большинстве случаев нет возможности остановить работу оборудования, то вибрация и рефракция значительно увеличивают погрешность получаемых результатов.*

*В результате проведенных экспериментов были выделены составляющие средней квадратической погрешности за счет влияния вибрации и рефракции, которые составили 5,23 и 3,05 миллиметра соответственно. В статье также даны рекомендации по уменьшению или устранению влияния данных технологических факторов на точность геодезических работ.*

**Ключевые слова:** наблюдения, вибрация, рефракция, погрешность, нивелирование.

Большой опыт геодезических наблюдений по определению геометрических параметров подкрановых путей в цехах металлургических заводов и предприятий ПО «Луганск-железобетон» позволяет выделить ряд технологических факторов, оказывающих влияние на точность геодезических наблюдений, в частности, геометрического нивелирования. Главными факторами являются: вибрация конструкций и, как следствие, геодезических приборов, рефракция (как вертикальная, так и горизонтальная), влияние работающих кранов и оборудования на смежных пролетах, запыленность атмосферы и плохая освещенность в цехах, разность температур в различных частях цеха на пути прохождения оптического луча и т. д.

Вибрация механизмов и оборудования, конвекционные потоки воздуха, вызванные работой отопительных и вентиляционных установок влияют на точность измерений. Особую трудность представляет собой недоступность путей для свободного перемещения по ним персонала. Кроме того, расположение путей на высоте, наличие вблизи рельсов токопроводников создают повышенную опасность работ.

Краны со средним и тяжелым режимами работы не могут быть остановлены в рабочее время, так как они часто связаны с непрерывным технологическим процессом цеха. Поэтому геометрическое нивелирование надземных путей должно выполняться с учетом характера и степени влияния каждого из этих факторов.

Рефракция — это отклонение визирного луча, вызванное неравномерной плотностью воздуха на пути луча в результате неравномерности и перепада температуры. Различают вертикальную и горизонтальную составляющие рефракции. Для геометрического нивелирования важна лишь вертикальная составляющая рефракции, а на боковое нивелирование большее влияние оказывает горизонтальная составляющая.

Коэффициент рефракции зависит от давления, температуры, влажности и градиента температуры воздуха. Изменение давления, температуры и влажности воздуха в течение дня незначительно изменяет величину коэффициента рефракции. Неустойчивость коэффициента зависит главным образом от суточного хода вертикального градиента температуры.

На характер изменения вертикального температурного градиента воздуха решающее влияние оказывают свойства подстилающей поверхности, так как поглощенная ею энергия превращается в тепловую и передается как вглубь деятельного слоя, так и в прилегающие слои атмосферы.

При геометрическом нивелировании, когда визирный луч проходит в прилегающих к земной поверхности слоях воздуха, микроклиматические различия вызывают значительные колебания результатов наблюдений. Воздушные слои стараются прийти в равновесие, вследствие чего возникают быстро колеблющиеся вихревые потоки воздуха, вызывающие дрожание (колебание) наблюдаемого в трубе изображения. Чем больше микроклиматические различия вдоль визирного луча и чем больше по абсолютному значению градиент температуры, тем сильнее колебание изображения. Однако колебания изображения имеют случайный характер и поэтому не могут вызывать ошибки систематического характера еще и потому, что при наблюдениях стараются наводить перекрестие сетки нитей на середину колеблющегося изображения. Микроклиматические различия приземных слоев атмосферы будут вызывать различное влияние рефракции. Из всего вышесказанного следует, что установить для изменения температуры с высотой в приземном слое воздуха какую-либо определенную закономерность невозможно.

Все вышеизложенное относилось к геодезическим наблюдениям на поверхности Земли. В условиях промышленных предприятий, в особенности металлургических заводов и теплоэлектростанций, визирный луч может проходить через слои воздуха с разницей температур в десятки, а иногда и в сотни градусов. Особенно сильно рефракция оказывает влияние на геодезические наблюдения в мартеновском цехе, где один из рельсов наблюдаемого пролета проходит над мартеновскими печами, или в ТЭЦ, где визирный луч проходит над

котлами либо над паропроводами. При этом температура слоев воздуха над рельсовыми путями изменяется настолько сильно, что колебание изображения в зрительной трубе в большинстве случаев не дает возможности взять отсчет по рейке.

За 15 лет систематических геодезических наблюдений на Краматорском металлургическом заводе представилась возможность выделить и определить влияние рефракции на точность геометрического нивелирования в разливочном пролете мартеновского цеха, примыкающего к печному пролету.

Некоторое время мартеновские печи не работали в связи с ремонтом и реконструкцией, некоторые из них поддерживались в нагретом состоянии, причем температура была значительно ниже рабочей. В такой ситуации появилась возможность произвести наблюдения и выделить влияние рефракции на точность геодезических измерений.

Наблюдения производились дважды с двух станций нивелирования. Первая наблюдательная станция находилась на краю южного рельса, примыкающего к печному пролету. Именно этот рельс проходит над мартеновскими печами и поэтому визирный луч, проходя от одного конца рельса до другого на своем пути подвергается значительному влиянию вертикальной рефракции.

Вторая наблюдательная станция находилась в центре северного (удаленного от печного пролета на ширину колеи, равную 18 м) рельса. В данном случае визирный луч, проходя от северного рельса к южному, подвергался влиянию вертикальной рефракции лишь на коротком отрезке в конце своего пути. Все остальные условия наблюдения (запыленность атмосферы, плохая освещенность и вибрация) остались неизменными. Поэтому с большой долей вероятности можно сделать вывод о том, что различие вычисленных отметок головок южного рельса из двух стоянок нивелира вызвано в большей мере именно влиянием рефракции и в некоторой мере различной длиной плеч. Для сравнения от-

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

счеты брались и по северному рельсу, не подверженному влиянию рефракции от мартеновских печей. Результаты измерений и расчетов приведены в таблице 1.

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta\Delta}{2n}};$$

$$m_c = \pm \sqrt{\frac{98}{48}} = 1,43 \text{ мм};$$

$$m_{ю} = \pm \sqrt{\frac{545}{48}} = 3,37 \text{ мм};$$

$$m_p = \sqrt{m_{ю}^2 - m_c^2} = 3,05 \text{ мм}.$$

Таблица 1

Расчет средней квадратической погрешности геометрического нивелирования за счет влияния рефракции

№ кол.	Северный рельс				Южный рельс			
	$H_1, \text{ м}$	$H_2, \text{ м}$	$\Delta, \text{ мм}$	$\Delta\Delta, \text{ мм}^2$	$H_1, \text{ м}$	$H_2, \text{ м}$	$\Delta, \text{ мм}$	$\Delta\Delta, \text{ мм}^2$
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	10,069	10,069	0	0	10,069	10,073	4	16
4	10,070	10,072	2	4	10,069	10,070	1	1
5	10,077	10,074	3	9	10,038	10,043	5	25
6	10,088	10,086	2	4	10,035	10,038	3	9
7	10,045	10,047	2	4	10,045	10,052	7	49
8	10,036	10,038	2	4	10,029	10,033	4	16
9	10,054	10,052	2	4	10,024	10,028	4	16
10	10,046	10,044	2	4	10,018	10,022	4	16
11	10,044	10,043	1	1	10,015	10,022	7	49
12	10,053	10,055	2	4	10,024	10,029	5	25
13	10,044	10,045	1	1	10,009	10,010	1	1
14	10,004	10,005	1	1	10,014	10,017	3	9
15	10,009	10,009	0	0	10,035	10,037	2	4
16	10,023	10,023	0	0	10,035	10,039	4	16
17	10,046	10,049	3	9	10,024	10,029	5	25
18	10,031	10,034	3	9	10,049	10,053	4	16
19	10,034	10,034	0	0	10,051	10,059	8	64
20	10,020	10,022	2	4	10,066	10,067	1	1
21	10,048	10,051	3	9	10,064	10,069	5	25
22	10,035	10,038	3	9	10,075	10,078	3	9
23	10,041	10,040	1	1	10,080	10,082	2	4
24	10,025	10,027	2	4	10,097	10,099	2	4
25	10,030	10,033	3	9	10,091	10,100	9	81
26	10,024	10,029	2	4	10,081	10,089	8	64
27	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-
		$\sum \Delta\Delta$	=	98		$\sum \Delta\Delta$	=	545

Как видим, средняя квадратическая погрешность определения отметок головок северного рельса практически равна погрешности геометрического нивелирования, определенной для шламоотстойника прокатного цеха. Разность погрешностей  $m_p$  является составляющей рефракции от влияния мартеновских печей. Причем необходимо понимать, что систематическое влияние рефракции завуалировано случайными погрешностями, хотя изменение влияния случайных погрешностей в двух выполненных измерениях на порядок ниже полученной погрешности за счет влияния рефракции.

Аналогичное влияние вертикальной составляющей рефракции на точность геодезических наблюдений отмечается не только в мартеновском цехе, но и в других цехах и предприятиях с повышенным температурным режимом работы, вызванным технологическими процессами, происходящими на предприятиях, например, в цехах теплоэлектростанций, где рефракция вызвана нагревом воздуха от сжигания топлива в котлах, над различными паропроводами.

На основании вышеизложенных данных можно дать рекомендации по более правильной установке приборов для геодезических наблюдений по определению геометрических параметров подкрановых путей в цехах с высокотемпературным оборудованием и механизмами для повышения точности измерений и совершенствования методики наблюдений с целью ослабления влияния рефракции на точность геодезических работ.

Для ослабления рефракции, которая оказывает наиболее сильное влияние на точность измерений в “горячих” цехах, необходимо производить нивелирование при следующих условиях:

- 1) короткими лучами;
- 2) при соблюдении равенства плеч;
- 3) с пола цеха;
- 4) визирный луч не должен проходить вблизи источников тепла и вентиля-

ционных установок, или следует по возможности сократить зону прохождения луча через пространство с высокой температурной инверсией;

5) в осенний и весенний периоды, когда система отопления не работает;

6) на пути прохождения луча должны быть закрыты все окна, фрамуги.

Если эти условия выполнить невозможно, то нивелирование подкрановых путей рекомендуется проводить методами, не связанными с оптическими измерениями, например гидростатическим нивелированием.

На металлургических заводах, где технологический процесс непрерывен, полностью избежать влияния вибрации невозможно, так как времени плановых остановок (перерывов в работе кранов и другого оборудования) недостаточно для производства геодезических наблюдений за геометрическими параметрами подкрановых путей, к тому же остановки различного оборудования не совпадают по времени и вибрация от соседнего оборудования оказывает аналогичное влияние на точность геометрического нивелирования, хотя и в меньшей мере. Как показал многолетний опыт наблюдений, сказывается вибрация от работы не только обследуемого крана, но и соседних пролетов, а также от работающего вблизи оборудования.

На Краматорском металлургическом заводе в сортопрокатном цехе четыре мостовых крана склада готовой продукции связаны попарно между собой общими рядами колонн, поэтому вибрация от одного работающего крана передается на все пролеты, затрудняя производство натурных геодезических наблюдений, причем выделить влияние только вибрации на точность геометрического нивелирования весьма сложно. Для этого геодезические измерения производились дважды: непосредственно с обследуемого крана и с независимой наблюдательной площадки на изолированном фундаменте, расположенной

вблизи пролета и свободной от влияния вибрации. При этом вибрация сказывалась только на рейке и вследствие своей малой величины оказывала лишь незначительное влияние на точность наблюдений по сравнению с влиянием вибрации непосредственно на нивелир. Результаты экспериментальных наблюдений, выполненных на эстакаде готовой продукции сортопрокатного цеха, приведены в таблице 2.

$$m_B = \sqrt{\frac{848}{24}} = 5,94 \text{ мм};$$

$$m_3 = \sqrt{\frac{190}{24}} = 2,81 \text{ мм}.$$

Как видим, погрешность геометрического нивелирования по западному рельсу не превышает допустимого значения, а погрешность нивелирования по восточному рельсу, примыкающему к остальным пролетам эстакады готовой продукции (западный рельс находится на краю эстакады) превышает его почти в 2 раза.

Средняя квадратическая погрешность бокового нивелирования, вычисленная по

разностям двойных измерений при одной стоянке теодолита при работающем и отключенном оборудовании, составляет 5,23 мм.

Кроме того, затраты времени на наблюдения (взятие отсчетов) при работающем оборудовании в 3–4 раза больше, чем на взятие отсчетов при остановленных кранах, а в большинстве случаев при работающих кранах вообще выполнить наблюдения не представляется возможным. Поэтому очень важно выбрать место установки нивелира таким образом, чтобы влияние вибрации было минимальным.

Свести к минимуму влияние вибрации на точность геометрического нивелирования можно при производстве наблюдений со специальных наблюдательных станций (площадок), смонтированных на изолированных фундаментах и свободных от влияния какой бы то ни было вибрации от работающего рядом оборудования и механизмов.

Таблица 2

Расчет средней квадратической погрешности геометрического нивелирования за счет влияния вибрации

№ кол.	Восточный рельс				Западный рельс			
	с крана	с набл. площадки	$\Delta$ , мм	$\Delta\Delta$ , мм <sup>2</sup>	с крана	с набл. площадки	$\Delta$ , мм	$\Delta\Delta$ , мм <sup>2</sup>
1	10,080	10,072	8	64	10,040	10,034	6	36
2	10,016	10,018	2	4	9,980	9,983	3	9
3	10,021	10,024	3	9	10,013	10,017	4	16
4	10,015	10,029	14	196	10,013	10,017	4	16
5	10,025	10,016	9	81	10,033	10,036	3	9
6	10,043	10,034	9	81	10,039	10,042	3	9
7	10,030	10,026	4	16	10,049	10,045	4	16
8	10,023	10,026	3	9	10,048	10,046	2	4
9	10,020	10,008	12	144	10,017	10,022	5	25
10	10,030	10,022	8	64	10,000	10,005	5	25
11	10,030	10,018	12	144	10,038	10,041	3	9
12	10,028	10,022	6	36	10,032	10,028	4	16
$\Sigma \Delta\Delta = 848$				$\Sigma \Delta\Delta = 190$				



**Библиографический список**

1. Методические указания проведения обследования кранов с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации [Текст]. — М. : ВНИИПТМАШ, 1991. — 132 с.
2. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями технологических сооружений и их оснований геодезическими методами [Текст]. — М. : Энергия, 1980. — 200 с.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [Текст]. — М. : Металлургия, 1984. — 172 с.
4. Ларченко, В. Г. Результаты многолетних геодезических наблюдений за осадками и деформациями эстакад мостовых кранов [Текст] / В. Г. Ларченко, С. А. Лиман // Сборник научных трудов. — Алчевск : ДГМИ, 2001. — Вып. 13. — С. 249–254.

© Лиман С. А.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,  
гл. маркшейдером ш. «им. XIX съезда КПСС» ГУП ЛНР «Центруголь» Кияненко Н. А.**

Статья поступила в редакцию 17.02.17.

**Ліман С. А.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, sergejliman@rambler.ru)

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ НІВЕЛЮВАННЯ**

У даній статті розглянуті основні технологічні фактори, що найбільш впливають на точність геодезичних робіт, зокрема, геометричне та бокове нівелювання, що діють в умовах виробничого процесу на промислових підприємствах. При безупинному технологічному процесі на точність геодезичних спостережень впливають вібрація від працюючого устаткування та рефракція від роботи різноманітних нагрівальних та вентиляційних механізмів. Оскільки у більшості випадків немає можливості призупинити роботу устаткування, то вібрація та рефракція значною мірою збільшують похибку одержаних результатів.

У результаті проведених експериментів були виділені складові середньої квадратичної погрешності за рахунок впливу вібрації та рефракції, що склали 5,23 та 3,05 міліметри відповідно. У статті також надано рекомендації із зменшення або з усунення впливу цих технологічних факторів на точність геодезичних робіт.

**Ключові слова:** спостереження, вібрація, рефракція, помилка, нівелювання.

**Liman S. A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, sergejliman@rambler.ru)

**ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF PROCESSING FACTORS ON ACCURACY OF THE LEVELING**

The paper deals with the main processing factors greatly influencing the accuracy of land surveying, particularly geometric and side leveling occurred in a production conditions at industrial enterprises. At continuous technological process the equipment vibration and refraction from operating heating and venting mechanisms influence the accuracy of geodesic observations. In most cases as there is no reasons discontinue operation process, the vibration and refraction significantly increase the error of obtained results.

As a result of experiments there have been found out components of root-mean-square error due to the influence of vibration and refraction 5,23 and 3,05mm respectively. The paper also gives recommendations on reducing or eliminating the influence of these processing factors on the accuracy of land surveying.

**Key words:** observations, vibration, refraction, error, leveling.



**МЕТАЛЛУРГИЯ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

---

---

**МЕТАЛУРГІЯ  
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

---

---

**METALLURGY  
AND MATERIAL SCIENCES**



УДК 669.184

д.т.н. Еронько С. П.,  
к.т.н. Ошовская Е. В.,  
Стародубцев Б. И.,  
Цыхмистро Е. С.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, ersp@meta.ua)

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МИНИ-КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

*Представлены конструктивные особенности кислородного мини-конвертера, предназначенного для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов. От известных аналогов предлагаемый плавильный агрегат отличается новой кинематической схемой привода механизма вращения корпуса, модернизированным механизмом качания фурмы для вдувания порошкообразной извести в струе кислорода и наличием системы газодинамической отсечки конечного технологического шлака. Конвертер позволяет получать сталь требуемого качества из шихты с повышенным содержанием вредных примесей.*

**Ключевые слова:** металлосодержащие отходы, кислородный конвертер, плавление, вдувание порошков, отсечка шлака.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Вопросам переработки отходов, содержащих черные и цветные металлы, за рубежом в настоящее время уделяют пристальное внимание. Для координации деятельности в данной области ранее были основаны Европейская ассоциация по шлаку и Институт промышленной циркуляции вторичного сырья, по данным которых переработка вторичного сырья во многих развитых странах позволила ежегодно получать полезную продукцию на сумму, превышающую 70 млрд. долларов [1, 2].

### Постановка задачи.

Реализация прогрессивных технологий утилизации и переработки промышленных и бытовых отходов, в состав которых входят черные и цветные металлы, требует наличия специальных плавильных агрегатов, функционирующих в структуре мини- и микроразливочных заводов, в наибольшей мере соответствующих конъюнктурным требованиям ведущих экономик [3].

### Изложение материала и его результаты.

На кафедре механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета в 2010 году начаты исследования по разра-

ботке мини-плавильного агрегата, принцип действия которого обеспечивает интенсификацию тепло- и массообменных процессов, происходящих в ванне расплава и позволяющих выводить из него в шлак вредные примеси за счет улучшения условий протекания химических реакций с вдуваемыми порошкообразными и загружаемыми в кусковом виде реагентами. В качестве прототипа при создании эффективного агрегата использован Калдо-конвертер (рис. 1), промышленное применение которого на металлургических заводах Западной Европы в 50-х годах минувшего века подтвердило возможность получения в нем качественной стали при увеличенном расходе (до 50 %) металлического лома и переработке высокофосфористого чугуна любого состава. Высокой степени дефосфорации в Калдо-процессе достигали благодаря ускоренному шлакообразованию за счет интенсификации перемешивания ванны путем вращения корпуса конвертера с частотой 30 мин<sup>-1</sup> относительно его продольной оси симметрии, составляющей с горизонтальной плоскостью угол 16–20°, и одновременной подачи в струе кислорода измельченной извести через фурму, введенную в полость агрегата и совершающую колебательное движение.

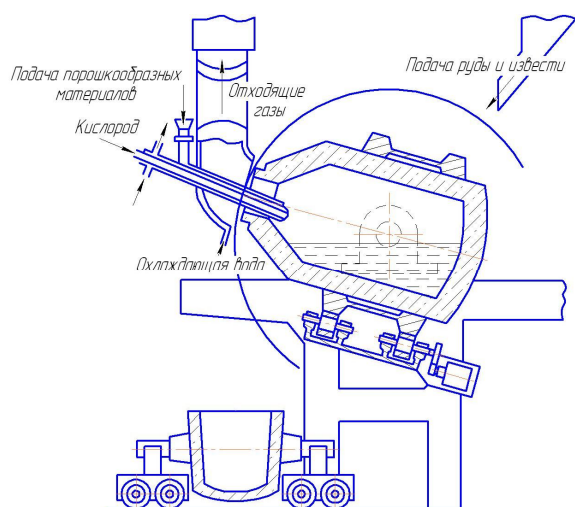


Рисунок 1 Схема конструкции конвертера для реализации Калдо-процесса

Однако из-за размещения привода механизма вращения на корпусе самого агрегата возникли значительные трудности при выполнении ремонтных работ: увеличилась общая масса подвижной системы, что потребовало применения более мощного привода механизма наклона конвертера. Кроме того, осталась нерешенной проблема отсечки конечного технологического шлака во время выпуска стали в разливочный ковш, а также отмечался повышенный расход огнеупоров на футеровку, подвергавшуюся интенсивному износу. По этим причинам Калдо-конвертеры не получили широкого внедрения и от них отказались [4]. Вместе с тем попытки устранения отмеченных недостатков продолжались, и в технической литературе имеется информация о новых конструктивных решениях, принимавшихся с целью совершенствования конвертера с двумя осями вращения. В частности, был заявлен конвертер (рис. 2), у которого вращение корпуса относительно продольной оси обеспечивает стационарно расположенный под рабочей площадкой привод, содержащий четыре двигателя и редуктор, подключаемый с помощью универсального шпинделя к корпусу плавильного агрегата после загрузки шихты и установки его под заданным углом к горизонту. По завершении плавки

привод необходимо с помощью дополнительного цилиндра отсоединить от агрегата для осуществления его наклона в сторону выпуска стали в разливочный ковш. При такой компоновочной схеме привода механизма вращения конвертера его эксплуатация по-прежнему оставалась достаточно сложной. Кроме того, у данного конвертера отсутствует возможность осуществления вращения его корпуса в положениях, не совпадающих с рабочим. Необходимость такого вращения возникает при проведении различных вспомогательных операций (нанесение гарнисажа на футеровку, ее разрушения и удаления из металлического корпуса во время холодного ремонта).

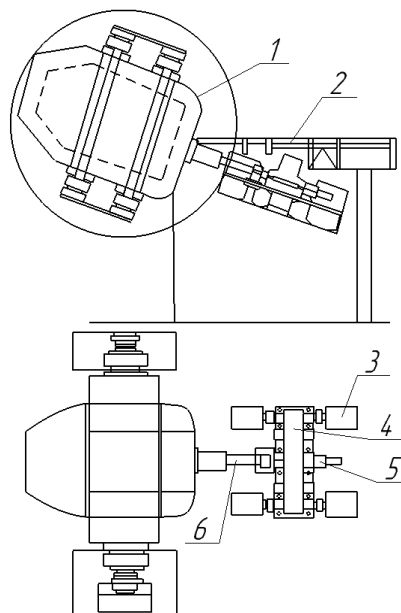


Рисунок 2 Конструкция кислородного конвертера со стационарно размещенным приводом механизма вращения его корпуса относительно продольной оси

При разработке усовершенствованного сталеплавильного агрегата (рис. 3) была поставлена задача создания новой кинематической схемы механизма вращения его корпуса относительно продольной оси, а также оборудования газодинамической системой отсечки конечного технологического шлака в процессе выпуска металла через горловину. В конвертере применен

классический вариант стационарного одно-стороннего привода механизма поворота корпуса, включающего электродвигатель 12, быстроходный 13 и тихоходный 11 редукторы. Связь вала тихоходного редуктора с приводной цапфой осуществляется посредством зубчатой муфты 10, обеспечивающей передачу больших крутящих моментов и компенсацию перекосов соединяемых хвостовиков.

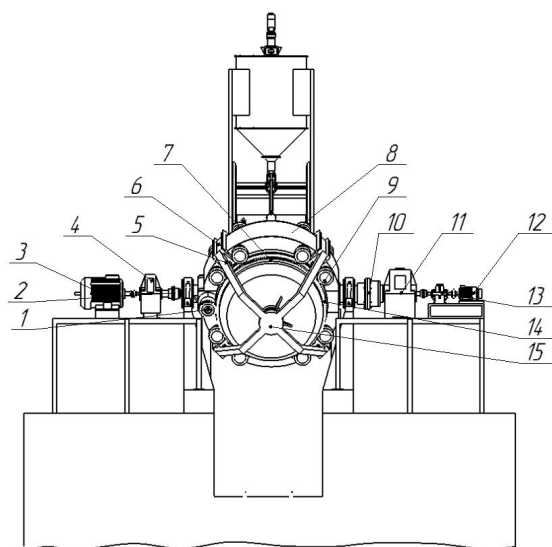


Рисунок 3 Схема компоновки механизмов наклона и поворота 10-тонного кислородного конвертера конструкции ДонГТУ

Корпус конвертера выполнен глухондным, сварной конструкции. Его фиксация относительно опорного кольца 8 осуществлена шестнадцатью центрирующими роликами 9, имеющими две реборды. Ролики разбиты на две группы и попарно на осях установлены на нижней и верхней торцевых поверхностях опорного кольца. На наружной цилиндрической поверхности кольца жестко закреплены усиленные ребрами жесткости четыре накладки 6, нижние части которых посредством шарниров связаны с изогнутыми профильными балками 5, удерживающими подшипниковую опору 15 цапфы днища конвертера. Данная опора является центрирующей и воспринимает одновременно радиальную и осевую нагрузку, поэтому она включает два

подшипника, один из них радиальный, а другой упорный. Наружную цилиндрическую поверхность корпуса конвертера охватывают два бандажа 7, которыми он опирается на ролики 9 и благодаря их ребордам фиксируется в осевом направлении относительно опорного кольца. Непосредственно под нижним бандажом на корпусе конвертера размещен зубчатый венец 14, находящийся в зацеплении с шестерней 1. Вращение этой шестерни обеспечивается стационарно размещенным на рабочей площадке приводом, в состав которого входит электродвигатель 3, редуктор 4 и соединительная муфта 2.

Механизм вращения корпуса конвертера (рис. 4) включает конический вал-шестерню 3, посредством муфты связанный с редуктором привода и установленный в подшипниковых опорах внутри цилиндрического канала, выполненного в теле цапфы 2.

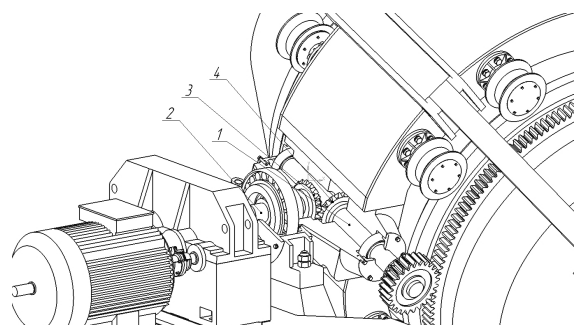


Рисунок 4 Предложенная конструкция механизма вращения корпуса кислородного конвертера

Пустотелая цапфа изготовлена за одно целое с крышкой, соединенной с обоймой, в полости которой на подшипниках качения размещен вал 1 с посаженным на него коническим зубчатым колесом 4, находящимся в зацеплении с валом-шестерней 3. На заднем конце вала закреплена прямозубая шестерня, зацепляющаяся с зубчатым венцом корпуса конвертера. Обойма закреплена между разъемными частями опорного кольца. Такое конструктивное исполнение механизма вращения корпуса

конвертера позволило разместить его привод на раме, установленной на металлоконструкции возле соответствующей цапфы опорного кольца сталеплавильного агрегата. Во время поворота корпуса конвертера относительно оси цапф коническое зубчатое колесо 4 обкатывается по шестерне 3, благодаря чему обеспечивается одновременное независимое функционирование обоих механизмов, т. е. при изменении угла наклона сталеплавильного агрегата относительно горизонтальной плоскости его вращение можно не останавливать, что упрощает управление работой всей системы в целом. Кроме того, стационарно размещенный на рабочей площадке привод механизма вращения значительно легче обслуживать и ремонтировать, а также упрощается подвод к нему электропитания [5, 6].

При разработке системы подачи порошкообразной извести в полость мини-конвертера в струе кислорода через водоохлаждаемую фурму были учтены достоинства и недостатки известных дозирующих устройств, предполагающих использование жестких горизонтальных и вертикальных шнеков, а также пневматических насосов. Предложенная система содержит механизм перемещения фурмы и устройство дозированной подачи мелкодисперсного материала (рис. 5). Механизм перемещения фурмы включает каретку 12, снабженную двумя парами ходовых роликов 13, установленными на наклонные рельсы 14 (угол наклона  $30^\circ$ ). Перемещение фурменной каретки осуществляется винтовым приводом, состоящим из ходового винта 6, вращаемого в подшипниковых опорах мотор-редуктором 5. Гайка винтовой передачи размещена в специальном корпусе, который прикреплен к нижней части каретки с возможностью самостоятельного центрирования относительно винта. Фурма 16 верхней своей частью закреплена на поворотной опоре 10 и с помощью кривошипного механизма 11 может совершать качательное движение относительно карет-

ки в пределах продолговатого отверстия колпака 15, жестко связанного с кареткой и снабженного патрубком для подсоединения газоотводящего тракта.

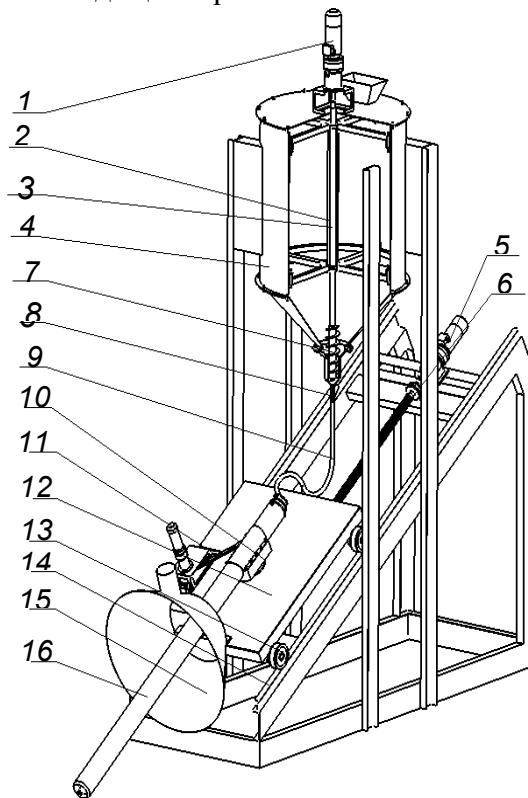


Рисунок 5 Система подачи порошкообразной извести в ванну конвертера

В состав устройства дозирования порошкообразной извести входит герметичный бункер 4, закрепленный на четырех колоннах над наклонными рельсами и снабженный размещенным внутри питателем. Этот питатель состоит из мотор-редуктора 1, связанного с вертикальным пустотелым валом 2, установленным в подшипниковых опорах в полости защитной трубы 3 и несущим на хвостовике шнек 7. Нижняя часть шнека, снабженная соплом, размещена в смесительной камере 8, соединенной посредством гибкого трубопровода 9 со штуцером кислородной фурмы 16. При подаче газообразного кислорода в полость вертикального вала, вращаемого мотор-редуктором с постоянной заданной угловой скоростью, связанный с ним шнек выдает в смесительную камеру расчетное количество порошкообразной извести,



где ее частицы захватываются кислородной струей, истекающей из сопла, и по трубопроводу уносятся в тракт фурмы, смешиваясь с основным количеством окислителя, вдуваемого в ванну конвертера [5].

С целью предотвращения попадания в разливочный ковш конечного технологического шлака, вызывающего повышенный угар раскислителей и легирующих, предлагаемый мини-конвертер снабжен устройством газодинамической отсечки шлакового расплава, схематично показанным на рисунке 6.

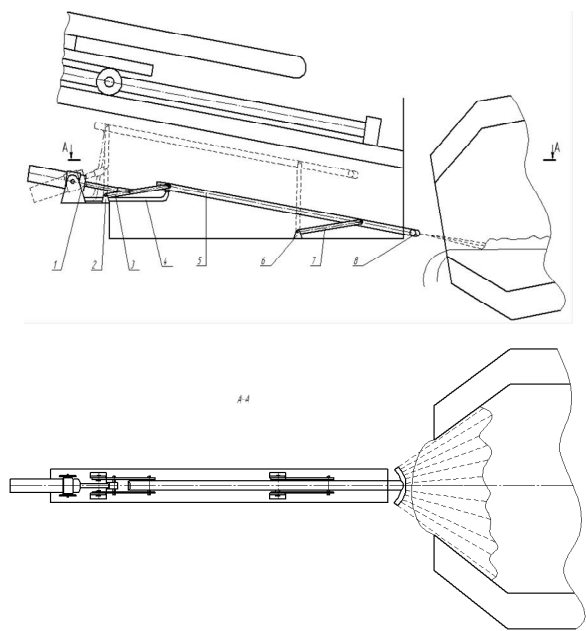


Рисунок 6 Устройство газодинамической отсечки конечного технологического шлака

Оно включает пустотелую цилиндрическую штангу 5, несущую на переднем конце дугообразную распределительную камеру 8, в стенке которой по наружному периметру выполнены щелевые сопла. Штанга посредством осей подвижно связана с двумя парами поворотных стоек 3 и 7, шарнирно закрепленных в установленных на разных уровнях опорах 2 и 6. К задней части штанги подсоединен гибкий газоподводящий рукав 4, а для поворота задней пары поворотных стоек 3 служит силовой пневмоцилиндр 1. Размеры стоек 3, 7 и расстояние

между их опорами 2, 6 приняты из условия образования ими в совокупности со штангой 5 параллелограммного механизма, благодаря чему она имеет возможность плоскопараллельного перемещения в вертикальной плоскости и сохраняет при этом постоянство угла наклона к горизонтальной плоскости, что в конечном счете обеспечивает неизменность заданного угла атаки плоских газовых струй, истекающих из щелевых сопел распределительной камеры 8, относительно зеркала металла, сливаемого через край горловины конвертера в приемную емкость (сталеразливочный ковш). При оптимальном угле атаки газовых струй достигается эффективное удержание в полости конвертера шлакового расплава за счет его оттеснения от горловины агрегата под действием динамического напора потоков газа.

Оценку правильности технических решений, принятых при разработке усовершенствованной конструкции 10-тонного мини-конвертера, выполнили с использованием изготовленной в масштабе 1:10 его действующей модели, фотография которой приведена на рисунке 7.

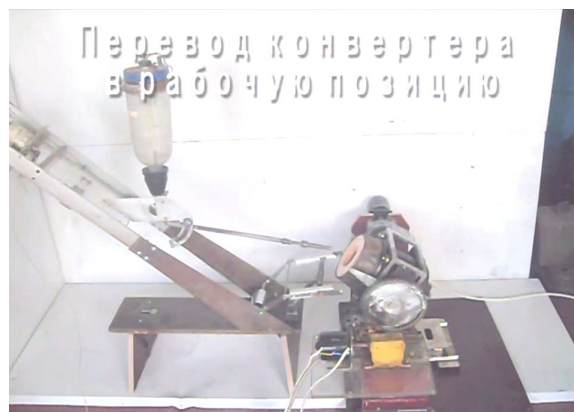


Рисунок 7 Действующая модель мини-конвертера

Модель позволяла симулировать работу всех механизмов мини-конвертера, обеспечивающих выполнение необходимого комплекса технологических операций в следующей последовательности. Вначале корпус модели сталеплавильного агрегата ус-



танавливали в вертикальное положение и в его полость последовательно загружали требуемое количество кусковых материалов, имитировавших известь, руду и флюсы, после чего его поворачивали в горизонтальное положение и осуществляли завалку металлического лома, а также заливку жидкости, моделирующей расплавленный чугун. По окончании загрузки шихтовых материалов корпус модели конвертера переводили в положение продувки (угол наклона продольной оси корпуса агрегата к горизонтальной плоскости составлял 15–20°). Для осуществления продувки тележку с фурмой переводили в рабочее положение и с помощью соответствующего механизма сообщали последней колебательное движение, во время которого в ванну конвертера в струе воздуха вдували порошкообразную известь. Сразу же после начала продувки запускали привод механизма вращения корпуса модели конвертера, что обеспечивало резкое повышение интенсивности перемешивания жидкого и твердых компонентов шихты в ванне агрегата. С целью оценки возможности регулирования процесса выплавки стали в мини-конвертере моделировали выполнение отдельно или в комплексе таких технологических приемов, как изменение скорости вращения корпуса агрегата, положения кислородной фурмы и частоты ее колебаний. После выведения фурмы из полости конвертера, последовательно поворачивая его корпус в соответствующем направлении, имитировали также выпуск стали в разливочный ковш с обеспечением отсечки конечного шлака, который затем сливали в чашу [6].

#### Библиографический список

1. Амелинг, Д. Новые разработки в производстве стали на европейских металлургических заводах с полным циклом [Текст] / Д. Амелинг // *Черные металлы*. — 2001. — № 5. — С. 16–22.
2. Винер, Р. Переработка вторичного сырья [Текст] / Р. Винер // *Металлолом*. — 2011. — № 2. — С. 9.
3. *Металлургические мини-заводы* [Текст] / А. Н. Смирнов, В. М. Сафонов, Л. В. Дорохова и др. — Донецк : ООО «Норд-Пресс», 2005. — 469 с.

Результаты физического моделирования, подтвердившие работоспособность предложенных кинематических схем всех механизмов усовершенствованного мини-конвертера, использованы при разработке методов расчета энергосиловых параметров его механизмов поворота и вращения. В настоящее время ведется подготовка конструкторской документации, необходимой для изготовления опытного образца усовершенствованного мини-плавильного агрегата, практический интерес к которому уже проявили организации, специализирующиеся на утилизации компьютерной техники и переработке отходов меди, образующихся при производстве электрического кабеля.

#### Выводы и направления дальнейших исследований.

Применение предлагаемого кислородного конвертера позволит реализовать высокоэффективную технологию переработки некачественных шихтовых материалов практически любого химического состава, что обусловлено возможностью подачи в плавильный агрегат реагентов в кусковом и порошкообразном виде и интенсификации тепло-, массообменных процессов, протекающих в его ванне и способствующих выведению из металла большого количества вредных примесей в шлак, отсекаемый во время выпуска плавки. Благодаря этому исключаются повышенный износ футеровки разливочного ковша и значительный угар вводимых в него дорогостоящих раскислителей и легирующих добавок.

4. Бойченко, Б. М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология [Текст] / Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин. — Днепропетровск : РВА «Днепро-ВАЛ», 2006. — 454 с.

5. Еронько, С. П. Мини-конвертер для переработки высокофосфористого чугуна [Текст] / С. П. Еронько, Д. И. Федяев, О. В. Афаунова и др. // *Металлургические процессы и оборудование*. — 2010. — № 3. — С. 40–46.

6. Еронько, С. П. Перспективы использования и проблематика создания мини-агрегата для переработки некачественной шихты и металлосодержащих отходов [Текст] / С. П. Еронько, Н. А. Климович // *Черная металлургия: бюл.* — ОАО «Черметинформация», 2016. — № 5. — С. 26–31.

© Еронько С. П.

© Ошовская Е. В.

© Стародубцев Б. И.

© Цыхмистро Е. С.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,  
д.т.н., проф., зав. каф. ОПМ ДонНТУ Нечепавевым В. Г.**

*Статья поступила в редакцию 10.01.17.*

**д.т.н. Єронько С. П., к.т.н. Ошовська О. В., Стародубцев Б. І., Цихмістро О. С. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)**

#### **УДОСКОНАЛЕННЯ МІНІ-КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ МЕТАЛ**

Представлені конструктивні особливості кисневого міні-конвертера, який призначений для переробки неякісної шихти і відходів, що містять метал. Від відомих аналогів запропонований плавильний агрегат відрізняється новою кінематичною схемою привода механізму повертання корпусу, модернізованим механізмом хитання фурми для вдування порошкоподібного вапна у струмені кисню і наявністю системи газодинамічного відсікання кінцевого технологічного шлаку. Конвертер дозволяє отримувати сталь потрібної якості з шихти з підвищеним вмістом шкідливих домішок.

**Ключові слова:** відходи з металом, кисневий конвертер, плавлення, вдування порошків, відсікання шлаку.

**Doctor of technical sciences Yeronko S. P., PhD Oshovskaya Ye. V., Starodubtsev B. I.,  
Tsykhmistro Ye. S. (DonNTU, Donetsk, DNR)**

#### **IMPROVEMENT OF MINI CONVERTER FOR PROCESSING OF HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL METAL-CONTAINING WASTES**

The design features of an oxygen mini-converter designed for the processing of poor-quality charge and metal-containing waste are presented. From the known analogs the proposed melting unit is distinguished by a new kinematic scheme for driving the mechanism of body rotation, a modernized tuyere rocking mechanism for injecting powder-like lime into the oxygen stream and the presence of a gas-dynamic cutoff system for the final processing slag. The converter makes it possible to produce steel of the required quality from the charge with an increased content of harmful impurities.

**Key words:** metal-containing waste, oxygen converter, melting, injection of powders, slag cutoff.

УДК 621. 365.2

к.т.н. Кухарев А. Л.  
(Стахановский учебно-научный институт  
ЛНУ им. В. Даля, г. Стаханов, ЛНР),  
д.т.н. Корсунов К. А.  
(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР),  
к.т.н. Сергиенко С. Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ЭЛЕКТРОПЕЧНЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ И ФЕРРОСПЛАВОВ

Приведены результаты расчета теплофизических характеристик электрической дуги в электропечных установках для производства стали и ферросплавов, полученные на основании численного решения уравнения Эленбааса-Геллера. Получены зависимости осевой температуры дуги и радиационного теплового потока от эффективного радиуса поглощения воздушной и Si:O:C плазмы.

**Ключевые слова:** электрическая дуга, плазма, поглощение излучения, дуговая печь.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Современные дуговые сталеплавильные печи (ДСП) и рудовосстановительные печи (РВП) представляют собой сложные электротехнологические комплексы, единичные мощности которых составляют десятки мегаватт и выше. Для проектирования рациональных конструкций и режимов работы электропечных установок необходимы данные об электрических, тепловых и газодинамических процессах в электрических дугах, представляющих собой сильноточные дуговые разряды в сложных газовых соединениях. Высокие температуры, агрессивная газовая среда и ограниченность доступа к печному пространству выдвигают на первый план применение методов математического моделирования к исследованию электропечных дуг.

Существует достаточно большое количество моделей для аналитического и численного исследования электрических дуг. Среди них наиболее полными являются модели, основанные на уравнениях магнитной гидродинамики (МГД), включающей уравнения Максвелла, уравнения переноса энергии, импульса, а также другие уравнения, описывающие турбулентность

газового потока, процессы на катоде и на аноде и др. [1–3]. Недостатками таких моделей являются их значительная сложность и, соответственно, большие затраты вычислительных ресурсов [4].

Во многих случаях, особенно при решении практических задач, достаточно использовать более простые (одномерные) модели, основанные на решении уравнения переноса энергии, типа уравнения Эленбааса-Геллера [5]. Наиболее сложным в таких моделях является учет параметров излучения плазмы в реальном спектре дугового разряда, так как плазма дуги при реальных радиусах столба 5–10 см не является оптически тонкой [6].

**Целью** данной статьи является исследование теплофизических характеристик дугового разряда в электропечных установках при различных параметрах реабсорбции излучения.

**Изложение материала и его результаты.** Для математического описания процессов в столбе электрической дуги приняты следующие допущения. Считается, что электродуговая плазма столба дуги находится в состоянии локального термодинамического равновесия, при этом свойства газа являются функциями только температуры, а давление

рассматривается в качестве параметра, режим течения газа – турбулентный, а внешние магнитные поля не учитываются. Принимается цилиндрическая симметрия дуги. Пренебрегаем работой сил вязкого трения, переносом тепла за счет теплопроводности в направлении оси симметрии, радиальной составляющей скорости газа в дуге, отклонением дуги от вертикальной оси электрода.

С учетом указанных допущений тепловые процессы в столбе дуги описываются уравнением Эленбааса-Геллера:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda_{\text{эф}} r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \sigma E^2 - U = c_p \rho V_z \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (1)$$

где  $r$  — радиус,  $T$  — температура,  $\sigma E^2$  — мощность джоулевой диссипации,  $U$  — мощность радиационных энергопотерь единицы объема,  $\sigma$  — электропроводность плазмы,  $E$  — напряженность электрического поля;  $V_z$  — осевая составляющая скорости газового потока.

Входящий в уравнение (1) коэффициент эффективной теплопроводности  $\lambda_{\text{эф}}$  плазмы имеет вид [1]:

$$\lambda_{\text{эф}} = \lambda + \lambda_m.$$

Коэффициент турбулентной теплопроводности  $\lambda_m$  может быть выражен через коэффициент турбулентной вязкости  $\mu_m$  и теплоемкость  $C_p$  с помощью соотношения:

$$\lambda_m = \mu_m \frac{C_p}{\text{Pr}_m}.$$

Турбулентное число Прандтля  $\text{Pr}_m$  может быть принято равным 0,8–1 [1], а значение турбулентной вязкости  $\mu_m$  можно определить с учетом рекомендаций [6].

Уравнение (1) дополняется граничными условиями в центре разрядной области

$$\left[ \frac{\partial T}{\partial r} \right]_{r=0} = 0 \quad (2)$$

и на внешней границе

$$[T]_{r=R_0} = T_0. \quad (3)$$

Таким образом, зная распределение скорости  $V(r)$ , по (1) можно получить распределение температуры по радиусу. Так как теплофизические характеристики дуги представляют собой сложные нелинейные температурные зависимости, для решения уравнения, как правило, применяются численные методы. Для упрощения расчета заменим частные производные по  $z$  в (1) конечными приращениями и запишем правую часть (1) в усредненном виде:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \sigma E^2 - U = G \frac{\bar{h} - h_0}{L \pi R^2}, \quad (4)$$

где  $G = 2\pi \int_0^R V_z \rho r dr$  — расход газа в дуге;

$\bar{h} = \frac{1}{G} 2\pi \int_0^R V_z \rho h r dr$  — среднемассовая энтальпия;  $L$  — длина дуги;  $R$  — радиус дуги.

Кроме того, приведем (4) к квазилинейному виду, произведя замену [5]  $S = \int_0^T \lambda dT$  — тепловая функция (функция Кирхгофа).

Тогда окончательное уравнение будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial^2 S}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial S}{\partial r} + \sigma(S) E^2 - U(S) = G \frac{\bar{h} - h_0}{L \pi R^2}. \quad (5)$$

Для расчета параметров дуги в ДСП использовались термодинамические свойства сухого воздуха [7]. Для примера на рисунке 1 показана зависимость электропроводности плазмы воздуха от температуры при атмосферном давлении.

Задание объемных радиационных энергопотерь от дуги проводилось с использованием метода чистого коэффициента излучения (net emission coefficient)  $\varepsilon_N$ , при котором [8]:

$$\varepsilon_N = \int_0^\infty B_\nu k_\nu \exp(-k_\nu R_{\text{эф}}) d\nu, \quad (6)$$

где  $B_\nu$  — функция Планка;  $k_\nu$  — коэффициент поглощения (реабсорбции);  $R_{\text{эф}}$  — эффективный радиус поглощения.

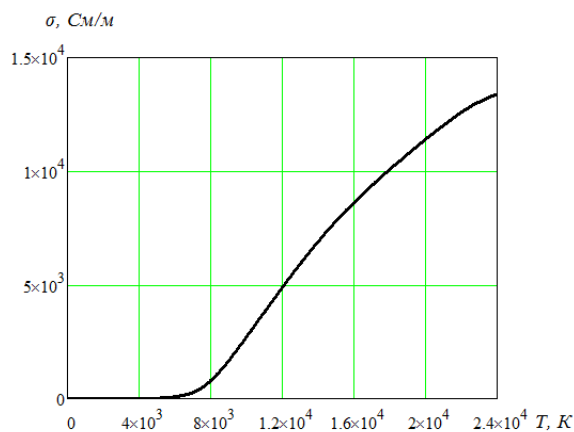


Рисунок 1 Электропроводность воздушной плазмы атмосферного давления

Зависимость чистого коэффициента излучения от температуры и эффективного радиуса поглощения плазмы воздуха приведена на рисунке 2 [8].

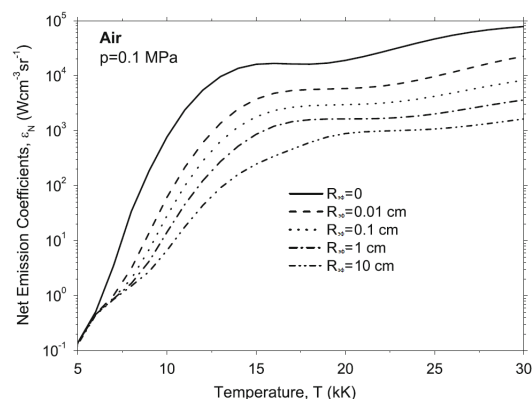


Рисунок 2 Чистые коэффициенты излучения воздушной плазмы атмосферного давления

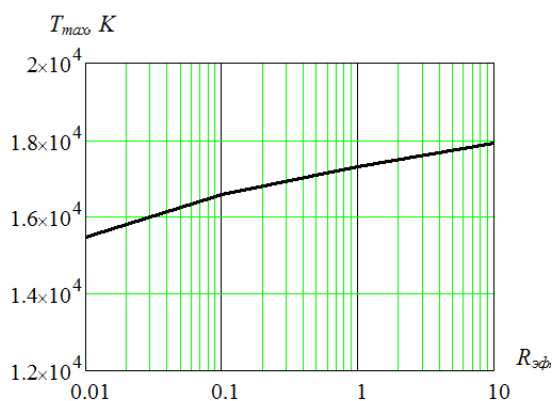
Решение уравнения (1) проводилось нами с использованием метода установления с помощью конечно-разностного алгоритма, реализованного в пакете Matlab. Для заданных  $E$ ,  $R$ ,  $L$ ,  $T_0$  и  $V(r)$  находилось распределение температуры по радиусу дуги  $T(r)$ .

Радиационный тепловой поток на стенку дуги определялся по выражению:

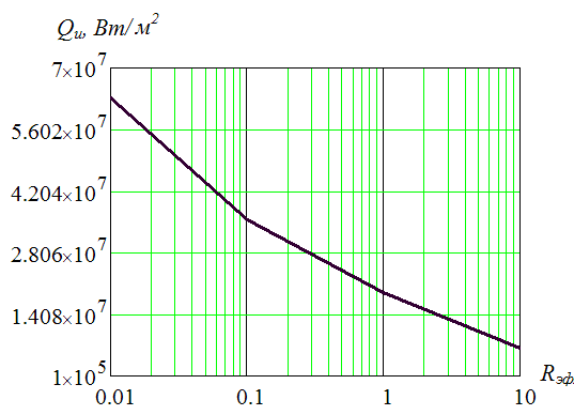
$$Q_u = \frac{2\pi \int_0^R U(S) r dr}{2\pi R} = \frac{1}{R} \int_0^R U(S) r dr. \quad (7)$$

Расчет геометрических параметров дуги для условий горения в электропечных установках проводился нами по методикам, приведенным в [4, 6]. С учетом экспериментальных данных при токах печи, составляющих несколько десятков килоампер, напряженность электрического поля в дуге составляет 8–12 В/см, а температура на стенке дуги — около 6000 К. Профиль скорости  $V(r)$  вычислялся нами по методике, приведенной в [9].

На рисунке 3 приведены результаты расчета осевой температуры дуги  $T_{max}$  и радиационного теплового потока в зависимости от эффективного радиуса поглощения  $R_{эф}$  при следующих параметрах дуг в ДСП:  $I = 85$  кА,  $R = 8$  см,  $L = 45$  см.



а)



б)

Рисунок 3 Зависимости параметров электрической дуги от радиуса поглощения в ДСП: а) осевой температуры; б) радиационного теплового потока

Аналогичные расчеты были проведены нами для дуг, горящих в РВП, выплавляющих кремнистые ферросплавы. Для этого случая нами были использованы термодинамические свойства плазмы, состоящей из паров кремния, кислорода и углерода Si:O:C (0,245:0,49:0,245), приведенные в [3]. Зависимость чистого коэффициента излучения Si:O:C плазмы от температуры при  $R_{эф} = 0$  приведена на рисунке 4.

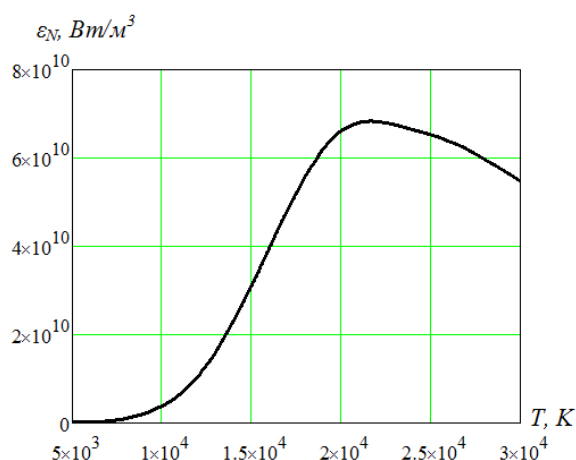


Рисунок 4 Чистый коэффициент излучения Si:O:C плазмы атмосферного давления

Так как в рассмотренных источниках отсутствуют зависимости чистого коэффициента излучения Si:O:C плазмы от эффективного радиуса поглощения, для построения этих характеристик нами было использовано выражение [11]:

$$4\pi\epsilon_N = \sigma_{CB} T^4 k_v \exp(-k_v R_{эф}), \quad (8)$$

где  $\sigma_{CB}$  — постоянная Стефана-Больцмана.

На рисунке 5 приведены результаты расчета осевой температуры дуги  $T_{max}$  и радиационного теплового потока от эффективного радиуса поглощения  $R_{эф}$  при следующих параметрах дуг в РВП:  $I = 35$  кА,  $R = 5$  см,  $L = 10$  см. При выборе модельного значения тока дуги учитывалось, что часть тока печи замыкается через сопротивление шихты, шунтирующее сопротивление дуги [3].

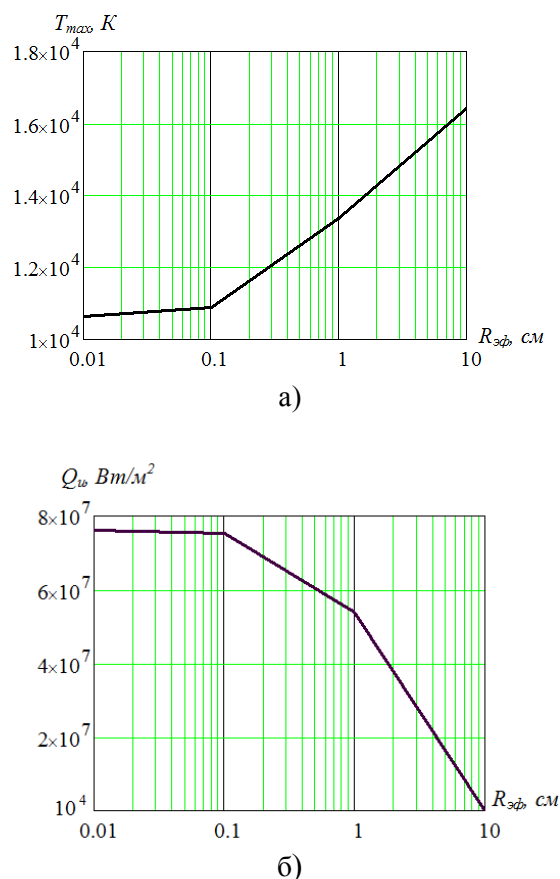


Рисунок 5 Зависимости параметров электрической дуги от радиуса поглощения в РВП: а) осевой температуры; б) радиационного теплового потока

Как видно из рисунков 3 и 5, осевые температуры в электрических дугах при  $R_{эф} = 0,01$  см составляют соответственно для ДСП — 15400 К, а для РВП — 10600 К и возрастают с увеличением радиуса поглощения плазмы.

С увеличением  $R_{эф}$  радиационный тепловой поток значительно снижается, причем, начиная с  $R_{эф} = 1$  см, радиационный тепловой поток для условий ферросплавных печей снижается гораздо быстрее, чем для ДСП. Это, по всей видимости, обусловлено сильными поглощающими свойствами Si:O:C плазмы.

Следует также отметить, что в процессе эксплуатации мощных электропечных установок теплофизические параметры электрических дуг, в том числе и радиационные характеристики, могут значительно



изменяться при наличии в плазме дуги большого количества легко ионизирующихся компонентов (кальций, алюминий, железо), при переходе дуги из контрагированного режима в диффузный и других нарушениях устойчивости ее горения.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

1. На основании решения уравнения Эленбааса-Геллера для дуг, горящих в ДСП и РВП, получены зависимости осевой температуры дуги и радиационного теплового потока от эффективного радиуса поглощения воздушной и Si:O:C плазмы.

2. Показано, что осевые температуры электрических дуг в ДСП и РВП для выплавки ферросплавов имеют близкие значения и при радиусах поглощения более 1 см составляют 13000–18000 К. Приведенные результаты расчетов удовлетворительно сопоставляются с результатами исследований электрических дуг, полученных на МГД-моделях.

3. Предложенная методика может быть использована в комплексных расчетах тепломассообмена в электрических печах.

#### **Библиографический список**

1. Крикент, И. В. Численное моделирование сильнотоочного дугового разряда в установке ковш–печь постоянного тока [Текст] / И. В. Крикент, И. В. Кривцун, В. Ф. Демченко, В. П. Пунтук // Современная электрометаллургия. — 2013. — № 3 (112). — С. 45–50.
2. Ramírez-Argáez, M. Mathematical modeling of high intensity electric arcs burning in different atmospheres [Текст] / M. Ramírez-Argáez, C. González-Rivera, G. Trápaga // ISIJ Intern. — 2009. — № 6. — P. 796–803.
3. Saevarsdottir, G. A. High-power AC Arcs in Metallurgical Furnaces [Текст] / G. A. Saevarsdottir, J. A. Bakken, V. G. Sevastyanenko, Gu Liping // High Temperature Material Processes. — 2001. — Vol. 5. — P. 21–43.
4. Fathi, A. Low computational-complexity model of EAF arc-heat distribution [Текст] / A. Fathi, Y. Saboohi, I. Skrajanc // ISIJ Intern. — 2015. — № 7. — P. 1353–1360.
5. Дзюба, В. Л. Физика, техника и применение низкотемпературной плазмы [Текст] / В. Л. Дзюба, К. А. Корсунов. — Луганск : Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2007. — 448 с.
6. Bowman, B. Arc furnace physics [Текст] / B. Bowman, K. Kruger. — Dusseldorf: Stahleisen communications, 2009. — 245 p.
7. Boulos, M. Thermal plasmas: fundamentals and applications [Текст] / M. Boulos, P. Fauchais, E. Pfender. — New York : Springer Science and Business Media, LLC, 1994. — Vol. 1. — 452 p.
8. Aubrecht, V. Net Emission Coefficients of Radiation in Air and SF<sub>6</sub> Thermal Plasmas [Текст] / V. Aubrecht, M. Bartlova // Plasma Chemistry Plasma Process. — 2009. — № 29. — P. 131–147.
9. Зимин, А. М. Математическое моделирование процессов в плазменных установках [Текст] / А. М. Зимин. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 116 с.
10. Johnsen, S. CFD Modeling of a rotating arc plasma reactor [Текст] / S. Johnsen, A. Simonsen // 10th International Conference on CFD in Oil & Gas, Metallurgical and Process Industries (Trondheim, Norway 17–19th June 2014). — Trondheim : SINTEF, 2014. — P. 161–168.

© Кухарев А. Л.  
© Корсунов К. А.  
© Сергиенко С. Н.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ Новохатским А. М.,  
деканом факультета естественных наук ЛНУ им. В. Даля, к.т.н., доц. Черныхом В. И.**

Статья поступила в редакцию 27.01.17.



к.т.н. Кухарев О. Л. (СННІГОТ ЛНУ ім. В. Даля, м. Стаханов, ЛНР), д.т.н. Корсунів К. А. (ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР), к.т.н. Сергієнко С. М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

### РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ В ЕЛЕКТРОПІЧНИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ

*Наведено результати розрахунку теплофізичних характеристик електричної дуги в електронічних установках для виробництва сталі та феросплавів, отримані на підставі чисельного рішення рівняння Еленбааса-Геллера. Отримано залежності осової температури дуги і радіаційного теплового потоку від ефективного радіусу поглинання повітряної та Si:O:C плазми.*

**Ключові слова:** електрична дуга, плазма, поглинання випромінювання, дугова піч.

PhD Kukharev A. L. (Stakhanov Educational and Scientific Institute of Mining and Educational Technology affiliated with Dalia Lugansk State University, Stakhanov, LPR), Dr.Tech.Sci. Korsunov K. A. (V. Dahl Lugansk National University, Lugansk, LPR), PhD Sergienko S. N. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

### CALCULATION OF ELECTRIC ARC PARAMETERS IN ELECTRIC FURNACE STATIONS FOR STEEL AND FERROALLOY PRODUCTION

*There have been given the calculated results on thermal and physical characteristics of electrical arc in electric furnace stations for steel and ferroalloy production obtained by numerical solutions of Elenbaas-Geller equation. There have been obtained the dependences of axial arc temperature and radiant heat flux on effective radius for air and Si:O:C plasma absorption.*

**Key words:** electrical arc, plasma, radiation absorption, arc furnace.

УДК 621.747

д.т.н. Еронько С. П.,  
Ющенко М. В.,  
Мечик С. В.,  
Антонов А. Ю.,  
Якуша В. Н.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, ersp@meta.ua)

## РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ СЛЯБОВЫХ МНЛЗ

*Представлены конструктивные схемы новых эффективных систем дозированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы слабовых машин непрерывного литья заготовок, использование которых позволяет повысить качество поверхности отливаемой заготовки, сократить на 15–20 % расход дорогостоящей ШОС и улучшить условия труда разлильщиков стали.*

**Ключевые слова:** кристаллизатор, слабовая заготовка, шлакообразующая смесь, расход.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Современная технология непрерывной разливки качественных сталей на высокопроизводительных машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) предполагает ввод в кристаллизаторы шлакообразующих и утеплительных смесей, химические и физические свойства которых подобраны опытным путем с учетом сечения отливаемой заготовки, марочного состава и скорости разливки металла.

Эффективность использования таких смесей в значительной мере зависит от равномерности их подачи на зеркало расплава.

В настоящее время в сталеплавильных цехах отечественных и зарубежных металлургических предприятий подачу смеси в кристаллизатор осуществляют, как правило, вручную.

При таком способе ввода сыпучего материала в порошкообразном или гранулированном виде практически невозможно обеспечить равномерность толщины слоя и постоянство состава образующегося шлакового расплава, что влечет за собой нестабильность процесса теплопередачи через гарнисаж и ухудшение условий формирования корочки заготовки в кристаллизаторе, а в конечном итоге — образование поверхностных дефектов [1–3].

### Постановка задачи.

Необходимость решения отмеченной проблемы обусловила начало работ по созданию систем механизированной подачи шлакообразующих и утеплительных смесей в кристаллизаторы МНЛЗ. Эффективность функционирования систем дозированной подачи ШОС оценивают обеспечиваемой ею степенью равномерности распределения на зеркале металла вводимых порошкообразных или гранулированных материалов, надежностью работы в тяжелых условиях и удобством эксплуатации при ограниченном свободном пространстве. Поэтому исследования, связанные с совершенствованием оборудования данного класса, направлены на улучшение отмеченных оценочных показателей эффективности его применения.

### Изложение материала и его результаты.

Первая отечественная установка для ввода ШОС в полость кристаллизатора в непрерывном режиме с регулируемым расходом была разработана, спроектирована и изготовлена по заказу ООО НПК «Солотвин» на кафедре механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета в 2008 году. Положительные результаты ее промышленного примене-

ния в течение 3-х лет в конвертерном цехе Алчевского металлургического комбината на одной из слябовых МНЛЗ легли в основу дальнейших разработок, внедренных на слябовых МНЛЗ № 5 и № 6 Мариупольского металлургического комбината «Азовсталь». Указанные три установки отличались компоновочными схемами, что обусловлено различиями конструктивного исполнения машин непрерывного литья заготовок, для которых они разрабатывались, но вместе с тем имели одинаковый механизм дозированной выдачи ШОС из питающего бункера и ее транспортировки к кристаллизатору. Установки включали расположенную вдоль широкой стенки кристаллизатора раму, неподвижно закрепленную на тележке промежуточного ковша или снабженную ходовыми колесами и имеющую возможность перемещения по направляющим балкам, расположенным на рабочей площадке (рис. 1). В процессе работы установки тележка 2 с помощью цепного привода 5 совершала возвратно-поступательное движение по раме 1 относительно кристаллизатора и перемещала бункер 4, оснащенный в нижней части шнековым питателем 3 с наклонным подающим носком. При этом требуемой равномерной толщины слоя ШОС на зеркале металла достигали путем согласования скорости движения тележки и объемной подачи сыпучего материала из бункера [4, 5].

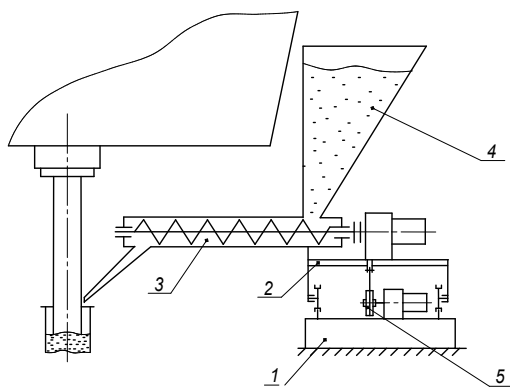


Рисунок 1 Схема установки для подачи ШОС в кристаллизатор слябовой МНЛЗ

Результаты промышленного использования систем подачи шлакообразующих смесей с жесткими шнеками свидетельствуют о том, что они обеспечивают требуемую степень равномерности распределения вводимого материала любого состава, благодаря чему сокращается его расход на 15–20 %. Вместе с этим были установлены осложнения, связанные с их эксплуатацией. Так, из-за необходимости перемещения установки в узком проеме между стенкой промежуточного ковша и металлоконструкциями его стенда ограничивался допустимый объем ее бункера, что требовало периодической загрузки в него смеси по ходу разливки. В случае изменения толщины отливаемой заготовки требуется сдвиг направляющих балок вместе с тележкой и бункером относительно вертикальной оси погружного стакана, находящегося в центре кристаллизатора, а это связано с выполнением дополнительной регулировки системы.

Поэтому было предложено принципиально новое решение, позволившее устранить отмеченные недостатки. На рисунке 2 показана схема установки, предназначенной для применения на МНЛЗ, производящей слябовую заготовку шириной до 2,3 м. При этом подающий носок 7 закреплен на каретке 4, имеющей возможность возвратно-поступательного перемещения на роликах 5 по горизонтально расположенной балке 6, представляющей собой зубчатую рейку. Перемещение каретки 4 обеспечивает закрепленный на ней мотор-редуктор 2 с зубчатой шестерней 3 на выходном валу, находящейся в зацеплении с зубьями рейки. Балка 6 с помощью жестко связанного с ней кронштейна 10 шарнирно закреплена в средней своей части на одном конце несущей поворотной консоли 12, второй конец которой установлен в шарнирных опорах на металлоконструкции 1. Кронштейн 10 с помощью тяги 11 связан с элементом 13 металлоконструкции 1. При этом размеры элемента 13, тяги 11, кронштейна 10 и поворотной консоли 12 по-

добраны таким образом, что они в совокупности образуют параллелограммный механизм, благодаря чему балка 6 имеет возможность плоско-параллельного движения в горизонтальной плоскости относительно широкой стенки кристаллизатора 9, в который из промежуточного ковша через погружной стакан 8 поступает жидкая сталь.

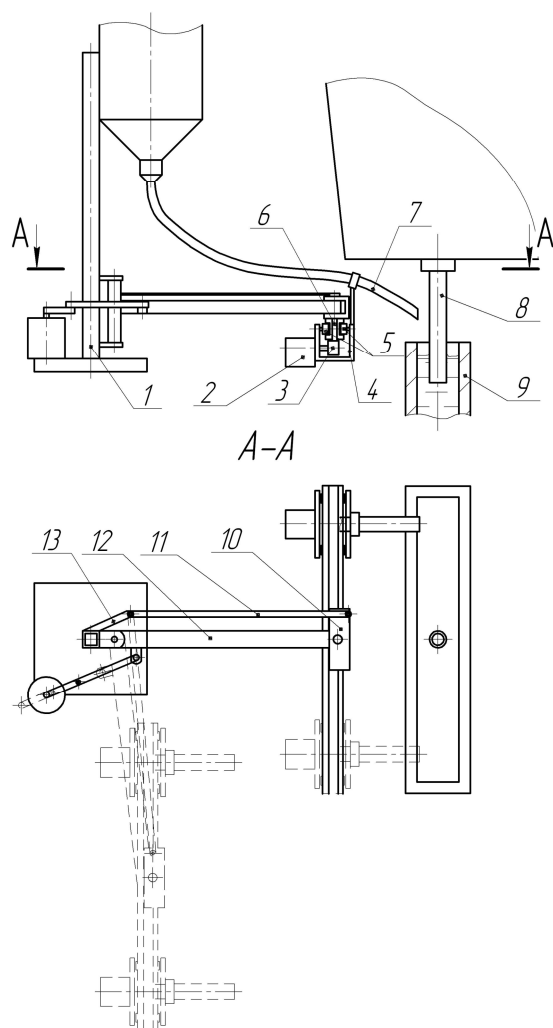


Рисунок 2 Схема установки с гибким спиральным шнеком

Такой рычажный механизм упрощает настройку установки при переходе на другое сечение отливаемой заготовки, а также с помощью специального привода обеспечивает в случае необходимости быстрый перевод дозирующей системы из рабочей позиции в положение парковки, освобож-

дая место персоналу на рабочей площадке для беспрепятственного выполнения соответствующих операций по обслуживанию разливочного устройства промежуточного ковша или устранению возникших неполадок в его работе.

С учетом того, что за рубежом в настоящее время эксплуатируется несколько слябовых машин непрерывного литья заготовок сверхкрупного сечения [6], при создании дозирующей системы, предназначенной для работы в условиях производства слитков, ширина и толщина которых превышает соответственно 2,5 и 0,3 м, была принята конструктивная схема (рис. 3), предполагающая наличие двух носков, подающих шлакообразующую смесь раздельно на зеркало металла в кристаллизаторе в зоны, разграниченные погружным стаканом.

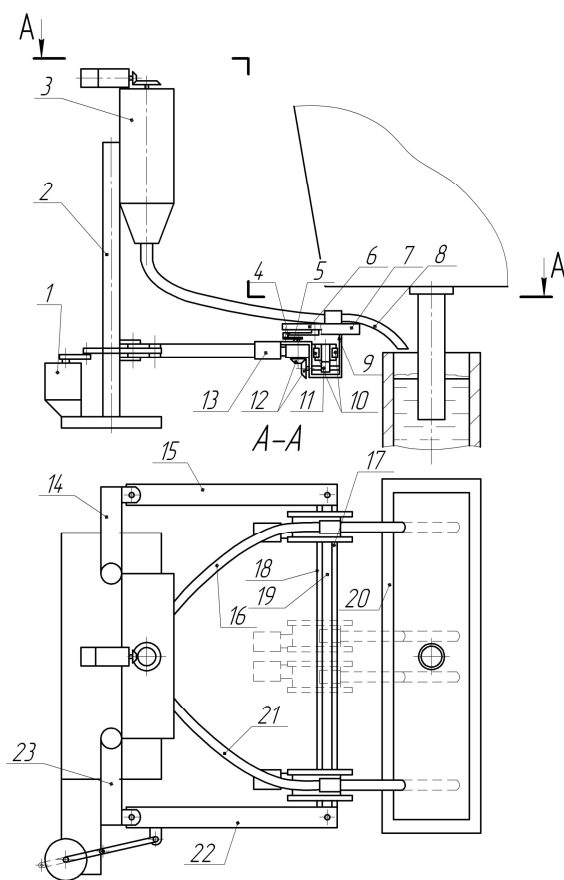


Рисунок 3 Схема установки, обеспечивающей подачу ШОС в кристаллизатор сверхкрупного сечения

Причем каждый из носков совершает движение одновременно в двух направлениях — вдоль и поперек кристаллизатора. Это позволяет повысить равномерность распределения ШОС по всей свободной поверхности стали в кристаллизаторе и снизить скорость перемещения кареток, на которых установлены подающие носки. Разработанная система включает зубчатую рейку 19, смонтированную на двух поворотных консолях 15 и 22 вдоль широкой стенки кристаллизатора 20 и снабженную двумя направляющими 17 и 18, на которые опираются двумя парами роликов 10 две каретки 9, имеющие возможность относительного продольного перемещения на расстояние 0,4–0,45 ширины сляба с помощью привода, состоящего из самотормозящегося червячного мотор-редуктора 13 с двумя хвостовиками выходного вала, расположенного вертикально. Нижний хвостовик посредством конической зубчатой передачи 12 связан с валом-шестерней 11, находящейся в зацеплении с зубьями рейки, а верхний хвостовик снабжен кривошипом 5, который с помощью шатуна 4 соединен с планкой 6, несущей подающий носок 8 и имеющей возможность поперечного перемещения относительно каретки, а значит, и кристаллизатора, в двух горизонтальных направляющих 7. Оба подающих носка посредством гибких металлорукавов 16 и 21 связаны с питающим бункером 3, неподвижно закрепленным на двух стойках 2, снабженных кронштейнами 14 и 23, которые в совокупности с поворотными консолями 15, 22 и зубчатой рейкой 19 образуют параллелограммный механизм, благодаря чему рейка при помощи привода 1 может совершать плоскопараллельное перемещение относительно широкой стенки кристаллизатора 20 для отвода от него в положение парковки. Дозированная выдача шлакообразующей смеси одновременно двумя спиральными дозаторами осуществляется от одного привода, включающего мотор-редуктор с

регулируемой частотой вращения выходного вала, на котором установлена шестерня, находящаяся в зацеплении с двумя зубчатыми колесами, вращающими вертикальные трансмиссионные валы, жестко связанные нижними концами со спиралями гибких металлорукавов [7].

Результаты проведенных стендовых испытаний опытно-промышленных образцов разработанных систем с гибкими спиральными шнеками свидетельствуют о том, что они обеспечивают устойчивую подачу как гранулированных, так и порошкообразных смесей и позволяют осуществлять регулирование их расхода в широких пределах. Благодаря тому, что в этих дозирующих системах рассредоточенная подача ШОС на зеркало металла в кристаллизаторах прямоугольного сечения больших размеров реализуется без применения громоздких и совместно движущихся шнековых питателей и бункеров-накопителей, удалось в 2-3 раза снизить требуемую мощность приводов механизмов их перемещения, а также повысить гибкость и универсальность систем как в отношении облегчения встраивания в существующие комплексы оборудования эксплуатируемых машин непрерывного литья заготовок, так и в снятии ограничений по используемым шлакообразующим смесям, имеющим разные механические свойства.

#### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

Таким образом, благодаря выполненным разработкам потенциальному потребителю предложены эффективные системы, обеспечивающие высокоточную дозированную подачу в непрерывном режиме шлакообразующих и утеплительных смесей в кристаллизаторы слябовых МНЛЗ. При их использовании снижается доля ручного труда на разливочных участках сталеплавильных цехов, улучшается качество поверхности непрерывнолитого слитка и рационально расходуются дорогостоящие шлакообразующие смеси.

**Библиографический список**

1. Куклев, А. В. Практика непрерывной разливки стали [Текст] / А. В. Куклев, А. В. Лейтес. — М. : Металлургиздат, 2011. — 432 с.
2. Комплексное использование высокоосновных теплоизолирующих, шлакообразующих рафинировочных и разливочных смесей при высокоскоростной разливке на слывовой МНЛЗ [Текст] / О. Б. Исаев, В. В. Акулов, А. И. Троцан и др. // Черная металлургия: бюл. — ОАО «Черметинформация», 2007. — № 7. — С. 25–31.
3. Разработка ШОС для нестационарных режимов разливки на сортовых МНЛЗ [Текст] / Д. Б. Фойгт, А. В. Шукан, А. Н. Иванов и др. // Сталь. — 2009. — № 4. — С. 25–27.
4. Разработка устройства для непрерывной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизаторы слывовой МНЛЗ [Текст] / С. П. Еронько, С. В. Шлемко, В. В. Акулов и др. // Черная металлургия: бюл. — ОАО «Черметинформация», 2009. — № 4. — С. 36–38.
5. Еронько, С. П. Расчет и конструирование системы дозированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор МНЛЗ при производстве слывов сверхкрупного сечения [Текст] / С. П. Еронько, М. В. Ющенко, С. В. Шлемко // Металлургические процессы и оборудование. — 2011. — № 1. — С. 10–17.
6. Смирнов, А. Н. Перспективы развития технологии и оборудования непрерывного литья заготовок для плоского проката [Текст] / А. Н. Смирнов, В. М. Пильгаев // Металлургические процессы и оборудование. — 2009. — № 2. — С. 13–18.
7. Еронько, С. П. Системы нового поколения дозированной подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы МНЛЗ [Текст] / С. П. Еронько, М. В. Ющенко, С. В. Мечик // Черная металлургия: бюл. — ОАО «Черметинформация», 2014. — № 3. — С. 87–92.

© Еронько С. П.  
 © Ющенко М. В.  
 © Мечик С. В.  
 © Антонов А. Ю.  
 © Якуша В. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,  
 д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Ченцовым Н. А.*

*Статья поступила в редакцию 10.01.17.*

**д.т.н. Еронько С. П., Ющенко М. В., Мечик С. В., Антонов А. Ю., Якуша В. М.**  
 (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

# **РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ДОЗОВАНОЇ ПОДАЧІ ШЛАКОУТВОРЮВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ У КРИСТАЛІЗАТОРИ СЛЫБОВИХ МБЛЗ**

*Представлені конструктивні схеми нових ефективних систем дозованої подачі шлакоутворювальних сумішей у кристалізатори слывових машин безперервного лиття заготовок, використання яких дозволяє підвищити якість відливої заготовки, скоротити на 15 – 20% витрати дорогої ШУС і покращити умови праці розливальників сталі.*

**Ключові слова:** кристалізатор, слывова заготовка, шлакоутворювальна суміш, витрати.

**Doctor of Technical Sciences Yeronko S. P., Yushchenko M. V., Mechik S. V., Antonov A. Yu., Yakusha V.N. (DonNTU, Donetsk, DNR)**

# **DEVELOPMENT OF EFFECTIVE SYSTEMS OF DOSING FEEDING OF SLAG-FORMING MIXTURES INTO CRYSTALLIZERS OF SLAB CCMs**

*The constructive schemes of new effective systems for the dosing feeding of slag-forming mixtures (SFM) to the crystallizers of slab continuous casting machines are presented. Their use makes it possible to improve the surface quality of the cast billet, to reduce by 15-20% the cost of the expensive SFM and to improve the working conditions of the steel pourers.*

**Key words:** crystallizer, slab billet, slag-forming mixture, consumption.



УДК 531.31.15+669

к.т.н. Левченко Э. П.,  
к.т.н. Рутковский А. Ю.,  
Крыжановский К. Г.,  
Долотина А. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВ

*Рассмотрены принципиально новые технические решения, направленные на снижение концентрации в воздухе пыли различных веществ и материалов. Намечены пути исследования таких устройств.*

**Ключевые слова:** запыленность воздуха, концентрация, обеспыливание, загрузка бункеров, эжекция.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Производство кокса, как и производство стали, характеризуется технологическими процессами, при которых происходят значительные по своему воздействию на природу и обслуживающий персонал пылевые выбросы разнообразных веществ и компонентов. И хотя, за последнее десятилетие, на предприятиях этих отраслей проводится существенная работа по уменьшению техногенной нагрузки на окружающую среду [1] и жизнедеятельность своих сотрудников и населения, в связи с обширным разнообразием производственных процессов еще не всегда удается в полной мере устойчиво достигать эффективных мер по минимизации загрязнения воздушной среды, особенно в местах перегрузок сырья и материалов. Кроме того, неблагоприятное воздействие на здоровье в первую очередь оказывают помещения, в которых отсутствуют нормальные условия вентилирования воздуха в связи с неправильно проведенными планировочными решениями, или перепрофилированные помещения, которые изначально предназначались для иных технологических процессов.

Для предприятий указанных отраслей наибольшее влияние по пыли оказывают в первую очередь доменное, агломерацион-

ное производство и непосредственно само производство кокса.

В дробильно-смесительном отделении высокая запыленность воздуха связана с непосредственной транспортировкой сыпучих материалов и наличием многочисленных мест перегрузок пылеобразующих материалов с одного оборудования на другое (с конвейеров к бункерам, дробилкам, грохотам, мельницам и обратно на транспортер), а также с работой указанных механизмов и машин. Повышенная концентрация пыли фиксируется в хвостовой части агломашины при загрузке агломерата в железнодорожные вагоны. Здесь наблюдается концентрация пыли в воздухе около десятков и сотен миллиграмм на 1 м<sup>3</sup>. В помещениях, расположенных под агломерационными машинами, происходит загрязнение воздуха пылевидными продуктами измельченного агломерата, которые опадают со спекательных тележек при их опрокидывании и перемещении на холостом ходу под агломашиной в направлении от одновалковой зубчатой дробилки к загрузочной части агломашины.

Актуальной научно-практической задачей повышения эффективности снижения влияния пыли на персонал, оборудование и природную окружающую среду является усовершенствование имеющихся и создание новых эффективных устройств.



**Постановка задачи.** Задачей данной публикации является уточнение применения принципиально новых устройств по эффективному обеспыливанию воздуха коксохимических и металлургических предприятий и их популяризация в промышленном производстве.

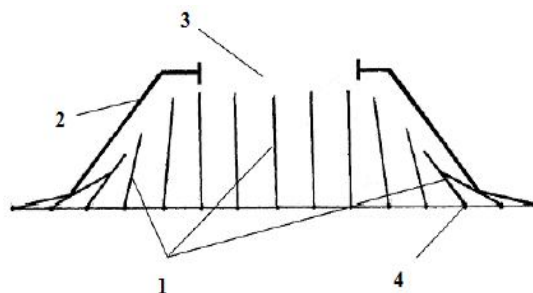
**Изложение материала и его результаты.** В связи с тем, что практически вся масса сырья и товарные продукты поступают на указанные предприятия вагонными нормами, они предварительно имеют возможность накапливаться в бункерах, при загрузке и выгрузке которых возникают существенные утечки пыли. С учетом огромнейшего количества продуктов производства, измеряемых объемом в несколько миллионов тонн в год, это оказывает очень неблагоприятное влияние.

Особенно высокая степень загрязнения воздуха пылью происходит при использовании колошниковой пыли малой влажности, поступающей из пылеуловительного оборудования. Существенному образованию пыли способствуют в основном процессы переработки сухих, легко пылящих материалов и образующиеся при этом значительные потоки воздуха, связанные с большим перепадом температурного градиента, что наблюдается и при производстве кокса.

Поэтому особое внимание необходимо уделять затворным устройствам, заблаговременно перекрывающим сообщение материалов с атмосферным воздухом.

В Донбасском государственном техническом университете разработано одно из таких устройств в виде приспособления для беспылевой загрузки батареи бункеров, изображенное на рисунке 1 [2]. Оно содержит затвор в виде жалюзийных пластин, который оснащен подвижным кожухом, контактирующим с пластинами, причем кожух имеет фигурную конфигурацию.

Данное устройство работает следующим образом.



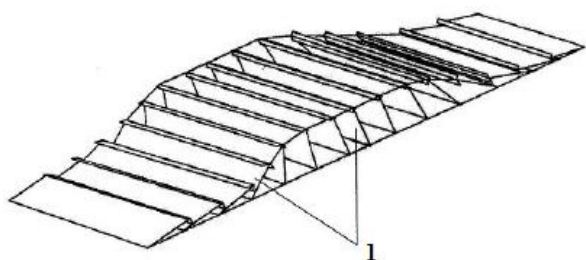
1 – жалюзийные пластины; 2 – подвижный кожух;  
3 – загрузочное окно; 4 – шарниры

Рисунок 1 Устройство для беспылевой загрузки батареи бункеров

Материал (на рис. 1 не показано) загружается в бункер через загрузочное окно 3, а воздух для предупреждения обеспыливания при этом подается снизу вверх. Под действием давления воздуха жалюзийные пластины посредством шарниров занимают вертикальное положение, открывая материалу доступ к бункеру. При этом подвижный кожух устанавливается своим загрузочным отверстием над тем бункером, в который осуществляется загрузка материала. Над другими же бункерами жалюзийные пластины находятся в закрытом положении в связи с фигурной конфигурацией поверхности подвижного кожуха.

Таким образом, осуществляется доступ именно к тому бункеру, из батареи которого происходит загрузка, а другие бункеры в данный момент времени находятся в закрытом положении. Двигающийся навстречу материалу воздух обеспечивает обеспыливание в момент загрузки. Загрязненный воздух, имеющий частички загружаемого материала, в дальнейшем направляется в пылеуловитель (на рис. 1 не показано), где подвергается очистке.

Более наглядно работа жалюзийных пластин показана на рисунке 2, где видно их открытие непосредственно над загружаемым бункером.



1 – жалюзийные пластины

Рисунок 2 Пример работы жалюзийных пластин

Таким образом, устройство для беспылевой загрузки бункеров обеспечивает более эффективное обеспыливание воздуха и снижает выбросы при их загрузке, что снижает нагрузку на окружающую среду и обслуживающий персонал.

Потребность воздуха, подаваемого для открытия жалюзийных пластин, можно найти из условия их равновесия.

Пластины жалюзийного затвора, поставленные вдоль воздушного потока, испытывают появление силы сопротивления даже при минимальном поперечном сечении. Слой воздуха, прилегающий к пластине, затормаживается из-за трения о неподвижную поверхность тем сильнее, чем больше площадь пластины  $S$ . Кинетическая энергия заторможенной струи переходит в тепловую энергию трения, а инерция струи передаётся пластинам и заставляет их открываться в направлении потока с силой [3]:

$$F = \frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S, \quad (1)$$

где  $C$  — коэффициент аэродинамической силы, учитывающий преобразование доли энергии потока в открытие пластины;  $\rho$  — плотность воздуха;  $V$  — скорость движения воздуха;  $S$  — площадь пластины.

Если размеры, а следовательно, и площадь всех пластин в жалюзийном наборе одинаковы, то общая сила, необходимая для их открытия, пропорциональна количеству пластин.

При разной площади пластин сила давления воздуха может учитываться как:

$$F = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \sum_{i=n}^{i=1} C_i \cdot S_i. \quad (2)$$

Тогда для гарантированного открытия пластинчатого жалюзийного затвора необходимо преодолеть силу тяжести пластин с учетом трения в соответствующих шарнирах, при этом должно сохраняться условие:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \sum_{i=n}^{i=1} (C_i \cdot S_i) \geq \sum_{i=n}^{i=1} \frac{G_i}{\eta_i}, \quad (3)$$

где  $G_i$  — сила тяжести (вес)  $i$ -той пластины в затворе;  $\eta_i$  — коэффициент полезного действия поворотного шарнира  $i$ -той пластины.

Отсюда можно найти минимальную скорость воздуха, необходимую для открытия затвора:

$$V \geq \sqrt{\frac{2 \sum_{i=n}^{i=1} G_i}{\rho \sum_{i=n}^{i=1} \eta_i \cdot C_i \cdot S_i}}. \quad (4)$$

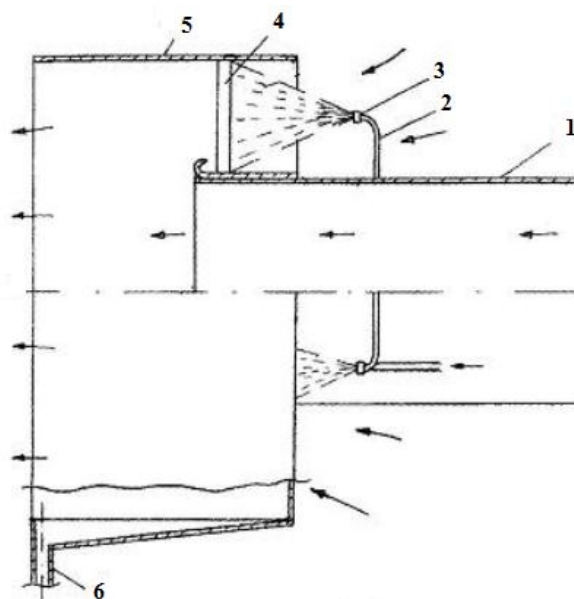
При таком подходе желательно выполнить проверку на преодоление момента инерции пластин скоростным напором.

Для улучшения параметров рабочих помещений по запыленности, в частности в тупиковых участках, разработан способ обеспыливания воздуха, включающий подачу воздуха с применением эжекционного эффекта, усиливаемого дополнительной подачей струй жидкости с последующим улавливанием воздушно-жидкостной смеси; при этом эффект улавливания повышают за счет вращения улавливателей воздушно-жидкостной смеси [4].

Иллюстрация реализации данного способа представлена на рисунке 3.

Суть способа в следующем.

Воздух по вентиляционной трубе подается в запыленный участок. За счет эффекта эжекции нагнетаемого воздуха тот воздух, который окружает запыленный участок, засасывается в полость эжектора. Подведенные через трубопроводы струи воды через форсунки дополнительно подаются в эжектор, где распыляются на тепломассообменные кассеты, что усиливает эжекционный эффект (рис. 4).



1 – вентиляционная труба; 2 – трубопроводы воды;  
3 – форсунки; 4 – теплообменные кассеты;  
5 – эжектор; 6 – патрубок

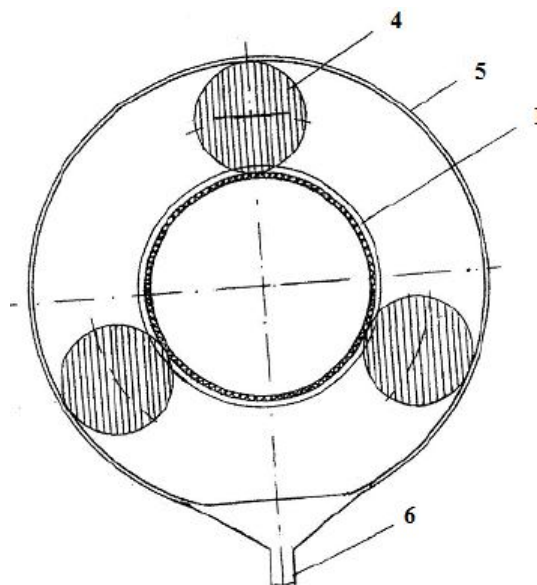
Рисунок 3 Устройство для обеспыливания воздуха

При этом пыль, оседающая на теплообменных кассетах, эффективно связывается и смывается водой, подвергаясь действию силы тяжести в нижней части эжектора, где через патрубок в виде шламовой смеси пыли и воды сливается из устройства. В дальнейшем загрязненная вода подвергается очистке (на рисунке 3 не показано) и извлечению из нее различных фракций пыли.

Для повышения эффективности пылеулавливания улавливатели в виде теплообменных кассет могут приводиться во вращение, например, за счет энергии воздуха, подаваемого по вентиляционной трубе, или энергии давления воды, а также механическим путем.

Описанный способ обеспечивает большую эффективность не только очистки, но и охлаждения воздуха, что актуально при высокотемпературных производственных процессах. За счет этого улучшаются санитарно-гигиенические условия работы обслуживающего персонала и создаются препятствия выносу пыли из технологического сооружения.

В соответствии с вышеописанным способом и к его дополнению синтезировано устройство для обеспыливания воздуха, содержащее нагнетательный трубопровод и эжекционную насадку, оснащенную форсунками для распыления жидкости, шламоприемником и теплообменными пластинами (рис. 4) [5].



1 – вентиляционная труба; 4 – теплообменные кассеты; 5 – эжектор; 6 – патрубок

Рисунок 4 Вид на эжекторы

В данной конструкции воздух подается в запыленный тупиковый участок, где за счет эффекта эжекции нагнетающего воздуха засасывается в полость эжекционной насадки. Через трубопроводы струи воды подаются в эжекционную насадку с помощью форсунок, где распыляются на теплообменные пластины (рис. 5).

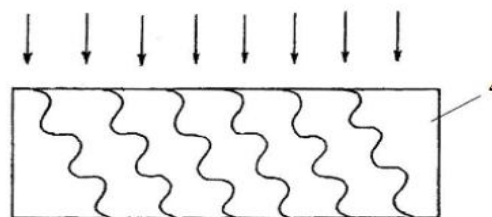


Рисунок 5 Конструкция теплообменных пластин

Приведенные технические решения позволяют с минимальными экономическими затратами организовать достаточно простые способы очистки воздуха как при работе бункеров накопления различных материалов, так и в помещениях, обладающих плохими условиями проветривания. Это позволит снизить техногенную нагрузку как на природную окружающую среду, так и на персонал, занятый на работах с неблагоприятными производственными опасными и вредными факторами. Таким путем можно добиться нейтрализации негативных факторов, которые при длительном воздействии способны привести к стойким отклонениям

состояния здоровья и профессиональным заболеваниям, что снизит экономические потери предприятия.

Простота конструкции предложенных устройств позволяет относительно легко создать их физические модели, исследовать их эффективность в лабораторных условиях при различных видах пылеуловителей и их концентрациях в воздухе в зависимости от основных конструктивных и технических параметров таких устройств, что возможно выполнить в ближайшем будущем, в том числе в условиях имеющихся возможностей на кафедрах «Экология и безопасность жизнедеятельности» и «Охрана труда».

### Библиографический список

1. Ульяницкий, И. С. Охрана окружающей среды на ОАО «Алчевсккокс» [Текст] / И. С. Ульяницкий, В. А. Жученко // УглеХимический журнал. — 2009. — № 3–4. — С. 3–6.
2. Пат. 50805и Україна МПК<sup>9</sup> E 21 F 1/00. Пристрій для безпилового завантаження батареї бункерів / Г. Г. Шальський, П. О. Данчук, Т. Б. Ведмедева, Т. У. Гаражій, Е. П. Левченко; заявник і патентовласник Донбаськ. держ. техн. ун-т. — № u200913228; заявл. 18.12.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12. — 2 с.: іл.
3. Аэродинамика судна. Сила, действующая на тело в потоке воздуха // Судовой журнал. [Электронный ресурс]. — Режим доступа.: <http://seacrew.ru/ae-rodinamika-sudna-sila-dejstvuyushaya.html>.
4. Пат. 48260и Україна МПК<sup>9</sup> E 21 F 1/00. Спосіб знепилення повітря / Г. Г. Шальський, П. О. Данчук, Т. Б. Ведмедева, Т. У. Гаражій, Е. П. Левченко; заявник і патентовласник Донбаськ. держ. техн. ун-т. — № u200909830; заявл. 28.09.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. — 2 с.: іл.
5. Пат. 48269и Україна МПК<sup>9</sup> E 21 F 1/00. Пристрій для знепилення повітря / Г. Г. Шальський, П. О. Данчук, Т. Б. Ведмедева, Т. У. Гаражій, Е. П. Левченко; заявник і патентовласник Донбаськ. держ. техн. ун-т. — № u200909873; заявл. 28.09.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. — 2 с.: іл.

© Левченко Э. П.  
 © Рутковский А. Ю.  
 © Крыжановский К. Г.  
 © Долотина А. В.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,  
 начальником бюро сталеплавильного производства ПАО «АМК» Любченко В. С.**

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

**к.т.н. Левченко Е. П., к.т.н. Рутковский О. Ю., Крижановский К. Г., Долотина Г. В.**  
 (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

### **ДОПОМІЖНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНЕПИЛЕННЯ ПОВІТРЯ В УМОВАХ КОКСОХІМІЧНОГО ТА МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Розглянуто принципово нові технічні рішення, що направлені на зниження концентрації в повітрі різних речовин та матеріалів. Намічено шляхи дослідження таких пристроїв.

**Ключові слова:** запиленість повітря, концентрація, знепилення, завантаження бункерів, ежекція.

**PhD Levchenko E. P., PhD Ruykovskii A. Yu., Kryzhanovskii K. G., Dolotina A. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**ADDITIONAL ENGINEERING SOLUTIONS ON PROVIDING AIR POLLUTION IN THE CONDITIONS OF COKE AND IRON-AND-STEEL PRODUCTION**

*Critically new engineering solutions have been studied about reducing in the air a dust concentration level from various substances and materials. Investigation methods for these appliances have been outlined.*

**Key words:** air dustiness, concentration, dedusting, hopper charging, ejection.



УДК 621.791

к.т.н. Пасечник С. Ю.,

Пасечник А. Ю.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, [aprel-tlsa@yandex.ru](mailto:aprel-tlsa@yandex.ru))

## СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

*Предложен способ электрошлаковой наплавки меди на сталь, позволяющий проводить наплавку слоя большой толщины на заготовки диаметром до 600 мм с минимальной зоной перемешивания, при изготовлении подовых электродов дуговых сталеплавильных печей. Результат достигается за счет регулирования вводимой тепловой мощности.*

**Ключевые слова:** подовые электроды, электрошлаковая наплавка, зона перемешивания.

Тенденции развития электродуговых печей направлены на снижение шума, уменьшение количества выбросов газов и пыли. Данным требованиям соответствуют дуговые печи постоянного тока с подовым электродом.

В работе [1] отмечается снижение количества выбросов, по сравнению с печами переменного тока, в 7 раз и составляет 0,2 кг/т стали. Также авторы отмечают снижение расхода графитированных электродов до 1–1,5 кг на 1 т расплава, уменьшение угара металла ( $\leq 1\%$ ), расхода ферросплавов (на 60–80 %), уровня колебаний электрического режима (не выше 20 % в начале плавки и 5 % в последующие периоды плавления).

Особенностью конструкции печей является наличие подового электрода. Условия работы данного элемента отличаются значительной величиной теплового потока до  $(2 \dots 2,5) \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> для печей большой мощности [2].

В ходе эксплуатации происходит частичное подплавление электрода и, соответственно, разрушение прилегающей футеровки вследствие действия конвекционных потоков стали и образование анодной ямы. Данное явление не позволяет использовать в качестве материала медь, которая, растворяясь в стали, приведет к изменению ее химического состава. Поэтому принято изготавливать подовые электроды либо пластинчатыми (подключение токоведущих частей к электроду за кожухом печи, контакт с жидким металлом осуще-

ствляется посредством стальных пластин, чередующихся с огнеупором), либо стержневыми. Во втором случае стержень охлаждают водой через каналы в электроде. Для увеличения теплового потока необходимо охлаждающие каналы расположить как можно ближе к рабочему торцу электрода. Однако это значительно увеличивает риск проплавления канала с последующей аварией. В связи с этим электроды изготавливают из биметалла, где рабочая, контактирующая с металлом часть выполнена из стали, а часть с каналами и элементами крепления токоведущих элементов — из меди не ниже М1.

Требования к таким изделиям: минимальная зона перемешивания меди и стали, отсутствие несплавлений. Решение данной задачи представляет значительные трудности, связанные с большой разностью температур плавления этих металлов, коэффициентов термического расширения, высокой их взаимной растворимостью в жидком состоянии.

В настоящее время такие биметаллические электроды изготавливаются несколькими способами.

Институт электросварки им. Патона предлагает либо способ последовательного электрошлакового переплава стальной и медной заготовки в кристаллизатор [3], либо способ автовакуумной пайки [4].

В первом варианте образуется значительная (до 100 мм) зона перемешивания, что приводит к существенному снижению теплопроводности.

Второй способ требует точной подгонки соединяемых заготовок (зазор не должен быть более 0,5 мм), наличие сложной вакуумной техники.

Технология фирмы «Danieli» предполагает соединение стальных и медных заготовок методом алюмотермической сварки. В данном случае сложности связаны с невозможностью управления процессом сварки.

В Донецком национальном техническом университете разработан способ электрошлаковой наплавки меди на сталь для получения крупных (до 1 тонны) биметаллических слитков.

Отличительной особенностью данного способа являются следующие моменты:

- наплавку осуществляют послойно в два этапа с контролем температуры околошовной зоны наплавляемой заготовки;
- процесс наплавки ведется с плавным изменением теплофизических свойств шлаковой ванны непосредственно в ходе плавки за счет изменения химического состава используемого флюса.

Первый (промежуточный) слой наплавляют электрошлаковым способом с применением флюса системы  $\text{CaF}_2\text{-Na}_3\text{AlF}_6$  с содержанием основных компонентов (по массе) 80 %  $\text{CaF}_2$  и 20 %  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Подогрев стальной заготовки осуществляют графитовым нерасходуемым электродом до температуры, обеспечивающей смачивание стали медью. Температуру предварительного подогрева контролируют термомпарами, зачеканенными в тело стальной заготовки на расстоянии 10 мм от зоны сплавления.

По достижении заданной температуры стальной заготовки в сварочную ванну вводят наплавляемый материал — медь М00. Его можно подавать как в виде расходного электрода, подключенного к источнику питания, так и без подачи на него напряжения силового источника питания, в зависимости от температуры наплавляемой заготовки.

После наплавки первого слоя снижают вводимую в шлаковую ванну тепловую

мощность и прекращают подачу наплавочного материала и создают условия для кристаллизации наплавленного (промежуточного) слоя. Далее приступают к операции плавной смены химического состава расплавленного шлака (без его скачивания) с целью снижения температуры шлаковой ванны и обеспечения необходимых условий для бездефектной наплавки второго слоя меди.

Наплавку основного (рабочего) слоя меди производят на закристаллизовавшийся промежуточный слой с использованием флюса нового состава. При этом непрерывно контролируют температуру наплавляемой заготовки.

При увеличении температуры заготовки выше определенной величины производят коррекцию теплового режима наплавки путем уменьшения вводимой мощности либо увеличения количества теплоносителя в кристаллизаторе.

Схема установки представлена на рисунке 1.

После наплавки определенного количества металла второго слоя его дальнейшее наращивание можно проводить на любую величину.

Специалистами кафедры «Цветная металлургия и конструкционные материалы» совместно с кафедрой «Электрометаллургия» в лаборатории спецэлектрометаллургии ДонНТУ были проведены наплавочные работы по изготовлению опытного образца заготовки такого биметаллического электрода диаметром 700 мм и высотой наплавленного медного слоя 500 мм на стальную основу высотой 600 мм. На рисунке 2 показан момент изготовления такой заготовки.

Исследования наплавленного опытного образца (рис. 3) проводили по известной методике: изготовление образцов на механические испытания из различных зон слитка, исследование микро и макроструктуры зоны сплавления и т. д.



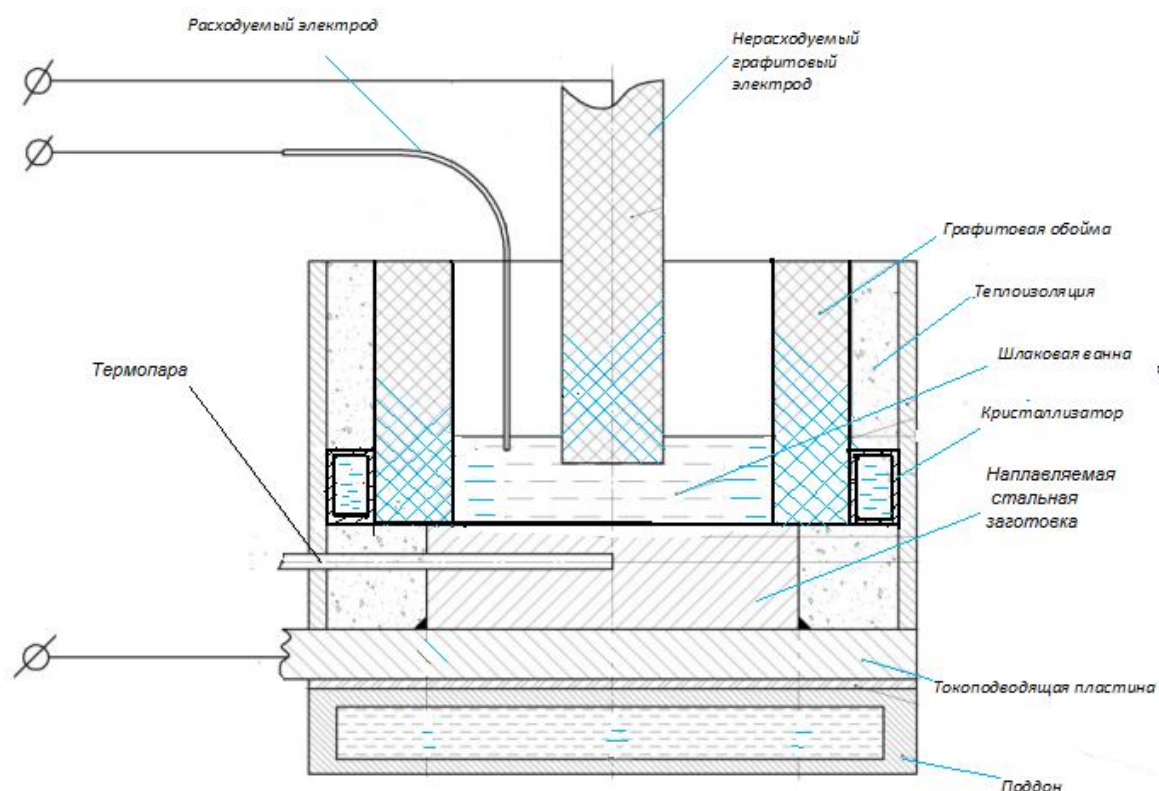


Рисунок 1 Схема установки для наплавки



Рисунок 2 Общий вид наплавочного участка

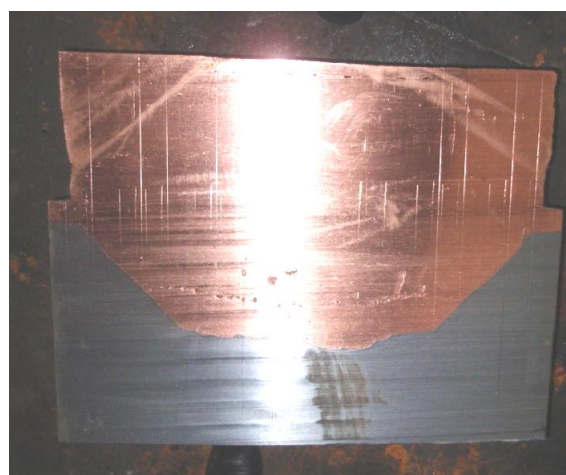


Рисунок 3 Биметаллическая заготовка

Разрывные образцы показали, что разрушение происходит по наплавленному металлу, что свидетельствует о надежности зоны сплавления.

Макроструктура шлифа после травления показана на рисунке 4. Видно, что

граница раздела металлов представляет собой четкую линию без следов размытия. Макродефекты в зоне соединения отсутствуют.

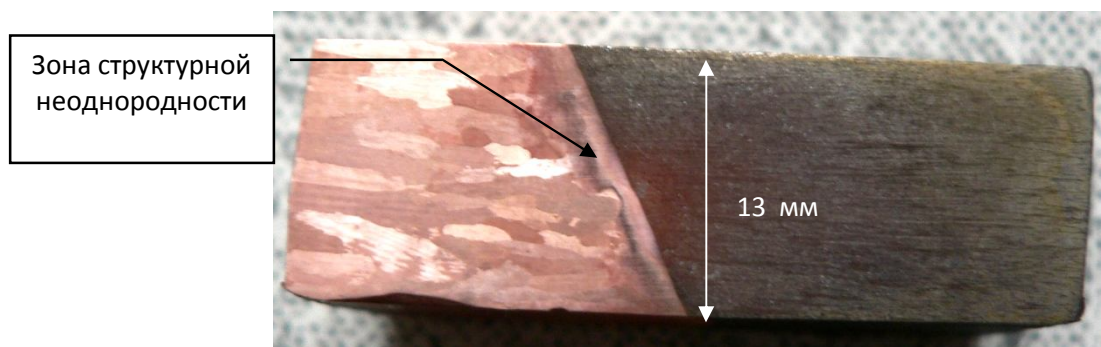
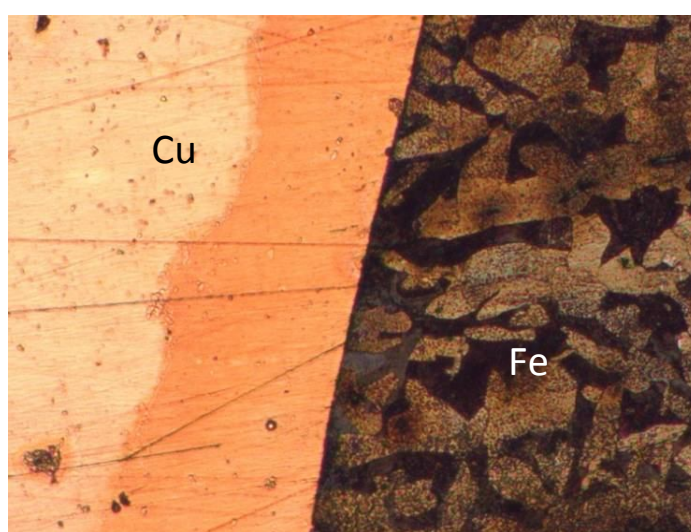


Рисунок 4 Макроструктура исследуемого образца

Рисунок 5 Микроструктура зоны соединения,  $\times 100 \times 1/2$ 

Сталь после травления имеет однородную структуру, что типично для деформированного металла. В меди выявлена структура литого металла с кристаллитами, ориентированными в направлении отвода тепла при кристаллизации. В то же время со стороны меди наблюдается структурная неоднородность вблизи границы соединения материалов. Ширина зоны неоднородности составляет 1,2...3,0 мм.

Структура зоны соединения после травления приведена на рисунке 5.

Анализ наплавленных образцов позволяет сделать вывод о перспективности предлагаемого способа при изготовлении биметаллических изделий с большой тол-

щиной наплавленного слоя, отличающихся переходной зоной шириной 2...4 мм с минимальной химической и структурной неоднородностью.

Данная технология позволяет значительно упростить процесс получения биметаллических заготовок, применять стандартное оборудование для электрошлакового переплава. Таким образом, предложенная технология изготовления биметаллических (сталь-медь) заготовок для подовых электродов является конкурентноспособной, что подтверждается полученным на этот метод патентом [5], и рекомендуется для внедрения в промышленность.

**Библиографический список**

1. Закамаркин, М. К. Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т на ОАО «Ижсталь» [Текст] / М. К. Закамаркин, М. М. Липовецкий, В. С. Малиновский // *Сталь*. — 1991. — № 4. — С. 18–20.
2. Liu, X. Melting mechanism of water-cooled billet-type bottom electrode of direct current arc furnace: a numerical approach / X. Liu, J. Zhou, H. Shi et al // *Metallurgical and materials transactions B* — October 2008. — № 39B. — P. 713–724.
3. Зайцев, В. А. Применение ЭШП по двухконтурной схеме для получения сталемедных заготовок анодов дуговых печей постоянного тока [Текст] / В. А. Зайцев, Л. Б. Медовар, П. И. Тищенко, Б. Б. Федоровский, В. М. Журавель // *Современная электрометаллургия*. — 2011. — № 2. — С. 14–16.
4. Григоренко, Г. М. Биметаллические материалы и изделия, изготавливаемые высокотемпературной некапиллярной пайкой [Текст] / Г. М. Григоренко, Л. Г. Пузрин, М. А. Полещук, А. Л. Пузрин // *Современная электрометаллургия*. — 2011. — № 4. — С. 15–19.
- 5 Пат. 104262 Україна, МПК (2013.01) B23K 9/00 B23K 9/23 (2006.01) B23/C 703/22 (2006.01). Спосіб електрошлакового наплавлення міді і її сплавів на сталь / С. Ю. Пасечник, А. Ю. Пасечник, Г. Г. Корицький; заявник і патентовласник Донецький нац. техн. ун-т. — № а 201303105; заявл. 14.03.2013; опубл. 10.10.2013, Бюл. №19. — 6 с.: іл..

© Пасечник С. Ю.

© Пасечник А. Ю.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,  
к.т.н., доц. каф. МСиС ДонНТУ Ухиным В.**

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

**к.т.н. Пасечник С. Ю., Пасечник А. Ю. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)**

**СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОДОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ**

Запропоновано спосіб електрошлакового наплавлення міді на сталь, що дозволяє проводити наплавку шару великої товщини на заготовки діаметром до 600 мм з мінімальною зоною перемішування, при виготовленні подових електродів дугових сталеплавильних печей. Результат досягається за рахунок регулювання теплової потужності що вводиться.

**Ключові слова:** подові електроди, електрошлакове наплавлення, зона перемішування.

**Ph.D. Pasechnik S. Yu., Pasechnik A. Yu. (DonNTU, Donetsk, DNR)**

**METHOD OF MANUFACTURING THE ELECTRONIC ELECTRODES**

A method for electrosag copper surfacing on steel is proposed, which allows thick layer surfacing on billets up to 600 mm in diameter with a minimal mixing zone at manufacturing the electrolytic electrodes of arc steel furnaces. The result is achieved by adjusting the input thermal power.

**Key words:** electronic electrodes, electrosag surfacing, mixing zone.

УДК 531.31.15+669

Мороз В. В.,  
к.т.н. Левченко Э. П.,  
к.э.н. Зинченко А. М.,  
к.т.н. Левченко О. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ КРУПНОСТИ ГОТОВОГО АГЛОМЕРАТА В ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКЕ

*Проанализированы основные конструктивные и технологические параметры одновалковой зубчатой дробилки горячего агломерата с целью снижения крупности кусков в готовом продукте. Получена полиномиальная математическая модель, адекватно описывающая процесс дробления.*

**Ключевые слова:** одновалковая зубчатая дробилка, анализ, конструктивные и технологические параметры, моделирование, функция отклика.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В процессе получения товарного агломерата как сырья для производства чугуна предварительно спеченный из компонентов железорудной шихты агломерационный пирог подвергается дроблению на фракции, размеры которых должны удовлетворять условиям доменной плавки с точки зрения оптимальных условий ее протекания [1, 2]. На агломерационных предприятиях такой процесс осуществляется с помощью одновалковых зубчатых или щековых дробилок [3]. С учетом конструктивных и технологических особенностей процесса дробления в готовом агломерате практически всегда присутствуют куски больших размеров, а именно, от 70 до 200 мм, которые при многочисленных перегрузках саморазрушаются с образованием пылевых фракций крупностью 5 мм и менее, что крайне нежелательно по условиям газопроницаемости для доменных печей.

Учитывая то, что применяемые дробилки разрушают аглопирог в одну стадию, добиться желаемых для выплавки чугуна размеров кусков агломерата, а именно 5–50 мм, при этом фактически невозможно. Согласно теории и практике дробления [4], максимально реализуемая степень дробления составляет в среднем около 50. Так как агломерационный пирог имеет размеры

1х2х0,32 м, а требуемый размер готового продукта 50–70 мм, то необходимо организовать процесс дробления в 2–3 стадии с постепенным уменьшением крупности готового продукта. Однако существующие конструкции дробилок агломерата не позволяют это осуществить без предварительной их модернизации. Таким образом, остро встает вопрос о снижении максимальной крупности получаемых кусков хотя бы до максимально возможного размера, обусловленного существующими техническими ограничениями.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является анализ возможностей получения готового агломерата с максимальной крупностью кусков до 70 мм на основе изучения влияния основных параметров технологического процесса дробления.

**Изложение материала и его результаты.** Так как агломерационный пирог мгновенно попадает в дробилку, а угловая частота вращения ротора не согласована со скоростью подачи материала, что приводит к образованию кусков с размерами более 200 мм, используем формулу [2]:

$$\omega = \frac{1}{S} \left( \frac{2\pi}{N} - 2 \arctg \frac{B}{2R} - 2 \arctg \frac{h}{2R_3} \right) \times \left( 2V_m \sin \alpha + \sqrt{V_m \sin \alpha + (\sin \alpha - f \cos \alpha) 2gL} \right), \text{ с}^{-1}, (1)$$



где  $S$  — значение подачи на зуб звездочки, характеризующее наибольший размер дробленого агломерата;  $N$  — число зубьев звездочки ротора;  $B$  — толщина зуба;  $R$  — радиус звездочки ротора;  $h$  — высота пирога;  $V_m$  — скорость движения пирога на спелательных тележках (паллетах);  $\alpha$  — угол наклона направляющей поверхности;  $R_z$  — радиус в месте захвата агломерата зубом звездочки ротора;  $f$  — коэффициент трения скольжения агломерата ( $f=0,45...0,55$ );  $L$  — длина пирога агломерата (1 м).

Определимся со значениями десяти параметров, входящих в формулу (1), проанализировав их влияние на максимальную крупность готового агломерата.

Значение подачи  $S$  должно быть ограничено наибольшим размером куска агломерата, полученного после дробления, что с точки зрения наилучших условий доменной плавки составляет 0,07 м/зуб (70 мм/зуб).

Число зубьев звездочки ротора  $N$  в настоящее время, по данным научного анализа литературы, применяется в диапазоне от 2 до 6, но с точки зрения снижения подачи на зуб число звездочек целесообразно увеличить до возможного максимального значения, одновременно увеличив их толщину  $B$ , что будет способствовать уменьшению значения подачи агломерата внутрь рабочей зоны дробилки.

Радиус звездочки ротора  $R$  целесообразно уменьшить, что приведет к снижению линейной скорости воздействия зуба на агломерат, при этом угловую скорость вращения ротора желательно повысить.

Высота пирога  $h$  (высота спекания) для ОАО "Алчевский металлургический комбинат" составляет 0,32 м, но для других реально существующих условий производства может достигать 0,5 м (спекание в высоком слое).

Скорость движения агломерата  $V_{II}$  на спелательных тележках на ОАО "АМК" составляет около 0,03–0,033 м/с (1,8–2,0 м/мин) и ее существенно изменять нецелесообразно.

Угол наклона направляющей поверхности  $\alpha$  в настоящее время в действующем

производстве достигает около  $60^\circ$ , что приводит к высокой скорости подачи агломерата внутрь дробилки. Поэтому его желательно уменьшить, руководствуясь условиями равновесия пирога на наклонной плоскости с учетом коэффициента трения, т. е. определить минимальный угол, когда движение пирога будет отсутствовать или происходить со скоростью движения паллет на агломашине.

Радиус в месте захвата агломерата зубом звездочки ротора  $R_z$ , по условиям крупности задаваемый подачей на зуб, должен соответствовать этой подаче, то есть зависеть от  $R_z=R-S$ .

Коэффициент трения  $f$  агломерата по стали может достигать значений  $f=0,35...0,55$ . Так как наихудшими условиями является максимальная крупность дробленого агломерата, то это будет достигаться при наименьшем значении коэффициента трения (0,35), которое следует задавать при расчетах. Если же коэффициент трения будет выше указанного значения, то и максимальная крупность агломерата будет меньше по причине меньшей скорости его скольжения по наклонной направляющей.

Длина пирога агломерата  $L$  зависит от длины паллет и в настоящее время в основном составляет 1 м.

Из анализа составляющих, входящих в формулу (1), следует, что имеются параметры, изменение значений которых по сравнению с существующими в реальном производстве, осуществлять нецелесообразно. К ним относятся:

1. Значение подачи  $S=0,07$  м/зуб.
2. Высота пирога  $h=0,32$  м.
3. Коэффициент трения агломерата по стали  $f=0,35$ .
4. Скорость движения агломерата на спелательных тележках  $V_m=0,033$  м/с.
5. Радиус в месте захвата агломерата зубом звездочки ротора  $R_z=R-S$ .
6. Длина пирога агломерата  $L=1$  м.
7. Число зубьев звездочки ротора  $N=4$  шт.

Таким образом, в качестве основных факторов, влияющих на угловую скорость вращения ротора одновалковой зубчатой дробилки  $\omega$  и определяющих максимальную крупность, будут выступать:

1. Толщина зуба  $B$ .
2. Радиус звездочки ротора  $R_3$ .
3. Угол наклона направляющей поверхности  $\alpha$ .

При этом надо стремиться к уменьшению угловой скорости вращения ротора дробилки, так как, обладая большими размерами и массой, вращающийся ротор при значительных скоростях может привести к более тяжелым условиям работы дробилки и даже вызвать резонанс системы, что крайне нежелательно.

Для проведения многофакторных исследований применяем центральное композиционное ротатабельное униформпланирование второго порядка [6] как наиболее точный тип планирования экспериментов. Интервалы варьирования факторов представлены в таблице 1. При проведении опытов, необходимых для определения численных значений коэффициентов регрессии, факторы задавались не в натуральном, а в кодовом обозначении, при котором размах их колебаний строго определен в соответствии с типом планирования [5]. Выбор факторов и уровней их варьирования осуществлялся с учетом научного анализа литературы, посвященной дроблению агломерата в одновалковой

зубчатой дробилке, а также обеспечения её работоспособности. Для проведения эксперимента была составлена компьютерная программа расчета на языке программирования Basic, при этом анализ исследуемой математической модели показал, что при значении угла наклона направляющей плоскости  $\alpha < 20^\circ$  подкоренное выражение принимает отрицательное значение. Учитывая, что в этом случае пирог агломерата будет двигаться со скоростью, равной скорости движения спекательных тележек, в формуле (1) при углах наклона  $\alpha < 20^\circ$  принимаем скорость движения пирога по направляющей равной 0,033 м/с, что соответствует реальным производственным условиям спекания агломерата.

В качестве функции отклика выбираем угловую скорость вращения ротора  $\omega$ .

Матрица центрального композиционного ротатабельного униформпланирования второго порядка представлена в таблице 2.

Для реализации экспериментов обеспечивались сочетания уровней варьирования в соответствии с матрицей планирования (табл. 2). Для этого в формулу (1) поочередно вводились соответствующие значения: задавалась необходимая толщина зуба, радиус звездочки ротора и угол наклона направляющей. Затем рассчитывались значения угловой скорости вращения ротора по формуле (1), где постоянные параметры задавались значениями, обоснованными ранее.

Таблица 1

Интервалы варьирования факторов

Параметры	Факторы		
	Толщина зуба, $x_1(B)$ , м	Радиус звездочки, $x_2(R)$ , м	Угол наклона направляющей, $x_3(\alpha)$ , °
Основной уровень, $x_i=0$	0,375	0,575	45,00
Интервал варьирования, I	0,045	0,045	8,91
Верхний уровень, $x_i=+1$	0,420	0,620	53,91
Нижний уровень, $x_i=-1$	0,330	0,530	36,09
Верхняя звездная точка, $x_i=+1,682$	0,450	0,650	60,00
Нижняя звездная точка, $x_i=-1,682$	0,300	0,500	30,00

Таблица 2

Центральное композиционное ротатабельное униформпланирование

№ п/п	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub> (B)	X <sub>2</sub> (R)	X <sub>3</sub> (α)	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
3	+1	1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	+1	-1,682	0	0	2,829	0	0	0	0	0
10	+1	+1,682	0	0	2,829	0	0	0	0	0
11	+1	0	-1,682	0	0	2,829	0	0	0	0
12	+1	0	+1,682	0	0	2,829	0	0	0	0
13	+1	0	0	-1,682	0	0	2,829	0	0	0
14	+1	0	0	+1,682	0	0	2,829	0	0	0
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

В результате изучения влияния исследуемых факторов на угловую скорость вращения ротора получена следующая адекватная модель процесса работы одно-валковой зубчатой дробилки:

$$y = 51,95 - 1,10x_1 - 1,30x_2 + 8,65x_3 - 1,08x_3^2 - 0,08x_1x_2 - 0,18x_1x_3 - 0,22x_2x_3. \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет квадратичный характер, при этом все его составляющие являются значимыми.

Для изучения влияния факторов  $x_1(B)$ ,  $x_2(L)$ ,  $x_3(\alpha)$  в отдельности на функцию отклика  $y$  (угловую скорость вращения ротора) по зависимости (2), полагаем значения двух других факторов: -1,682; 0; 1,682. Тогда (2) примет вид:

при  $x_2=x_3=-1,682$

$$y_1 = 35,91 - 0,94x_1; \quad (3)$$

при  $x_2=x_3=0$

$$y_2 = 51,95 - 1,10x_1; \quad (4)$$

при  $x_2=x_3=1,682$

$$y_3 = 60,63 - 1,54x_1; \quad (5)$$

при  $x_1=x_3=-1,682$

$$y_4 = 40,94 - 0,79x_2; \quad (6)$$

при  $x_1=x_3=0$

$$y_5 = 51,95 - 1,30x_2; \quad (7)$$

при  $x_1=x_3=1,682$

$$y_6 = 56,24 - 1,81x_2; \quad (8)$$



при  $x_1=x_3=-1,682$

$$y_7 = 55,76 + 0,67x_3 - 1,08x_3^2; \quad (9)$$

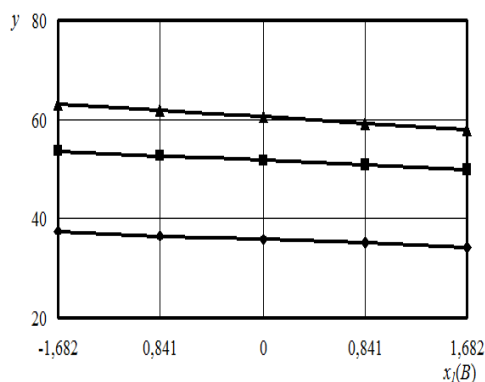
при  $x_1=x_3=0$

$$y_8 = 51,95 + 8,65x_3 - 1,08x_3^2; \quad (10)$$

при  $x_1=x_3=1,682$

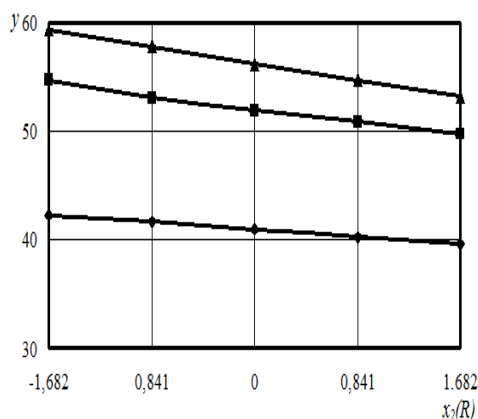
$$y_9 = 47,68 - 0,67x_3 - 1,08x_3^2. \quad (11)$$

По уравнениям (3–11) определяли значения функций откликов  $y_1$ – $y_9$  при моделировании работы дробилки. Для этого значения аргументов полагали равными:  $-1,682$ ;  $-0,841$ ;  $0$ ;  $0,841$ ;  $1,682$ . Графики соответствующих зависимостей представлены на рисунках 1–3.



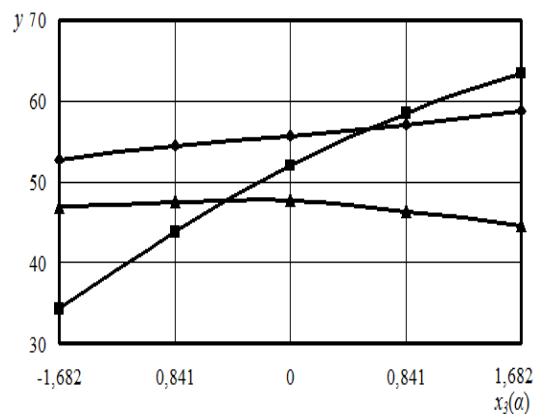
$x_1(B)$ :  $\diamond - y_1$ ;  $\blacksquare - y_2$ ;  $\blacktriangle - y_3$

Рисунок 1 Графики зависимостей  $y_1$ – $y_3$  от толщины зуба



$x_2(R)$ :  $\diamond - y_4$ ;  $\blacksquare - y_5$ ;  $\blacktriangle - y_6$

Рисунок 2 Графики зависимостей  $y_4$ – $y_6$  от радиуса звездочки ротора



$x_3(a)$ :  $\diamond - y_7$ ;  $\blacksquare - y_8$ ;  $\blacktriangle - y_9$

Рисунок 3 Графики зависимостей  $y_7$ – $y_9$  от угла наклона направляющей

Графики на рисунке 1 показывают, что от толщины зуба звездочки ротора крупность готового продукта изменяется в очень незначительной мере и ее в практическом плане можно не учитывать.

Из рисунка 2 видно, что графики функции отклика  $y_4$ – $y_6$  от фактора  $x_2(L)$  (кривые  $y_{14}$ – $y_{15}$ ) носят криволинейный характер, что говорит о влиянии радиуса звездочки ротора на угловую скорость вращения при максимальной крупности агломерата 70 мм. Минимум функции наблюдается при значениях фактора  $x_2(L)$ , близких к нулю.

Графики на рисунке 3 показывают, что функция отклика  $y$  от фактора  $x_3(a)$ , характеризующего наклон направляющей плоскости  $x_3(a)$ , имеет криволинейную зависимость с возрастанием  $y$  при увеличении  $x_3(a)$ . Таким образом, для поддержания максимальной крупности агломерата не более 70 мм угол наклона направляющей следует уменьшать. При этом наименьшее значение угловой скорости вращения ротора и нулевой уровень значения фактора не совпадают.

При переходе к натуральным значениям факторов необходимо использовать зависимости [7]

$$x_1 = \frac{h-0,375}{0,045}, \quad (12)$$

$$x_2 = \frac{R-0,575}{0,045}, \quad (13)$$

$$x_3 = \frac{\alpha-45}{8,91}, \quad (14)$$

подставляя их в выражения (2-11).

Таким образом, при неизменной конструкции одновалковой зубчатой дробилки с целью обеспечения ориентировочной крупности готового продукта около 70 мм необходимо механически организовать подачу аглоспека со скоростью, одинаковой или близкой скорости движения спекательных тележек конвейерной агломашины, а скорость вращения ротора значительно увеличить.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

На базе теории многофакторного планирования экспериментов проанализиро-

ваны основные параметры технологического процесса дробления аглоспека, оказывающие влияние на крупность получаемых кусков агломерата, поступающего в доменные печи.

Максимально возможной крупности готового агломерата (7 мм) реально достичь путем снижения скорости подачи аглопилога под действие зубьев звездочки и существенным (30...40-кратным) увеличением частоты вращения ротора. При этом необходимо принять меры для минимизации последствий вентиляторного эффекта вращающихся частей.

В дальнейших исследованиях необходимо перейти к раскодированным значениям параметров функции отклика и выполнить оптимизацию методом квантования независимых переменных.

#### **Библиографический список**

1. Левченко, О. А. Повышение эффективности дробления агломерата путем усовершенствования конструктивных параметров одновалковой зубчатой дробилки [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.08 / Левченко Оксана Александровна; Донецк. гос. техн. ун-т. — Донецк, 2009. — 176 с.
2. Мороз, В. В. Параметрический анализ одновалковой зубчатой дробилки [Текст] / В. В. Мороз, Э. П. Левченко, А. М. Зинченко, О. А. Левченко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск: ДонГТУ, 2016. — Вып. 3(46.) — С. 161–168.
3. Мороз, В. В. Перспективы повышения эффективности доменной плавки путем стабилизации фракционного состава дробленого агломерата [Текст] / В. В. Мороз, Э. П. Левченко, О. А. Левченко // Современная наука: исследования, технологии, проекты: сборник материалов V международной научно-практической конференции. — М.: Изд-во «Перо», 2015. — С. 471–476.
4. Перов, В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст]: учеб. пособие для вузов; / В. А. Перов, Е. Е. Андреев, В. Ф. Биленко. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 2007. — 301 с.
5. Особенности математического моделирования механических процессов металлургических машин [Текст] / Э. П. Левченко и др. // Современные проблемы металлургических машин: НОЦ "МС". — Норт-Чарлстон: GreateSpase, 2016. — № 4(1). — С. 14–16.
6. Построение экспериментальных моделей физических процессов в дробильно-измельчительных устройствах: в двух частях: Ч. 2 / Э. П. Левченко и др.; под научн. ред. В. Л. Земляка [Текст] // Сборник материалов Международной заочной научно-практической конференции. — Биробиджан: ИЦ им. Шолом-Алейхема, 2016. — С. 90–95.
2. Левченко, О. А. Состояние и основные направления развития технического уровня конструкций одновалковых зубчатых дробилок [Текст] / О. А. Левченко, А. М. Зинченко, Э. П. Левченко // Металлургические процессы и оборудование. — 2011. — № 1. — С. 24–29.
3. Еронько, С. П. Моделирование процесса измельчения материала на одновалковой зубчатой дробилке [Текст] / С. П. Еронько, О. А. Левченко, Р. А. Удинцов // Металлургические процессы и оборудование, 2012. — № 1. — С. 17–24.

4. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование фабрик окискования и доменных цехов [Текст] : учебн. для вузов / В. М. Гребеник и др. — К. : Выща школа, 1985. — 312 с.

5. Жилкин, В. П. Производство агломерата, оборудование, автоматизация [Текст] / В. П. Жилкин, Д. Н. Доронин. — Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. — 292 с.

7. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных [Текст] / Г. В. Веденяпин. — М. : Колос, 1967. — 188 с.

© Мороз В. В.

© Левченко Э. П.

© Зинченко А. М.

© Левченко О. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н., д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.*

*Статья поступила в редакцию 27.01.17.*

**Мороз В. В., к.т.н. Левченко Е. П., к.е.н. Зинченко А. М., к.т.н. Левченко О. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗНИЖЕННЯ КРУПНОСТІ ГОТОВОГО АГЛОМЕРАТУ В ОДНОВАЛКОВІЙ ЗУБЧАСТІЙ ДРОБАРЦІ**

*Проаналізовано основні конструктивні та технологічні параметри одновалкової зубчастої дробарки гарячого агломерату з метою зниження крупності шматків в готовому продукті. Отримано поліноміальну математичну модель, що адекватно описує процес дроблення.*

**Ключові слова:** *одновалкова зубчаста дробарка, аналіз, конструктивні та технологічні параметри, моделювання, функція відгуку.*

**Moroz V. V., PhD in Engineering Levchenko E. P., PhD in Economics Zinchenko A. M., PhD in Engineering Levchenko O. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR REDUCING THE SIZE OF FINISHED SINTER IN SINGLE-SPINDLE ROLL CRUSHER**

*The main design and technological parameters of single-spindle roll crusher for hot agglomerate have been analyzed with a view to reduce cake size of the end-product. The polynomial mathematical model adequately describing the crushing process is obtained.*

**Key words:** *single-spindle roll crusher, analysis, design and technological parameters, modelling, response function.*

УДК 621.926

к.т.н. Левченко Э. П.,  
Тумин А. Н.,  
Онищенко Н. Э.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА В ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛКАХ

*Рассмотрены возможности повышения производительности щековых дробилок на основе управления ими с помощью гидравлического привода. Акцентировано внимание на способах создания усилий, обеспечивающих наилучшее раскрытие зернового состава компонентов сырья.*

**Ключевые слова:** щековая дробилка, гидропривод, дробление, раскрытие зернового состава, циклы дробления.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Щековые дробилки на сегодняшний день нашли широкое применение во многих отраслях промышленного производства, где имеется необходимость дробления материалов при производстве различных сырьевых компонентов. Так, например, в металлургической промышленности в среднем около 40 % стоимости и до 60 % энергии, затрачиваемой на переработку руды, приходится на процессы измельчения щековыми дробилками [1].

В основном в качестве привода щек используются механические движения эксцентрикового вала с постоянной угловой скоростью его вращения, но существуют и технические решения, направленные на осуществление переменного хода щеки на рабочем и холостом ходах [2]. Такой подход позволяет повысить производительность щековой дробилки, например, за счет сокращения времени воздействия на материал при сохранении необходимой продолжительности разгрузки, т. к. она осуществляется в основном под действием сил тяжести, являющихся относительно слабыми по сравнению с дробящими силами. Кроме того, быстрое сжатие щек существенно изменяет способ воздействия на материал, увеличивая его динамику, когда медленное сжатие уже практически заменяется на ударное воздействие, которое, как известно, приводит к более полному раскрытию зерен сырьевых компонентов.

Таким образом, интенсификация режимов работы щековых дробилок является актуальной технической задачей повышения эффективности работы таких машин.

**Постановка задачи.** Задачей данной публикации является повышение эффективности работы щековых дробилок путем сокращения времени воздействия на материал за счет применения гидропривода для управления работой щеки.

**Изложение материала и его результаты.** Значительные преимущества гидропривода, по сравнению с приводами других типов, вызвали неоднократные попытки у различных фирм (например, французской фирмы «Бержо») использовать его в щековых дробилках. Однако отработанной конструкции, которая могла бы завоевывать мировой рынок в этом плане, еще нет, и каждый производитель пытается создать свое «ноу-хау». Тем не менее весьма серьезные преимущества дробилки с гидроприводом позволяют считать ее перспективной [3].

Применение гидравлического привода в конструкции щековой дробилки обеспечит предохранение ее механизма при попадании недробимого тела, запуск «под завалом» (при загруженной рабочей камере машины) и возможность автоматического изменения хода подвижной щеки, а также величины разгрузочной щели. Кроме того, гидравлический привод щековой дробилки обеспечивает повышенную надежность защиты ее конструктивных элементов от перегрузок.

Существует большое количество изобретений по созданию жесткого механического привода, обеспечивающего такое движение подвижной щеки, однако конструкция привода оказывается весьма сложной. При применении гидравлического привода неравномерное движение подвижной щеки может осуществляться сравнительно просто и достаточно надежно. Одним из первых щековую дробилку с гидравлическим приводом предложил канадец К. Гольди.

В дробилках с гидравлическим приводом во время прямого хода скорость подвижной щеки уменьшается, а усилие дробления увеличивается. Кроме того, в этих машинах возможна реализация увеличения числа качаний (а следовательно, и производительности) щеки в единицу времени за счет сокращения времени рабочего хода.

Производительность данной дробилки рассчитывается по методике [4], предполагающей, что разгрузка материала происходит только при отходе подвижной щеки, при этом за один оборот вала из дробилки выпадает некоторый объем материала, заключенный в призме высотой  $h$  (заштрихованный участок на рис. 1):

$$\Pi = \mu \times V \times n, \quad (1)$$

где  $\mu$  — коэффициент разрыхления материала в объеме призмы, по экспериментальным данным  $\mu = 6,0-5,0$ ;  $V$  — объем выгружающегося материала,  $\text{м}^3$ ;  $n$  — частота вращения вала,  $\text{об/мин}$ .

Объем призмы  $V$  определяется по формуле:

$$V = \frac{(c+b) \times S_n \times L}{2 \times \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2)$$

где  $c$  — минимальное расстояние между подвижной и неподвижной дробящими плитами в момент сближения щек,  $\text{м}$  (рис. 1);  $b$  — максимальное расстояние между подвижной и неподвижной дробящими плитами в момент удаления щек,  $\text{м}$ ;  $S_i$  — эксцентриситет вала,  $\text{м}$ ;  $L$  — ширина разгрузочной щели,  $\text{м}$ ;  $\alpha$  — угол захвата.

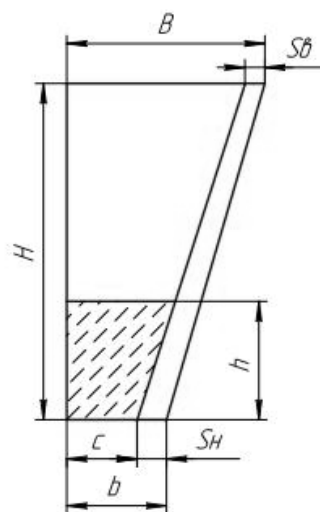


Рисунок 1 Схема для определения производительности щековой дробилки

Подставив (1) в (2), получаем выражение для определения производительности ( $\text{м}^3/\text{с}$ ):

$$\Pi = \frac{\mu \times (c+b) \times S_n \times L \times n}{2 \times \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

При расчетах по формуле (3) в большинстве случаев величина производительности отличается от фактической, так как реальные условия протекания дробления практически всегда существенно отличаются от принятых расчетных.

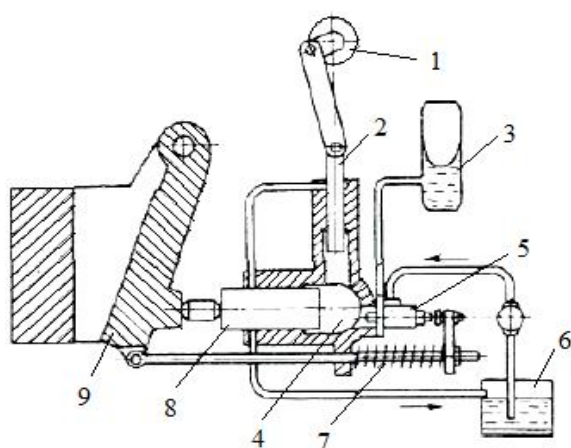
С учетом дополнительных параметров окончательно формула производительности для щековых дробилок имеет вид:

$$\Pi = \frac{\mu \times (B-b) \times S_{cp} \times L \times n \times b}{2 \times \operatorname{tg} \alpha \times D_{ce}}, \quad (4)$$

где  $B$  — максимальная величина загрузочной щели;  $S_{cp}$  — средняя величина хода сжатия,  $\text{м}$ ;  $S_{cp} = \frac{(S_\delta + S_n)}{2}$ ;  $D_{ce}$  — средневзвешенный размер кусков в исходном материале,  $\text{м}$  (для дробилок с шириной приемного отверстия 600  $\text{мм}$  и менее принимается равным  $B$ ; для дробилок с шириной приемного отверстия 900  $\text{мм}$  и более, работающих на рядовой горной массе,  $D_{ce} = (0,3 \div 0,4) \times B$ ).

Как видно из формулы (4), производительность щековой дробилки прямо пропорциональна частоте вращения привода. Однако повышение частоты не приводит к повышению производительности дробилки, так как щека не успевает загрузиться из-за существенной разницы, вызванной относительно большим временем падения материала под действием силы тяжести по сравнению с малым временем прижатия щек между собой.

Для устранения этого недостатка была разработана гидравлическая схема дробилки [2], представленная на рисунке 2.



1 – эксцентрик; 2 – плунжер; 3 – аккумулятор;  
4 – цилиндр; 5 – клапан; 6 – емкость; 7 – пружина;  
8 – поршень; 9 – подвижная щека

Рисунок 2 Принципиальная схема щековой дробилки с гидроприводом

Принцип действия такой машины следующий.

Цикл работы щеки состоит из 4 тактов (такт - поворот эксцентрика на  $180^\circ$ ). Сразу отметим, что нагрузка на электродвигатель при дроблении в щековых дробилках не является постоянной величиной и зависит от усилия дробления. Само усилие дробления достигает максимума при рабочем ходе щеки (1-й такт), а при холостом ходе равно нулю (2, 3, 4-й такты). Усилие дробления при рабочем ходе щеки (1-й такт) также не является постоянной величиной, а колеблется в значительных пре-

делах в зависимости от степени заполнения камеры дробления материалом (степени разрыхления) и неодинаковой твердости отдельных кусков исходного продукта. Аккумулятор в данной схеме предназначен для компенсации утечек и поддержания давления в гидropередаче при прямом ходе щеки.

Таким образом, можно выделить основные моменты работы дробилки по циклам:

1. Специальный клапан 5 открыт на аккумулятор, отсекая бак 6. Плунжер 2 и аккумулятор 3 нагнетают в полость гидроцилиндра 8 жидкость, перемещая щеку 9 (рабочий ход).

2. Специальный клапан 5 полностью закрыт, отсекая аккумулятор 3 от рабочей магистрали. Под действием пружины 7 и плунжера 2 щека совершает обратный холостой ход.

3. Специальный клапан 5 открыт на аккумулятор, отсекая бак 6. Плунжер 2 нагнетает в полость аккумулятора 3 жидкость, заряжая его, щека не перемещается, происходит разгрузка.

4. Специальный клапан 5 открыт на бак 6, отсекая аккумулятор; плунжер соединен с магистралью подпитки.

В дальнейшем циклы работы щековой дробилки периодически повторяются.

Сравнительная диаграмма перемещений подвижных щек дробилки с гидроприводом (пунктирная линия) и дробилки с обычным кривошипным приводом (сплошная линия) показана на рисунке 3 [2].

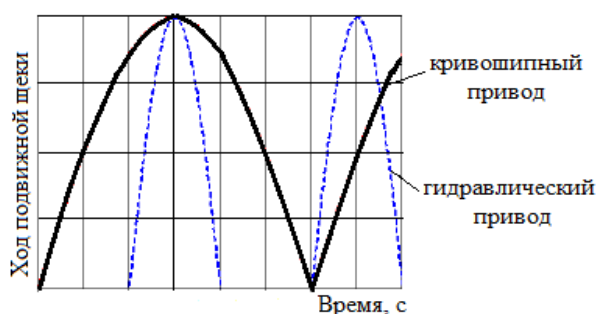


Рисунок 2 Диаграмма перемещений щеки

Например, по такой схеме число качаний подвижной щеки в 1,5 раза больше, а производительность на 50 % выше, чем у аналогичных машин с кривошипным приводом [2]. Кроме того, гидравлический привод обеспечивает повышенную надежность защиты дробилки от перегрузок.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Представленный анализ данных показывает, что щековые дробилки, использующие гидропривод для передачи усилия перемещения щеки, во многом превосходят щековые дробилки с механическим (эксцентриковым) приводом.

В связи с тем, что модернизация щековых дробилок путем замены механического привода на гидравлический осуществляется в

подавляющем большинстве случаев уже на имеющихся конструкциях без существенного их изменения, достигается высокая экономическая эффективность таких работ.

Разработка конкретной гидравлической схемы с обоснованием рациональности ее применения на уже имеющейся механической дробилке является актуальным подходом, позволяющим значительно повысить надежность работы машин такого типа и эффективность диспергирования материала.

Применение гидропривода позволяет организовать механизм разрушения материалов в щековой дробилке с разнообразным необходимым в каждом конкретном случае регулированием этапов движения щеки по циклам.

#### **Библиографический список**

1. Андреев, С. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст]: / С. В. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1980. — 415 с.
2. Нестеров, А. П. Исследование дробления щековыми дробилками с гидроприводом [Текст] / А. П. Нестеров, С. Н. Зиновьев, Л. В. Евсюкова // Механика жидкости и газа: материалы IX Международной научно-технической студенческой конференции. — Донецк : ДонНТУ, 2010. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/simonenko/library/article1.htm>
3. Клушанцев, Б. В. Дробилки: Конструкция, расчет, особенности эксплуатации [Текст] / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. — М. : Машиностроение, 1990. — 320 с.
4. Федотенко, Ю. А. Расчет щековых дробилок [Текст]: методические указания / Ю. А. Федотенко, П. В. Коротких. — Омск : Изд-во СибАДИ, 2012. — 20 с.

© Левченко Э. П.

© Тумин А. Н.

© Онищенко Н. Э.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., к.т.н., доц, зав каф. СМ и ТМ. ЛНАУ Бурицевым Г. Г.*

*Статья поступила в редакцию 27.01.17.*

**к.т.н. Левченко Е. П., Тумин О. М., Онищенко М. Е. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОПРИВОДУ У ЩОКОВИХ ДРОБАРКАХ**

*Розглянуто можливості підвищення продуктивності щоккових дробарок на засаді їх керування за допомогою гідравлічного приводу. Акцентовано увагу на способах створення зусиль, що забезпечують найкраще розкриття зернового складу компонентів сировини.*

**Ключові слова:** *щоккова дробарка, гідропривід, дроблення, розкриття зернового складу, цикли дроблення.*



**PhD in Engineering Levchenko E. P., Tumin A. N., Onischenko N. E. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**  
**PECULIARITIES OF APPLYING HYDRAULIC DRIVER IN JAW CRUSHERS**

*Feasibilities for increasing the productivity of jaw crushers have been examined on the basis of their operating with a hydraulic driver. The methods for creating forces to better disclosure the grain size components of raw materials are stressed.*

**Key words:** *jaw crusher, hydraulic driver, crushing, grain size disclosure, crushing cycles.*

УДК 621.926

Павлиненко О. И.  
к.т.н. Левченко Э. П.,  
к.т.н. Левченко О. А.,  
Бондарь Н. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАСКАЛЫВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

*Рассмотрены возможности повышения производительности шаровых мельниц на основе совершенствования процессов измельчения. Акцентировано внимание на повышении вероятности реализации центрального удара, обеспечивающего наилучшее раскалывание дробы.*

**Ключевые слова:** шаровая мельница, производительность, раскалывание, центральный удар, касательный удар.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При производстве стальной дробы, используемой в качестве абразива [1], при дробеструйной обработке различных материалов, выделяются два вида продуктов: сферическая дробь и колотая дробь. В силу лучшей абразивной способности значительным спросом пользуется колотая стальная дробь, имеющая неправильную форму с множеством острых граней.

Наилучшими свойствами к раскалыванию обладает стальная закаленная дробь большого диаметра в связи с тем, что в ее структуре, из-за большого объема, в процессе изготовления образуются микротрещины, служащие концентраторами напряжений, что способствует ее разрушению в дробильно-измельчительной машине. Поэтому целесообразно в качестве сырья для колотой дробы производить дробь максимального диаметра. Однако, как правило, на получение колотой дробы направляется дробь, произведенная сверх заказа предприятия потребителя, что на практике приводит к необходимости раскалывания дробы самых разных диаметров, образующихся в остатках.

Учитывая данные особенности, для приготовления колотой дробы широко используются шаровые мельницы [2], позволяющие накладывать многократные ударные

нагрузки на материал, пока его величина помола не окажется равной величине желаемой фракции. Это зависит от длительности пребывания сырья в мельнице, регулируемой наклоном ее оси к горизонту и длиной барабана. Немаловажной особенностью при этом является диаметр барабана, т. к. он обеспечивает запас потенциальной энергии шаровой загрузки мельницы. Как правило, в качестве такой загрузки используются шары диаметром около 100 мм, падающие в водопадном режиме работы машины на стальные шарики круглой дробы диаметром не более 5–6 мм.

Это, на первоначальном этапе, резко снижает эффективность раскалывания из-за низкой вероятности центрального удара, когда потенциальная энергия поднятых шаров, а следовательно, и электроэнергия расходуется в основном на перемешивание пульпы и ее рикошетирующее друг о друга и о внутренние стенки барабана.

В дальнейшем же при появлении значительного количества осколков первоначального разрушения происходит переизмельчение дробы в металлическую пыль, не пригодную для использования в дробеструйной обработке.

Среднее значение размеров частиц измельченного материала определяют на основе ситового анализа. При этом исполь-

зуют набор сит, установленных на вибростенде.

Таким образом, повышение эффективности процесса раскалывания стальной дробы является актуальной научно-технической задачей, направленной на экономию электроэнергии и повышение выхода товарного сырья заводов стальной дробы.

**Постановка задачи.** Задачей данной публикации является повышение эффективности работы шаровых мельниц путем совершенствования процессов измельчения на основе повышения вероятности центрального удара.

**Изложение материала и его результаты.** Вращающаяся шаровая мельница состоит из полого барабана, установленного в подшипниках на полых цапфах, обеспечивающих загрузку исходного материала и выход готового продукта.

При вращении барабана мелющие шары под действием центробежных сил и сил трения увлекаются в круговое движение и, поднявшись на некоторую высоту, падают вниз, соударяясь с частицами дробы.

Производительность мельницы зависит от многочисленных факторов: свойств материала, его начальной и конечной крупности (размера); коэффициента заполнения барабана шарами; размера мельницы и т. д.

Основные параметры барабанной шаровой мельницы задаются нижеприведенной методикой [3].

Производительность может быть оценена ориентировочно по следующей эмпирической формуле:

$$Q = k \cdot V \cdot D^{0.6}, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от крупности исходного и конечного материала;  $V$  — объем барабана,  $\text{м}^3$ ;  $D$  — внутренний диаметр барабана, м.

Коэффициент  $k$  определяется по следующей зависимости:

$$k = (2,3 \cdot 10^{-3} \dots 8 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{d_n}{d_k}, \quad (2)$$

где  $d_n$  — размер (диаметр) частиц материала до измельчения (средний), мм;  $d_k$  — средний размер частиц после измельчения, мм.

Обычно шаровую загрузку барабанных мельниц осуществляют на 10, 20, 30, 40 и 50 % (рис. 1). Чаще всего загрузка составляет приблизительно 30 % от объема барабана, т. е. коэффициент заполнения барабана мелющими телами равен  $\phi = 30\% = 0,3$ .

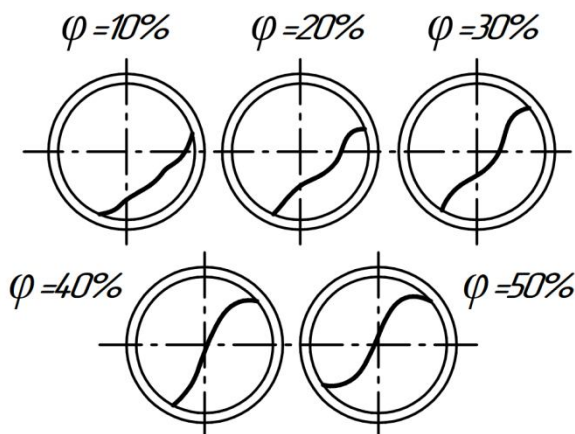


Рисунок 1 Загрузка шаровой мельницы мелющими телами

Коэффициент заполнения можно рассчитать по формуле:

$$\phi = \frac{M_{ш}}{\rho_n \cdot V}, \quad (3)$$

где  $M_{ш}$  — масса шаров, кг;  $V$  — объем барабана,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_n$  — насыпная плотность шаров,  $\text{кг/м}^3$ .

Размер шаров, загружаемых в барабан, зависит от размеров частиц исходного и измельченного материала. Все эти величины взаимосвязаны следующим эмпирическим соотношением (формула В.А. Олевского) [3]:

$$d_{ш} = 4,8 \cdot \lg d_k \cdot \sqrt{d_n}, \text{ мм} \quad (4)$$

где  $d_{ш}$  — диаметр шара, мм;  $d_n$  — размер частиц материала до измельчения, мм;  $d_k$  — размер частиц после измельчения, мм.

Частота вращения барабана определяется на основе следующих рассуждений. На

шар в мельнице, поднимающийся по стенке вследствие трения, как указано выше, действуют центробежная сила  $P_{ц}$  и вес шара  $G$  (рис. 2).

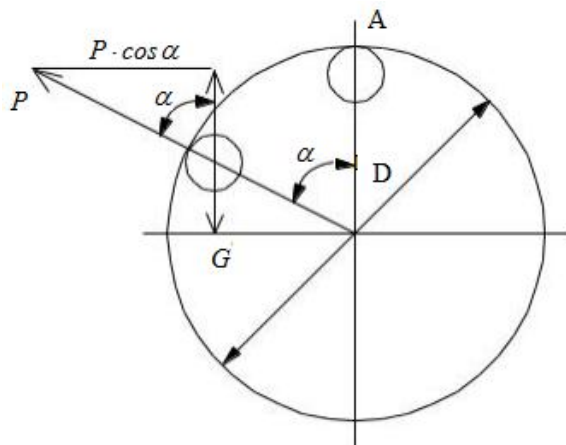


Рисунок 2 Схема движения единичного мелющего тела в барабане шаровой мельницы

Центробежная сила равна:

$$P_{ц} = m \frac{n^2}{30} \cdot R, \quad (5)$$

где  $m$  — масса шара, кг;  $n$  — частота вращения барабана, об/мин,  $R$  — радиус барабана, м.

Вес шара (сила тяжести) равен:

$$G = mg. \quad (6)$$

В момент наибольшего подъема шар (точка А) отрывается от стенки и свободно падает под углом к горизонту, как тело, брошенное со скоростью, равной скорости движения стенки барабана.

Угол подъема шара:

$$P \cdot \cos \alpha = m \cdot g. \quad (7)$$

Откуда

$$\cos \alpha = \frac{m \cdot g}{P} = \frac{m \cdot g}{m \frac{n^2}{30} \cdot R} = \frac{900}{n^2 \cdot R}. \quad (8)$$

Частота падения шаров, а следовательно, и производительность барабанной мельницы зависят от частоты вращения барабана.

Но очевидно, что увеличение числа оборотов барабана возможно лишь до определенного значения, называемого "критической скоростью", при которой шар начинает вращаться вместе со стенкой барабана (рис. 3, г). При таком движении сила тяжести шара становится равной центробежной силе [3].

В этом случае угол  $\alpha=0^\circ$  или  $\cos 0^\circ=1$ , тогда:

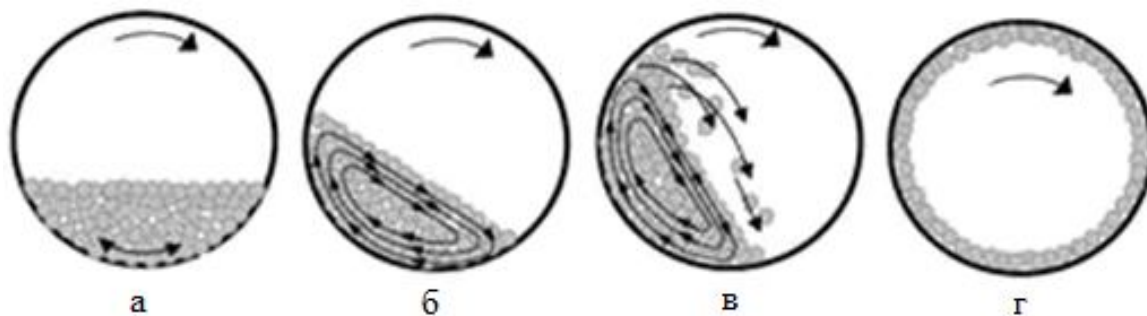
$$1 = \frac{900}{m_{кр}^2 \cdot R} = \frac{1800}{n_{кр}^2 \cdot D} \quad (9)$$

или

$$n_{кр} = \sqrt{\frac{1800}{D}} = \frac{42,4}{\sqrt{D}}. \quad (10)$$

Рабочая скорость вращения барабана обычно ниже "критической" приблизительно на 25%:

$$n_p = 0,75 \cdot n_{кр}, \text{ об/мин.} \quad (11)$$



а – режим скольжения, б – режим перекачивания, в – режим свободного скольжения, г – режим критической скорости

Рисунок 3 Схемы движения шаров в мельнице

В каждом конкретном случае точную необходимую для нормальной работы мельницы частоту вращения барабана следует подбирать экспериментально.

Кроме того, в зависимости от направления движения шара до удара, различают прямой и косой удары; в зависимости от направления ударного импульса – центральный и касательный удары [4].

При прямом ударе направление полета шара до удара перпендикулярно к плоскости ударяющего тела или преграды. В этом случае шар после отскока летит в обратном направлении.

При косом ударе угол сближения (рис. 4) отличен от нуля. При идеальном ударе углы сближения и отскока равны. При реальных ударах угол отскока больше угла сближения, а скорость после отскока от неподвижной преграды меньше, чем до удара.

Центральный удар характеризуется тем, что ударный импульс проходит через центр массы шара. В этом случае шар летит не вращаясь.

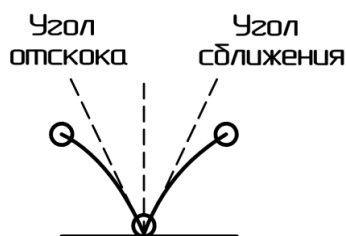


Рисунок 4 Виды удара шара о поверхность

При касательном воздействии ударный импульс не проходит через центр масс мелющего тела, поэтому шар летит с вращением, которое в значительной мере изменяет траекторию его полета и направление отскока [4]. Это сильно негативно сказывается на работе шаровой мельницы, снижая ее эффективность.

Например, поступательная скорость крученого шара после отскока нередко выше, чем до соприкосновения с поверхностью, а некоторая часть кинетической энергии вращения переходит в энергию поступательного движения.

Таким образом, для того чтобы избежать вращения шара при касательном ударе, целесообразно предложить использование мелющих тел не круглой, а, например, многогранной правильной или неправильной формы. Одним из таких тел правильной формы является додекаэдр (рис. 5). Использование их в шаровой мельнице позволит увеличить количество центральных ударов и тем самым повысить эффективность измельчения стальной дробы.

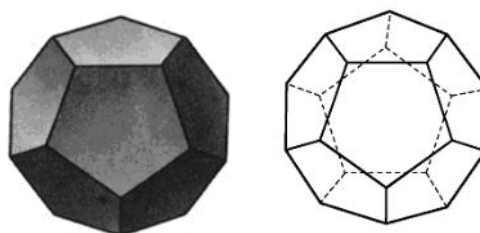


Рисунок 5 Правильный многогранник додекаэдр

Однако в таком случае остро встает вопрос о возможности изготовления таких тел и разработке необходимой для этого технологии.

Шарообразные мелющие тела обычно изготавливают методом прокатки и гораздо реже литьем. Для изготовления многогранных мелющих тел необходимо в дальнейшем разработать технологию штамповки или литья, при этом штамповка является предпочтительней, т. к. позволяет предварительно уплотнить структуру металла в мелющем теле, что является залогом придания ему крайне необходимой, при взаимодействии с закаленной стальной дробью, высокой твердости.

Очевидно, что в процессе работы некруглые мелющие тела будут изнашиваться и в конечном итоге приобретут форму, близкую к шару. В таком случае они должны быть подвергнуты отбраковке и заменены на новые. Такой же подход применяется и к отбраковке мелющих тел круглой формы. Обычно они подлежат замене на новые при потере около 20 % своего веса. Поэтому дополнительно должна

быть решена задача рационального соотношения массы некруглого тела, его конфигурации и соотношений исходных размеров с конечными размерами.

Кроме того, для повышения вероятности реализации центрального удара можно вместо шаровой мелющей загрузки использовать стержни длиной, примерно равной длине барабана, или короткие цилиндры (цильпесы). В таком случае в продольном направлении создание рикошета исключается. Однако в радиальном направлении условия взаимодействия дробы и мелющих тел не изменяются.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Исходя из вышеприведенного, для повышения эффективности работы шаровых мельниц необходимо совершенствование

как технологии измельчения, так и способов воздействия на материал.

Во-первых, производительность измельчения напрямую зависит от числа оборотов барабана. Увеличивать число оборотов можно лишь до определенного значения — "критической скорости", при которой мелющее тело начинает вращаться вместе со стенкой барабана. Во-вторых, для того чтобы снизить вероятность касательного удара, целесообразно предложить использование мелющих тел некруглой многогранной формы либо вместо шаровой мелющей загрузки использовать стержни или короткие цилиндры (цильпесы). Всё это позволит повысить эффективность раскалывания дробы и уменьшить удельные энергозатраты применяемого оборудования на тонну производительности мельницы.

#### **Библиографический список**

1. Перов, В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст]: учеб. пособие для вузов / В. А. Перов, Е. Е. Андреев, В. Ф. Биленко. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 2007. — 301 с.
2. Борщев, В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы [Текст]: учебное пособие / В. Я. Борщев. — Тамбов: Издательство Тамбовского технического университета, 2004. — 75 с.
3. Машины и аппараты химических производств [Текст]: лабораторные работы / В. Я. Борщев и др. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. — Ч. 1. — 32 с.
4. Ламаш, Б. Е. Лекции по биомеханике [Текст] / Б. Е. Ламаш. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/2651933/page:4/>.

© Павлиненко О. И.

© Левченко Э. П.

© Левченко О. А.

© Бондарь Н. А.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
зам. дир. по науке и технологии производства ООО «Алчевский завод стальной дробы»  
к.т.н. Первозчиковым А. И.**

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

**Павлиненко О. И., к.т.н. Левченко Е. П., к.т.н. Левченко О. О., Бондарь Н. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗКОЛЮВАННЯ СТАЛЬНОГО ДРОБУ У КУЛЬКОВОМУ МЛІНІ**

*Розглянуто можливості підвищення продуктивності кулькових млинів на основі вдосконалення процесів подрібнення. Акцентована увага на підвищенні ймовірності реалізації центрального удару, який забезпечує найкраще розколювання дробу.*

**Ключові слова:** кульовий млин, продуктивність, розколювання, центральний удар, дотичний удар.

**Pavlinenko O. I., PhD Levchenko E. P., Levchenko O. A., Bondar N. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF CRUSHING PROCESS IN A BALL MILL**

*The feasibilities for increasing a ball mills' capacity have been examined through improving crushing process. Enhancing the possibility of central stroke for better shot cleaving has been underlined.*

**Key words:** ball mill, capacity, cleavage, central stroke, tangent stroke.



УДК 621.926.8

к.т.н. Левченко Э. П.,  
Тумин А. Н.,  
Алферов Н. Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСКОВЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ

*Рассмотрены возможности снижения тонины помола в дисковых измельчителях путем применения комбинированных усилий трения и сжатия с помощью гидравлического привода. Акцентировано внимание на возможности качания диска, обеспечивающего периодическое раздавливание материала.*

**Ключевые слова:** дисковая мельница, гидропривод, измельчение, тонина помола, трение, раздавливание.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Дисковые дробильно-измельчительные машины в основном применяются для получения готового продукта тонких фракций за счет истирания исходного материала между двумя рабочими органами, один из которых или оба обладают возможностью вращения вокруг вертикальной или горизонтальной оси. При этом сырье, как правило, подается в центральное отверстие диска и затем подвергается интенсивному истиранию, проходя по спиральной траектории к периферии [1].

Такой тип машин ранее широко применялся в пищевой промышленности при производстве муки из различных зерновых культур, однако в нынешних условиях, благодаря инновационным техническим решениям, распространение данного типа устройств все более расширяется и на другие области производства.

В частности, на ПАО «Алчевский металлургический комбинат» при повторной переработке отходов шамотного кирпича как ценного огнеупорного сырья для дальнейшего использования применяется машина дискового типа ДИМ-6, неплохо зарекомендовавшая себя в этом качестве [2]. Некоторое положительное свойство, заложенное в эту конструкцию – возможность создания срезающих усилий наряду с истиранием, что в значительной степени

способствует диспергированию материала с образованием частиц нужной формы.

Однако известно техническое устройство, обеспечивающее периодическое качание одного из дисков в плоскости, параллельной оси вращения [3].

При этом механическим путем обеспечивается действие на материал одновременно истирающих и раздавливающих усилий (рис. 1), а качательные движения интенсифицируют процессы раздавливания и истирания материала в рабочей камере.

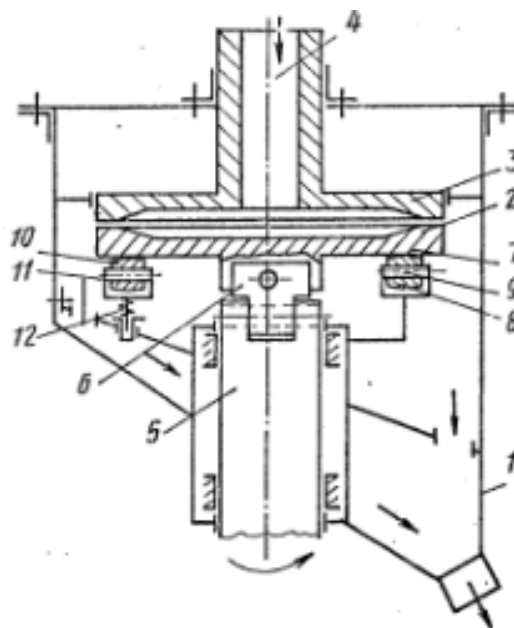


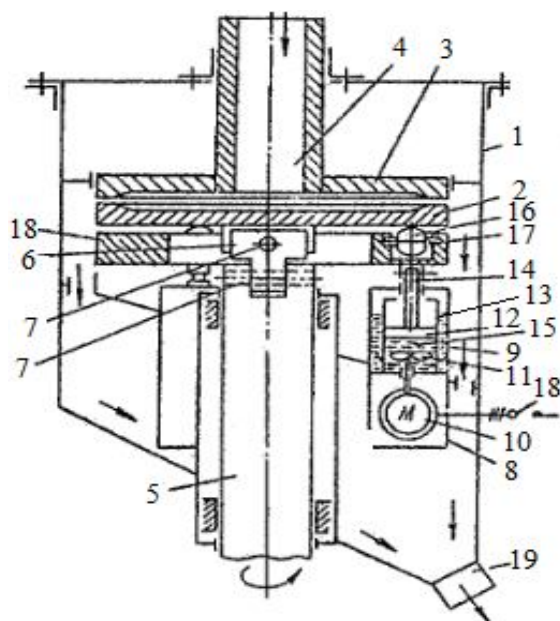
Рисунок 1 Дисковая мельница с качающимся диском

Механизированный привод качания обладает существенным недостатком, заключающимся в сложности надежной реализации такого движения и значительном усложнении конструкции мельницы, что резко снижает ее надежность работы и ремонтпригодность.

Таким образом, возникает вопрос о поиске пути создания надежного привода качания диска, обладающего простотой практической реализации.

**Постановка задачи.** Задачей публикации является повышение эффективности работы дисковых дробильно-измельчительных машин за счет снабжения их гидроприводом для реализации сжатия дисков.

**Изложение материала и его результаты.** Конструктивная схема дисковой мельницы с гидроприводом качания диска показана на рисунке 2 [4].



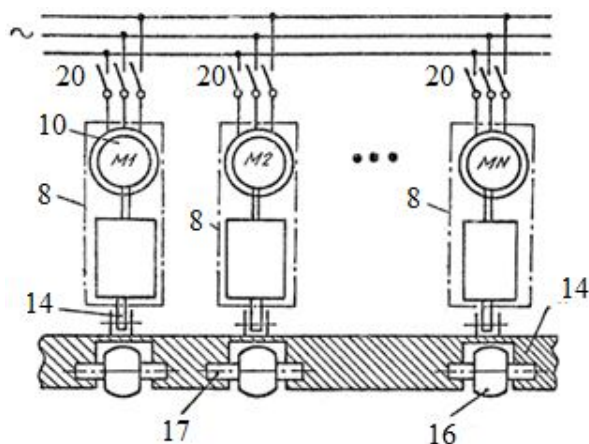
- 1 – корпус; 2 – нижний диск; 3 – верхний диск;  
4 – загрузочный патрубок; 5 – вал; 6 – универсальный шарнир; 7 – ось; 8 – электрогидротолкатель;  
9 – камера; 10 – электродвигатель; 11 – центробежный насос; 12 – гидроцилиндр; 13 – поршень;  
14 – шток; 15 – внутренняя полость гидротолкателя; 16 – ролик; 17 – ось ролика; 18 – корпус;  
19 – загрузочное отверстие

Рисунок 2 Дисковая машина с гидроприводом качания диска

Мельница работает следующим образом. Нижний диск 2 получает вращение от приводного вала 5 через универсальный шарнир 6. Материал, подлежащий измельчению, непрерывно подается через загрузочный патрубок 4 и проходит между верхним 3 и нижним 2 дисками, попадая на вращающийся нижний диск 2, где происходит его измельчение. Далее материал под действием центробежных сил отбрасывается в направлении разгрузочной кольцевой щели. Для достижения более эффективного процесса диспергирования материала осуществляется управление электрогидравлическими толкателями 8 через блок управления, что позволяет контролировать качество измельчения. При включении контроллерного механизма получает питание электрогидротолкатель 8 и начинает вращаться вал электродвигателя 10 вместе с колесом центробежного насоса 11. При этом давление, развивающееся в наполненной маслом камере 15 насоса, перемещает поршень 13. Камеры 9 жестко соединены с корпусом 18. Ролики 16 размещены равномерно вокруг вертикальной оси, а их оси 17 – штоком 14 вверх до тех пор, пока не откроются каналы (не показаны) в гидроцилиндре 12 и масло будет перетекать по камере 9 в нижнюю часть гидроцилиндра. Штоки 14 перемещают вверх ролики 16, которые прижимаются к нижнему диску 2 и обкатываются по его торцевой поверхности. Для получения процесса периодического сжатия материала осуществляют поочередное включение каждого электрогидротолкателя 8 или их групп. Причем возбуждение процесса периодического сжатия измельчаемого материала можно получать как в направлении вращения нижнего диска 2, включая с помощью контроллерного механизма 20 двигателя электрогидротолкатели по порядку (1-й, 2-й и далее), так и в противоположном направлении, включая с помощью двигателей электрогидротолкатели в обратной последовательности. Диск 2 совершает качательные движения под воз-

действием штоков 14 через кольцо 18 и ролики 1. По мере реализации управляемого процесса измельчения материала путем его сжатия и сдвига происходит его эффективное измельчение. Достигнув необходимой крупности, материал под действием центробежных сил выводится через разгрузочную кольцевую щель, просыпается вниз и удаляется из мельницы через разгрузочное отверстие 19 в нижней части корпуса 1.

Схема управления таким устройством показана на рисунке 3.

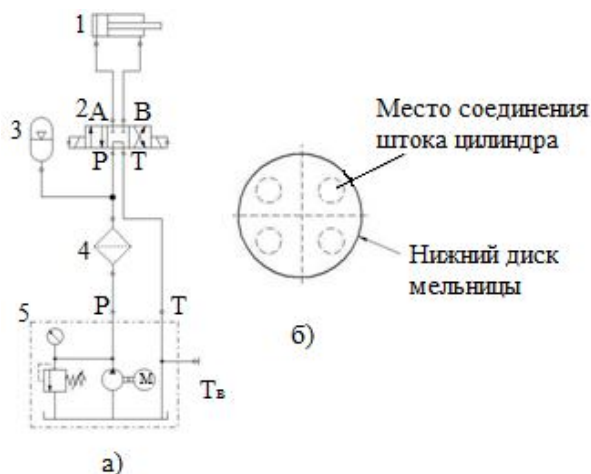


8 – электрогидравлический толкатель; 10 – электродвигатель; 14 – шток; 16 – ролики; 17 – оси роликов; 20 – контакторы

Рисунок 3 Схема подключения электрогидравлических толкателей

Недостатком реализации данной схемы является большое количество дополнительных электродвигателей, приводящих к удорожанию и усложнению конструкции машины в целом, а также существенная инерционность системы управления, вызванная суммарными задержками периодов срабатывания системы электродвигатель-насос-толкатель.

Более целесообразной представляется, на наш взгляд, организация управления качением диска с помощью гидравлического привода. Необходимая для этого типовая гидравлическая схема толкателя приведена на рисунке 4.



а) 1 – цилиндр (плунжер); 2 – электрогидравлический распределитель; 3 – аккумулятор; 4 – фильтр; 5 – насосный блок;  
б) нижний диск мельницы и места соединения цилиндра (плунжера) с диском

Рисунок 4 Типовая гидравлическая схема толкателя

В зависимости от режимов работы, свойств и видов измельчаемых материалов подбирается оптимальное соотношение гидротолкателей и мощности гидропривода и всей установки в целом. При этом стоит отметить, что количество гидротолкателей в дисковой мельнице может быть установлено в любом необходимом для обеспечения эффективной работы машины по качеству готового продукта (фракционного состава) и производительности объема.

Основными достоинствами предложенной схемы являются: дешевизна конструкции, высокая надежность, простота исполнения системы без существенных изменений в конструкции дискового измельчителя, отсутствие дорогой аппаратуры (такой как электрогидравлические толкатели), высокое быстродействие системы, вследствие низкой инерционности, простота исполнения системы управления гидроприводами.

Для управления группой гидротолкателей необходимо наличие микропроцессор-

ной системы, запрограммированной по нужному алгоритму действия:

$$1 \rightarrow \bar{1} \rightarrow T_1 \rightarrow 2 \rightarrow \bar{2} \rightarrow T_1 \rightarrow \\ \rightarrow 3 \rightarrow \bar{3} \rightarrow T_1 \rightarrow 4 \rightarrow \bar{4} \rightarrow T_1,$$

где  $i_1-i_2$  — прямой и обратный ход штока  $i$ -го гидроцилиндра;  $T_1$  — время задержки срабатывания между гидроцилиндрами.

Составим для данного алгоритма действенный граф работы системы управления гидротолкателями дисковой мельницы.

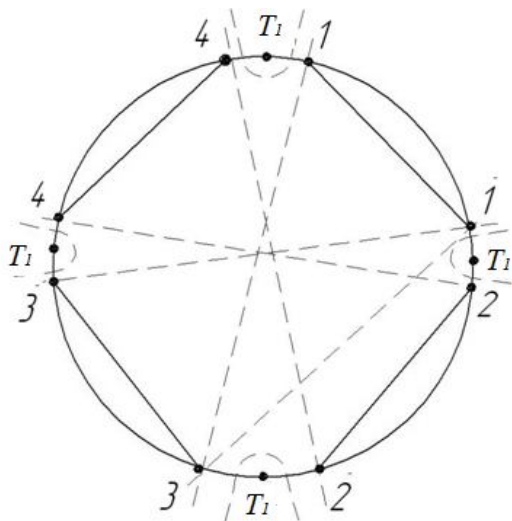


Рисунок 5 Граф работы системы управления гидротолкателями дисковой мельницы

Так как гидротолкатели работают циклически, граф их управления представляет собой окружность.

Из графа (рис. 5) видно, что существуют сложности в управлении системой из-за наличия «неопределенностей» (пунктирные линии) 1 и 2 рода, заключающиеся в нахождении нужного момента срабатывания того или иного гидротолкателя.

### Выводы и направление дальнейших исследований.

Повышения эффективности работы дисковой мельницы возможно достичь с помощью создания условий импульсного воздействия на материал за счет организации качания диска.

Наиболее перспективным способом организации создания импульсных нагрузок является использование гидротолкателей, управляемых программируемым микропроцессором. Для этого необходимо в дальнейшем решить следующие задачи исследований:

- расчет гидравлической системы толкателей, времени срабатывания каждого цилиндра (плунжера), периодичности включения цилиндров (плунжеров), количества цилиндров (плунжеров);

- реализация системы управления распределителями на базе современных микропроцессорных средств.

### Библиографический список

1. №ГР 0189003642. Разработка теоретических основ надёжности, автоматизации машин принудительно-динамического самоизмельчения материалов и поиск областей использования продукции измельчения. [Текст]: отчёт о НИР / Рук. Щербак В. В.; исп. Левченко Э. П. и др. // Научн.-исслед. и прек.-констр. ин-т проблем дробления и измельчения материалов при Коммунарском горно-металлургическом институте. — Алчевск, 1990. — 220 с.
2. Левченко, О. А. Комбинированные дробильно-измельчительные машины и возможности их применения для измельчения отходов шамотного кирпича [Текст] / О. А. Левченко, Э. П. Левченко, А. М. Зинченко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — Вып. 33. — С. 227–233.
3. А. с. № 1634315 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 02 С 7/08, 7/10. Устройство для измельчения / Ульяницкий В. Н., Алтухов В. Н., Левченко Э. П.; заявитель и патентообладатель Коммун. горн.-мет. ин-т. — № 4626173; заявл. 27.12.88; опубл. 15.03.91, Бюл. № 10. — 3 с. ил.
4. А. с. № 1747151 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 02 С 7/08. Мельница / Свеженец А. И., Алтухов В. Н.; заявитель и патентообладатель Коммун. горн.-мет. ин-т. — № 4828110; заявл. 29.05.90; опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. — 4 с. ил.

© Левченко Э. П.

© Тумин А. Н.

© Алферов Н. Г.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.,  
к.т.н., доц., зав. каф. СМ и ТМЛНАУ Буцевым Г. Г.*

*Статья поступила в редакцию 27.01.17.*

**к.т.н. Левченко Е. П., Тумин О. М., Алфьоров М. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ**

*Розглянуто можливості зниження тонини помелу у дискових подрібнювачах шляхом застосування комбінованих зусиль тертя та стиснення за допомогою гідравлічного приводу. Акцентовано увагу на можливості качання диску, що забезпечує періодичне роздавлювання матеріалу.*

**Ключові слова:** дисковий млин, гідропривід, подрібнення, тонина помелу, тертя, роздавлювання.

**PhD in Engineering Levchenko E. P., Tumin A. N., Alferov N. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **INCREASING THE EFFICIENCY OF DISK MILLS**

*Feasibilities for reducing milling fineness in disk mills have been examined applying compound friction forces and hydraulic drive. Paper emphasizes the possibility of disk swinging for ensuring an intermittent material crushing.*

**Key words:** disk mill, hydraulic drive, milling, milling fineness, friction, crushing.



УДК 669. 18: 621.746

Ткачев М. Ю.,  
к.т.н. Ошовская Е. В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДА ПЕРЕТАЛКИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ БЫСТРОЙ СМЕНЫ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

*Разработана методика расчета диаметра плунжера гидроцилиндра переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слябовой машины непрерывного литья заготовок, позволяющая учитывать его динамическую жесткость, благодаря чему повышается доля полезно используемой энергии на совершение работы по преодолению сил сопротивления перемещению комплекта огнеупорных изделий.*

**Ключевые слова:** динамическая жесткость, плунжер, гидропривод, погружной стакан, МНЛЗ, система быстрой смены.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Характерной особенностью работы переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слябовой МНЛЗ является наличие дополнительной динамической нагрузки, действующей на металлические обоймы сменного комплекта огнеупорных изделий. Эта особенность обусловлена кратковременностью (0,3–0,5 с) операции переталкивания огнеупоров.

Согласно классическим положениям теоретической механики и сопромата, процесс, при котором за малый промежуток времени (десятые и меньше доли секунды) скорости части или всех точек системы резко изменяются по сравнению с их значениями непосредственно перед началом взаимодействия двух физических тел, считают ударным.

Особенности динамических явлений, наблюдаемых во время работы переталкивающего устройства системы быстрой смены, вызваны не только возникновением больших ударных ускорений, но и тем обстоятельством, что перемещаемый по направляющим погружной стакан находится в защемленном состоянии, поскольку прижат к базовой огнеупорной плите или сталевапускному стакану блоками упругих элементов (витых или тарельчатых пружин, тор-

сионов), развивающими усилие, достаточное для обеспечения надежного контакта между рабочими поверхностями керамических элементов. В таких условиях становится невозможным использование для расчетов динамических нагрузок как теоретических зависимостей, рассмотренных в классической механике для случаев абсолютно упругого, не вполне упругого и абсолютно неупругого ударов свободно движущихся тел с различной массой, так и результатов ранее проведенных экспериментальных исследований процессов ударного взаимодействия несвободных тел при забивке свай и работе буровых машин.

Все научные положения, излагаемые в трудах современных исследователей ударных процессов [1–4], основываются на теориях Сен-Венана, Сирса, Герца, Бидермана и Малюковой. В работах, посвященных исследованию ударных явлений, наблюдаемых в различных механических системах, особое внимание уделено волновым процессам, закономерностям перехода кинетической энергии в потенциальную при взаимодействии соударяющихся тел, а также факторам, обуславливающим эффективность передачи энергии от ударяющего элемента ударяемому. Среди таких факторов особое внимание уделяется динамической жесткости элемента, передающего ударную нагрузку. При этом



подчеркивается обязательная необходимость ее учета при определении конструктивных параметров указанных элементов.

**Постановка задачи.** Задачей настоящей работы является получение зависимости для определения диаметра плунжера гидроцилиндра переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов, которая позволяет учитывать энергосиловые параметры реализуемого процесса.

**Изложение материала и его результаты.** Как известно [5, 6], в существующих устройствах, осуществляющих переталкивание погружных стаканов во время их быстрой смены, гидравлический привод снабжен поршневым цилиндром двухстороннего действия (рис. 1, а). В этом случае цилиндр работает на выталкивание, а элементом, передающим ударную нагрузку перемещаемому комплекту огнеупорных погружных стаканов, является шток.

При определении геометрических параметров такого цилиндра, в соответствии с существующей методикой расчета, задаются давлением рабочей жидкости, обеспечиваемым маслостанцией и выбираемым из стандартного ряда, и по известной формуле с учетом рассчитанного значения силы технологического сопротивления получают требуемый диаметр поршня  $D_n$  и соответствующий ему диаметр штока  $d_{ш}$ , которые связаны зависимостью:

$$d_{ш} = (0,6 - 0,7) \cdot D_n. \quad (1)$$

Согласно результатам экспериментальных исследований, опубликованных в работе [2], для эффективного функционирования гидропривода необходимо обеспечить требуемую динамическую жесткость элемента, передающего ударную нагрузку. При недостаточной динамической жесткости увеличивается колебание значений ударной силы в начальной стадии процесса взаимодействия передающего элемента с резервным погружным стаканом и снижается доля полезно используемой энергии на совершение работы по преодолению сил сопротивления перемещению комплекта огнеупорных изделий.

На практике из-за малой площади поперечного сечения штока поршневого гидроцилиндра (рис. 1, а) нельзя обеспечить необходимое значение его динамической жесткости, что вытекает из формулы для ее расчета:

$$A = \rho \cdot c \cdot S, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность материала, из которого изготовлен элемент;  $c$  — стержневая скорость распространения волны напряжения в теле передающего элемента;  $S$  — площадь поперечного сечения элемента.

Стержневая скорость распространения волны напряжения в теле элемента:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (3)$$

где  $E$  — модуль упругости материала элемента.

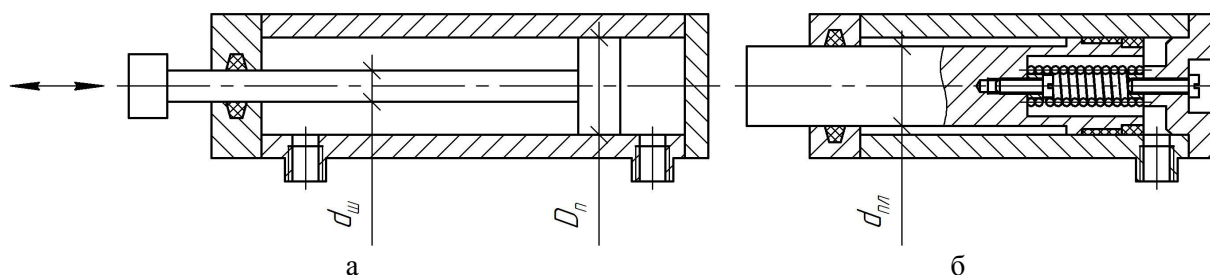


Рисунок 1 Конструктивные схемы приводных гидроцилиндров, используемых в существующих системах быстрой смены (а) и усовершенствованной [7] (б)

Поэтому для обеспечения эффективной работы привода переталкивающего устройства предлагается использовать в нем плунжерный гидроцилиндр с заданной динамической жесткостью плунжера:

$$A = \frac{F_{\Pi}}{v}, \quad (4)$$

где  $F_{\Pi}$  — расчетная технологическая нагрузка на привод;  $v$  — требуемая скорость перемещения комплекта огнеупоров при их смене.

Значение скорости движения стаканов:

$$v = \frac{l}{\tau}, \quad (5)$$

где  $l$  — ход резервного стакана;  $\tau$  — время смены стаканов, составляющее (0,3–0,5) с.

Поэтому площадь плунжера, ударно воздействующего на комплект стаканов, предлагается определять из соотношения:

$$S = \frac{A}{\rho \cdot c}, \quad (6)$$

или после преобразования:

$$S = \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{E \cdot \rho} \cdot v}. \quad (7)$$

Учитывая, что диаметр связан с площадью зависимостью:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \quad (8)$$

получаем результирующую зависимость для нахождения рациональной геометрической характеристики рабочего органа гидроцилиндра:

$$d_{nl} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{\Pi}}{\sqrt{E \cdot \rho} \cdot \pi \cdot v}}. \quad (9)$$

После вычисления его значения находим требуемое для данных условий значение давления маслостанции:

$$P = \frac{4 \cdot F_{\Pi}}{\pi \cdot d_{nl}^2}. \quad (10)$$

Выполнение расчета диаметра плунжера, исходя из предварительно определенной его динамической жесткости, позволяет получить рациональное соотношение конструктивных параметров приводного гидроцилиндра переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов без проведения предварительного подбора рабочего давления, развиваемого маслостанцией. В соответствии с общепринятой методикой расчета силовых параметров приводного гидроцилиндра задаются значениями давлений, выбранными из стандартного ряда маслостанции. Затем, исходя из расчетного значения технологической нагрузки, для каждого из значений давления рассчитывают геометрические параметры силового гидроцилиндра. После чего на основе результатов сопоставительного анализа полученных характеристик гидропривода (масса, геометрические размеры и производительность маслостанции при заданном времени срабатывания) принимают окончательное решение о назначении конструктивных и силовых параметров спроектированного привода. Для подтверждения сказанного провели расчет параметров плунжерного гидроцилиндра по предлагаемой методике для заданных значений технологической нагрузки  $F_{\Pi} = 40$  кН, перемещения стаканов при смене  $l = 0,2$  м и длительности замены 0,5 с. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры плунжерного гидроцилиндра, полученные расчетом по предлагаемой методике

$F_{\Pi}$ , кН	$v$ , м/с	$A$ , кг/с	$d_{nl}$ , мм	$P$ , МПа	Масса цилиндра, кг
40	0,4	100 000	55	15	10,8

Таблица 2

Возможные варианты расчета параметров гидроцилиндра по существующей методике

$F_{II}$ , кН	$P$ , МПа	Поршневой гидроцилиндр				Плунжерный гидроцилиндр		
		$D_n$ , мм	$d_{ш}$ , мм	$A$ , кг/с	масса, кг	$d_{пл}$ , мм	$A$ , кг/с	масса, кг
40	7	85	55	96 128	16,5	85	229 598	20,5
	10	70	45	64 350	13,8	70	155 714	17,9
	12,5	65	40	50 845	10,1	65	134 262	13,4
	15	60	35	38 927	8,8	60	114 402	12,1

Сопоставление полученной информации с данными расчета параметров гидроцилиндров по существующей методике, предполагающей предварительное принятие из стандартного ряда рабочего давления маслостанции и определение соответствующего ему диаметра поршня или плунжера гидроцилиндра для заданного значения технологической нагрузки, преодолеваемого приводом переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов (данные таблицы 2), позволяет сделать вывод о том, что при использовании в качестве исходного значения требуемой динамической жесткости плунжера позволяет найти рациональное сочетание параметров приводного плунжерного гидроцилиндра без необходимости рассмотрения их возможных вариантов (в данном случае 8).

Плунжерный гидроцилиндр переталкивающего устройства системы быстрой смены, рассчитанный по предложенным зависимостям, имеет меньшую, примерно на 24 % (19,5 % при  $P = 7$  МПа; 22,9 % при  $P = 10$  МПа; 24,6 % при  $P = 12,5$  МПа; 27,2 % при  $P = 15$  МПа), массу при требуемой динамической жесткости передающего элемента (таблица 2).

Разработанная методика использовалась при проектировании опытно-промышленных образцов системы для условий разлива со стопором (рис. 2, а) и с шиберным затвором (рис. 2, б). Проведенные на них экспериментальные исследования подтвердили адекватность предложенных теоретических зависимостей.

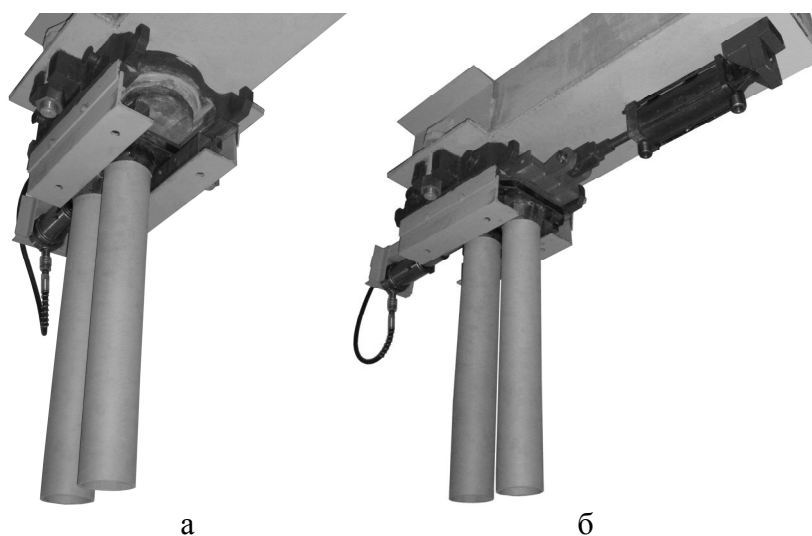


Рисунок 2 Опытно-промышленные образцы разработанной системы быстрой смены

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

Применение полученного выражения для определения диаметра плунжера гидроцилиндра переталкивающего устройства системы быстрой смены, учитывающего его динамическую жесткость, позволяет исключить:

- увеличение колебания значений ударной силы в начальной стадии процесса взаимодействия передающего элемента с новым погружным стаканом, благодаря

чему повышается доля полезно используемой энергии на совершение работы;

- рассмотрение многовариантных комбинаций величин, используемое в расчетах, с целью минимизации массы силового гидроцилиндра.

Результаты исследования могут послужить основой для развития теорий расчета и уточнения геометрических параметров деталей машин, воспринимающих в ходе эксплуатации динамические нагрузки.

**Библиографический список**

1. Манжосов, В. К. Модели продольного удара [Текст] / В. К. Манжосов. — Ульяновск : УлГТУ, 2006. — 160 с.
2. Еронько, С. П. Исследование характера передачи ударной нагрузки между подвижно сопряженными элементами механической системы [Текст] / С. П. Еронько, Е. В. Ошовская, Д. А. Яковлев и др. // Металл и литье Украины. — 2008. — №. 6. — С. 18–22.
3. Манжосов, В. К. Моделирование продольного удара в стержневых системах неоднородной структуры [Текст] / В. К. Манжосов, В. В. Слепухин. — Ульяновск : УлГТУ, 2011. — 208 с.
4. Кычкин, В. И. Прикладная теория колебаний [Текст] / В. И. Кычкин. — Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. — 203 с.
5. Flow Control Technology from Converter to Mould. Interstop company brochure. — Cincinnati (USA): Ohio, 2007. — 14 p.
6. Pat. 2013000566 World Intellectual Property Organization International Bureau, IPC B22D41/22, B22D41/24, B22D41/28. Chop gate and nozzle / Renard J.-L.; applicant «Vesuvius Group SA» (Belgium). — № 2012/002695; filed 27.06.2012; published 03.01.2013. — 25 p.
7. Пат. 104227 Україна, МПК B22D 41/56. Пристрій для заміни занурювального стакану проміжного ковша машини безперервного лиття заготовок / С. П. Єронько, М. Ю. Ткачов; заявник і патентовласник Донец. нац. техн. ун-т. — № 201208740; заявл. 16.07.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. — 7 с.
8. Eron'ko, S. P. Fast Replacement of Submersible Tundish Nozzles in a Continuous Slab-Casting Machine / S. P. Eron'ko, E. V. Oshovskaya, M. Yu. Tkachev // Steel in Translation. — 2016. — Vol. 46. — P. 33–38.

© Ткачев М. Ю.

© Ошовская Е. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Седушем В. Я.*

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

Ткачов М. Ю., к.т.н. Ошовська О. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

# **АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПРИВОДУ ПЕРЕШТОВХУЮЧОГО ПРИСТРОЮ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ ЗАМІНИ ЗАНУРЮВАЛЬНИХ СТАКАНІВ СЛЯБОВИХ МБЛЗ**

Розроблено методику розрахунку діаметра плунжера гідроциліндра перештовхуючого пристрою системи швидкої заміни занурювальних стаканів проміжного ковша слябової машини безперервного лиття заготовок, що дозволяє враховувати його динамічну жорсткість, завдяки

чому підвищується частка корисно використовуваної енергії на здійснення роботи з подолання сил опору переміщенню комплексу вогнетривких виробів.

**Ключові слова:** динамічна жорсткість, плунжер, гідропривід, занурювальний стакан, МБЛЗ, система швидкої заміни.

**Tkachyov M. Yu., PhD Oshovskaia A. V. (DonNTU, Donetsk, DNR)**

**DESIGN FACTORS ANALYTICAL STUDIES FOR HYDRAULIC DRIVE IN TRANSPOSITIONING DEVICE OF SUBMERGED NOZZLE QUICK CHANGE SYSTEM IN CONTINUOUS SLAB-CASTING MACHINE**

*There has been developed a calculation method for the hydraulic ram diameter of transpositioning device of a submerged nozzles quick change system in a pouring box of slab continuous casting machine allowing to account its dynamic stiffness thereby the useful energy portion increases to overcome resistance forces on moving a set of refractories.*

**Key words:** dynamic stiffness, ram, hydraulic drive, submerged nozzle, continuous casting machine, quick change system.

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
И АРХИТЕКТУРА**

---

**БУДІВНИЦТВО  
ТА АРХІТЕКТУРА**

---

**CIVIL ENGINEERING  
AND ARCHITECTURE**





УДК 551.583.13

д.т.н. Дрозд Г. Я.

(ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

## РАЗВИТИЕ СЕКТОРА ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНЕ — НАСТОЯТЕЛЬНАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ

*Рассмотрено состояние обращения с отходами в Украине и, в частности, в Луганской Народной Республике. Проанализированы мировые тенденции утилизации ТБО. В результате анализа существующих способов утилизации ТБО отдано предпочтение способу раздельного сбора отходов и вовлечению в хозяйственный оборот выделенного из ТБО вторичного сырья. Обосновано предложение о создании и развитии экономически и экологически выгодного сектора обращения с отходами.*

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, утилизация, экология, экономика, технология, экологическая безопасность.

На Украине проблемы с мусором испокон веков решались незатейливо: его вывозили в необитаемые места и сваливали в кучу. Практически так же дело обстоит и сейчас. Только эти места теперь называют полигонами, а мусор — ТБО (твердыми бытовыми отходами). Большинство кладбищ отходов уже давно не соответствует никаким санитарно-эпидемиологическим требованиям. Почти все они превратились в экологически опасные объекты: горы мусора выделяют угарный газ, метан и другие вредные и неприятные по запаху соединения. Плюс

болезнетворные микроорганизмы, плюс вечные спутники свалок — грызуны и вороны (рис. 1). На территории Украины находится более 30 млрд. т отходов, в среднем по 50 тыс. т на км<sup>2</sup>, в том числе более 1 млрд. м<sup>3</sup> (250 млн. т) твердых бытовых отходов (ТБО). В стране ежегодно образуется дополнительно 12 млн. т ТБО. В среднем на человека приходится 300 кг отходов [1]. Независимые эксперты оценивают территории, занятые свалками, в 12 тыс. кв. км, что превышает территорию Черногории и Кипра [2].



Рисунок 1 Мусорная свалка

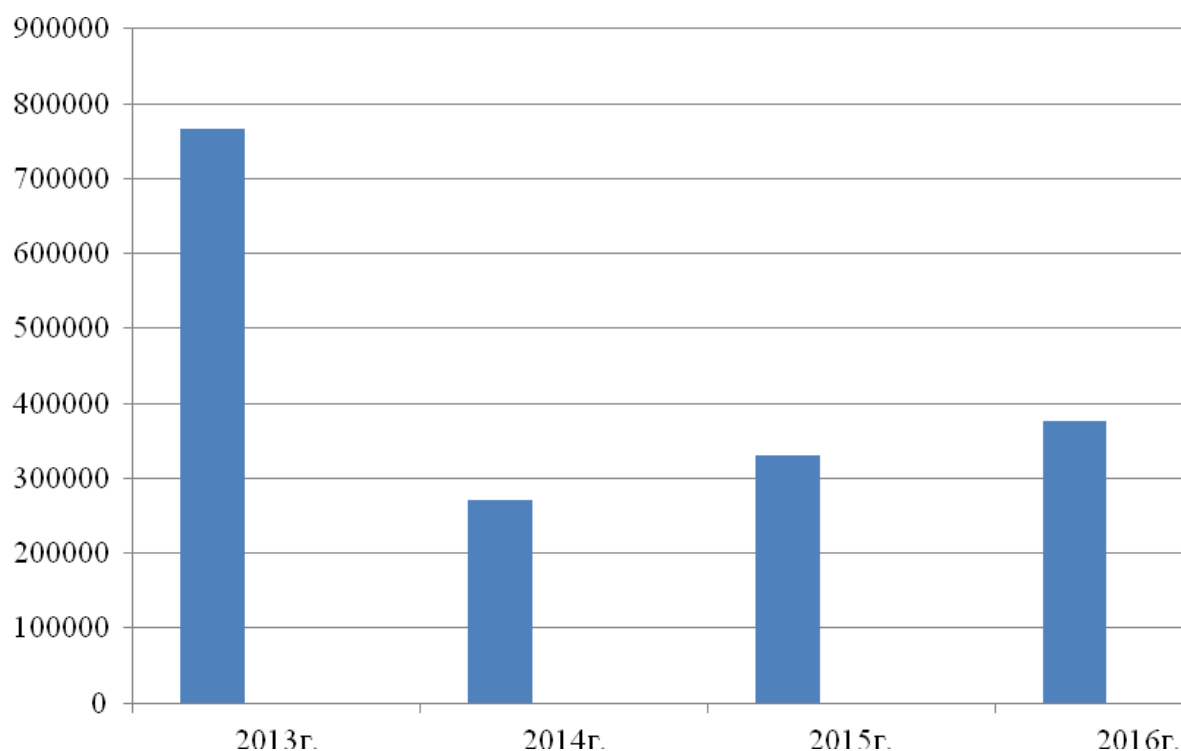


Рисунок 2 Динамика образования ТБО в Луганске

Минрегионстрой и Минприроды Украины оценивают потребность в строительстве новых полигонов минимум в 650 единиц [3].

Таким образом, Украина, превратившись в мирового мусорного лидера, создала для себя проблему в сфере обращения с отходами и экологический кризис.

Бывшие Донецкая и Луганская области в довоенное время были «обладателями» около 8 млрд. т отходов. На данный момент на территории ЛНР сосредоточено более 1,5 млрд. т ранее накопленных отходов, плюс миллионы тонн привнесенных войной разрушений. Кроме того, в республике продолжается накопление ТБО. На рисунке 2 приведена динамика образования ТБО (в м³) в городе Луганске (по данным КП «Луганский центр утилизации отходов»). В довоенное время годовой объем мусора составлял примерно 760 тыс. м³, в настоящее

время объем ТБО несколько снизился и составляет около 400 тыс. м³. Работа основного полигона ТБО для Луганска и расположенных недалеко населенных пунктов в г. Александровске находится на пределе его возможностей, поэтому остро стоит вопрос о необходимости научно обоснованного подхода к решению мусорной проблемы в республике.

Аналогичное состояние полигонов по приемке отходов и в других городах республики. Согласно СНиП 2.07.01.89 (приложение 11) норма накопления ТБО на 1 жителя составляет 190–225 кг/год или 0,9–1,0 м³/год [4]. В соответствии с данными нормами проведена оценка образования ТБО в республике в целом (рис. 3). Ежегодный прирост ТБО по городам и территориям ЛНР приведен в таблице 1.

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



Рисунок 3 Карта – схема ЛНР

Таблица 1

Образование ТБО объектами ЛНР

Объект		Наличное население, чел.	Масса отходов, т	Объем отхо- дов, м3
1	Луганск	440 982	88 200	440 982
2	Красный Луч	120 135	24 020	120 135
3	Алчевск	107 984	21 600	107 984
4	Свердловск	96 074	19 200	96 074
5	Краснодон	101 076	20 200	101 076
6	Стаханов	89 117	17 820	89 117
7	Ровеньки	81 792	16 360	81 792
8	Антрацит	75 895	15 180	75 900
9	Брянка	51 813	10 360	51 813
10	Первомайск	37 706	7 540	37 706
11	Кировск	32 725	6 550	32 725
12	Перевальский р-н	69 116	13 830	69 116
13	Лутугинский р-н	65 470	13 100	65 470
14	Славяносербский р-н	53 465	10 700	53 465
15	Антрацитовский р-н	29 825	5 960	29 825
16	Краснодонский р-н	28 797	5 760	28 797
17	Свердловский р-н	11 610	2 300	11 610
18	Попаснянский р-н	5 927	1 190	5 930
19	Станично-Луганский р-н	2 734	500	2 730
20	<b>Всего по ЛНР</b>	<b>1502143</b>	<b>300270</b>	<b>1503000</b>

Таким образом, годовой прирост ТБО в ЛНР составляет более 1,5 млн. м<sup>3</sup> по объему или более 300 тыс. т по массе. Что же делать с этим «богатством»? Можно продолжать отправлять ТБО на полигоны и несанкционированные свалки. Если следовать этому пути, то с учетом переполненности (около 10 % от общего количества санкционированных свалок), закрытия и рекультивации экологически небезопасных полигонов

(16 %), необходимость выделения земель под полигоны будет возрастать. А это приведет не только к изъятию земель из и без того скудного земельного фонда, но и к дальнейшему ухудшению экологической ситуации в регионе. Существует расхожее мнение, что ситуация с ТБО легко решается путем их сжигания на мусоросжигательных заводах (МСЗ) (рис. 4).



Рисунок 4 Мусоросжигательный завод в Киеве

В таблице 2 приведены сведения об использовании технологий сжигания ТБО в некоторых странах. Из таблицы следует, что чем более развита экономически страна, тем шире используется сжигание отходов. Интересно отметить, что производст-

венные мощности типовых мусоросжигательных заводов находятся в интервале 120-350 тыс. т/год. Типовой состав компонентов в выбросах при сжигании ТБО приведен в таблице 3 [1].

Таблица 2

Мусоросжигание в некоторых странах

Страна	Объекты утилизации ТБО
Япония	143 МСЗ (19 из них расположено в Токио)
Германия	60 МСЗ, сжигают 16000000 т в год
Россия	11 действующих МСЗ, 50 мусоросортировочных комплексов, 243 мусороперерабатывающих завода
Украина	Действует 3 МСЗ, 8 мусоросортировочных линий, планируется построить 12 сортировочных комплексов, 2 мусороперерабатывающих завода, 2 объекта обращения с отходами, включающими технологии сжигания



Таблица 3

Типовой состав выбросов при сжигании ТБО в котлоагрегатах

Компонент	Концентрация С г/м <sup>3</sup>		Индекс токсичности, Т=С/ПДК м.р.	
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная
Оксид углерода	0,5	2,5	100	500
Оксид азота	0,14	0,16	1647	1882
Диоксид серы	0,018	0,095	36	190
Бензол	1,32	3,0	880	2000
Толуол	1,86	6,0	3100	6000
Ацетон	0,7	0,8	2000	2285
Твердые частицы	-	0,056	-	373
Хлорсодержащие (HCl)	0,385	0,648	1925	3215
Фторсодержащие (HF)	0,0037	0,005	185	250

Если учесть, что ПДК — это предельно допустимая концентрация, то выходит, что ничего хорошего мусоросжигательные заводы не сбрасывают (показателем являются очень высокие индексы токсичности). Для того, чтобы соответствовать высочайшим требованиям экологии в Европе, мусоросжигательные заводы либо оснащаются дорогостоящими очистными установками, либо закрываются и перепродаются менее развитым странам.

Так, в Нидерландах в последнее время закрыты 4 завода в Роттердаме и Цаандштате. В Польше остановлена работа 2 мусоросжигательных заводов, Япония безуспешно пытается продать ряд своих заводов Казахстану, а в Канаде и ряде штатов США строительство мусоросжигательных заводов вообще запрещено [1].

Таким образом, теоретически в ЛНР можно было бы построить 1 мусоросжигательный завод с производительностью порядка 300 тыс. т/год. Однако доставка к нему мусора из городов и территорий очень затратна, а экологический эффект в регионе за счет работы завода весьма сомнителен.

Представляют интерес данные по эффективности различных способов утилизации ТБО, приведенные харьковскими специалистами (рис. 5) [5]. Эти данные свиде-

тельствуют, что применяемый ныне метод полигонного захоронения ТБО является неприбыльным. Сжигание ТБО на заводах характеризуется незначительной прибыльностью (ввиду малой эффективности использования тепловой энергии и высокой стоимости необходимых очистных установок). Третий вариант обращения с ТБО, основанный на сортировке и отборе полезной части отходов и вводе их в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья, является наиболее оптимальным в экономическом плане. Исходя из наибольшей привлекательности третьего варианта, проанализируем качественно-количественный состав ТБО. На рисунке 6 приведен морфологический состав отходов (ТБО) 12-летней давности в Донбассе.

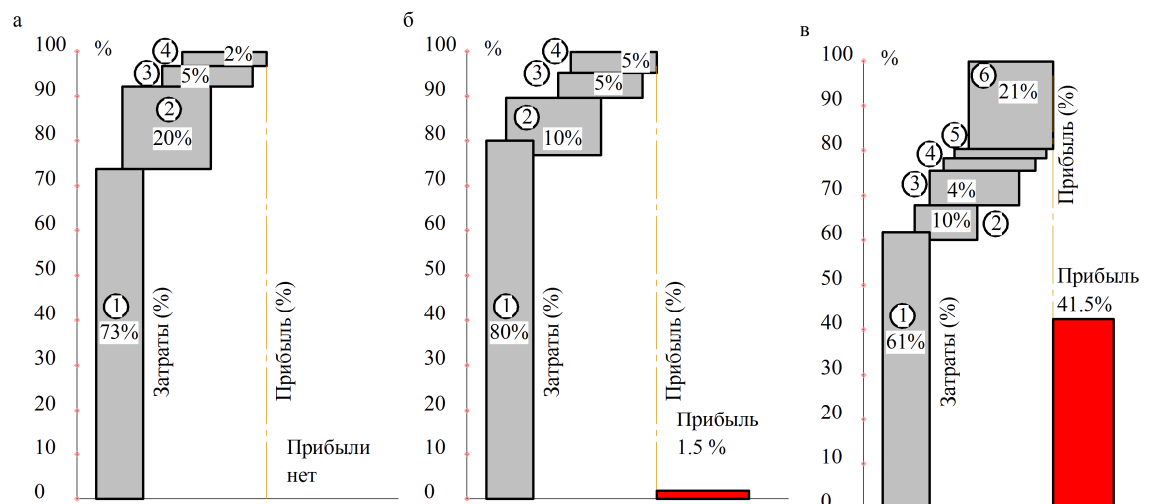
Спектр и содержание отдельных компонентов ТБО наводит на определенные размышления. Металл, бумага, полимеры, ветошь и т. п. — это классическое вторсырье. Еще совсем недавно на территории нашей страны была распространена сфера сбора вторсырья, обусловленная не столько экологическими, а в основном **экономическими** причинами. За символическую плату собирали и сдавали в специальные пункты ветошь, стекло, металл, всевозможное старье, макулатуру. Именно экономические стимулы позволяют граж-



## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

данам отдельных стран поддерживать экологическую ситуацию крупнейших городов в надлежащем состоянии и иметь до-

ход, позволяющий создать свой бизнес и содержать семью и налогами поддерживать государство.



- а) захоронение на полигоне: 1 – сбор отходов, 2 – транспортировка к месту захоронения, 3 – неучтенные расходы, 4 – захоронение на полигоне;  
 б) сжигание на мусоросжигательном заводе: 1 – сбор отходов, 2 – транспортировка к месту сжигания, 3 – сжигание ТБО, 4 – неучтенные расходы;  
 в) переработка в мусороперерабатывающих центрах: 1 – сбор отходов, 2 – транспортировка к месту переработки и захоронения, 3 – неучтенные расходы, 4 – захоронение на полигоне, 5 – сжигание, 6 – переработка.

Рисунок 5 Экономическая эффективность различных способов утилизации ТБО

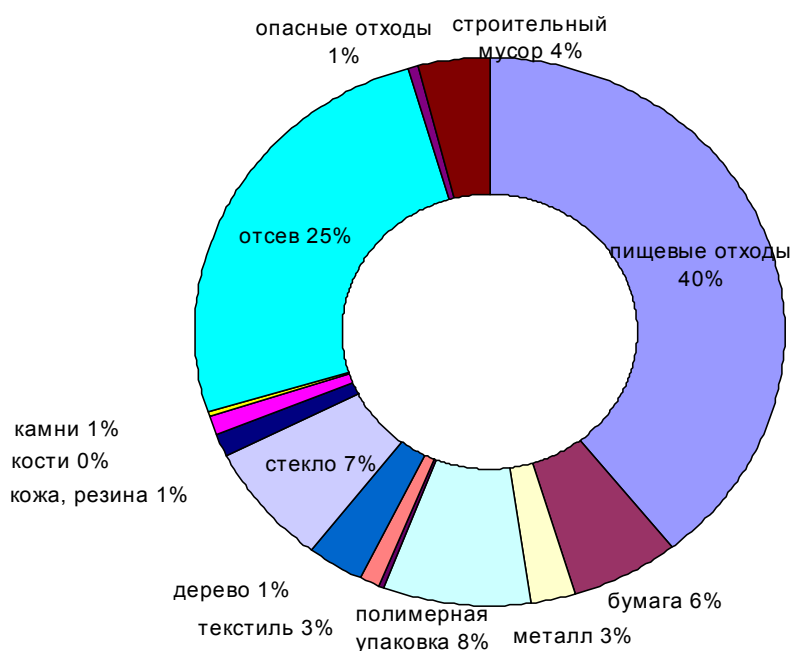


Рисунок 6 Усредненный морфологический состав ТБО в крупных городах Донецкой области (2004 г.)



Рисунок 7 Каир. Сортировка и сбор ТБО

Так, в г. Каире (Египет, население 8,1 млн. человек, площадь 520 км<sup>2</sup>) люди, входящие в неформальный сектор, собирают третью часть отходов города (около 1 млн. т/год). Только в одном районе города, Москаталия, расположено около 700 предприятий по сбору отходов. В этом процессе участвуют 80 посредников и 228 перерабатывающих производств (рис. 7) [1]. В г. Мумбаи (бывший Бомбей, Индия, население 12,2 млн. чел., площадь 620 км<sup>2</sup>) горожане основали соседские ассоциации, которые собирают отдельно отходы, биоразлагающиеся и неразлагающиеся для компостирования и переработки. В ассоциации используется практика вермикомпостирования органических отходов и сотрудничество со старьевщиками для переработки других отходов. В настоящее время таких ассоциаций насчитывается около 650, они объединяют 3000000 чел.

Данная информация интересна тем, что 2,5 % населения города без господомощи поддерживает экономику и экологическую безопасность крупнейшего города.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что отходы позволяют создать самодостаточную производственную отрасль, основанную на их потребительских свойствах.

### Библиографический список

1. Задорский, В. М. Поэма о мусоре [Текст] / В. М. Задорский // Сб. научных статей «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов». — Харьков, 2007. — С. 306–318.

Именно потребительские свойства формируют цену на отходы. Чем выше спрос на них, тем выше цена. Необходимо перенять зарубежный опыт подобного отношения к отходам и перенести его на более высоком и цивилизованном уровне на отечественную почву. При соответствующем организационном и инженерном сопровождении возможно создание уникального сектора обращения с отходами, который позволит:

- снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду Луганщины;
- сэкономить природные ресурсы;
- создать рабочие места и предприятия по переработке отходов во вторичное сырье и на их основе выпускать полезную продукцию.

В заключение необходимо отметить, что для организации полноценного сектора обращения с отходами должна быть проведена соответствующая работа: разработана специальная программа, созданы простые и четкие правила для всех участников, руководством республики оказана помощь в создании симбиозных или отдельных предприятий по переработке отходов и выпуску продукции, постоянно проводится широкая разъяснительная работа среди населения о необходимости раздельного сбора мусора.

2. Национальный доклад об окружающей природной среде в 2011 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.menr.gov.ua/media/files/NasDoro\\_vid2011.pdf](http://www.menr.gov.ua/media/files/NasDoro_vid2011.pdf).

3. *Segodnya.ua*. Свалки в Украине по площади достигли территории Черногории [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://gigamir.net/news/ecomoty/pub/210690>.

4. СНиП 2.07.01-89\* является переизданием СНиП 2.07.01-89 с изменениями и дополнениями, утвержденными постановлением Госстроя СССР от 13 июля 1990 г. № 61, приказом Министрства архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 23 декабря 1992 г. № 269, постановлением Госстроя России от 25 августа 1993 г. № 18-32.

5. Гриценко, А. В. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса [Текст] / А. В. Гриценко, Н. П. Горох и др. — Харьков : ХНАДУ, 2005. — 340 с.

© Дрозд Г. Я.

**Рекомендована к печати директором Института строительства, архитектуры и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрийчуком Н. Д., к.т.н., доц. каф. АПИГ ДонГТУ Усенко В. Н.**

Статья поступила в редакцию 13.02.17.

д.т.н., проф. Дрозд Г. Я. (ІБАіЖКГ ЛГУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, [drozd.g@mail.ru](mailto:drozd.g@mail.ru))

## **РОЗВИТОК СЕКТОРА ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНІ – НАГАЛЬНА НЕОБХІДНІСТЬ**

*Розглянуто стан поводження з відходами в Україні і, зокрема в Луганській Народній Республіці. Проаналізовано світові тенденції утилізації ТПВ. В результаті аналізу існуючих способів утилізації ТПВ віддано перевагу способу роздільного збору відходів і залученню до господарського обороту виділеної з ТПВ вторинної сировини. Обґрунтована пропозиція про створення і розвиток економічно і екологічно вигідного сектору поводження з відходами.*

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, утилізація, екологія, економіка, технологія, екологічна безпека.

Dr. Tech. Sci., Drozd G.Ya (V. Dahl ICEAandE LSU, Lugansk, LPR, [drozd.g@mail.ru](mailto:drozd.g@mail.ru))

## **DEVELOPMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE SECTOR IN LUGANSCHINA IS AN EMERGENT NECESSITY**

*The state of waste management in Ukraine has been studied, particularly, in Lugansk People Republic. The world trends in solid waste utilization have been analyzed. The review of existing methods of solid waste utilization has shown the preferable method for separate waste collection and involvement of secondary raw materials extracted from solid waste into economic circulation. The proposition to create and develop the economically and environmentally profitable sector for waste management was argued.*

**Key words:** solid waste, utilization, ecology, economics, technology, environmental safety.

УДК 644.25

к.т.н. Будзило Е. Е.,  
к.т.н. Усенко В. Н.,  
к.г.н. Горовая Н. А.,  
к.т.н. Николаева Е. К.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## К ВОПРОСУ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

*Предлагается технологическое решение устройства, позволяющего улучшить работы по очистке приемки, тем самым повысить эффективность работы ливневой канализации.*

**Ключевые слова:** *приемок ливневой канализации, дефицит водных ресурсов, дождевая вода.*

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** В последнее время новым технологиям регулирования поверхностных стоков уделяется повышенное внимание, что в основном связано с требованиями экологической безопасности и надежности работ систем водоотведения как в России, так и в других странах мира.

Зачастую продольные уклоны дорог могут не соответствовать их проектным значениям. Связано это в основном с некачественными работами по их устройству. Поэтому от эффективной работы ливневой канализации зависит как экологическая безопасность, так и комфортность проживания населения в городах и поселках.

Особенно это актуально в последнее время, когда природа устраивает нам катаклизмы.

Дорожная одежда бывает двух типов: жесткая и нежесткая; однако если ливневая канализация не будет справляться с дождевым потоком, никакой из этих типов устройства дорог не спасет её от разрушения и выбоин.

Вторым аспектом данной проблемы является дефицит водных ресурсов на значительной территории многих стран. Поэтому сейчас повсеместно ведутся работы по использованию дождевых вод во время эксплуатации дорог. Однако, чтобы этот вопрос решился, необходимо, чтобы дождевая вода через ливневую канализацию попадала в специальные подземные емкости по её очистке и хранению.

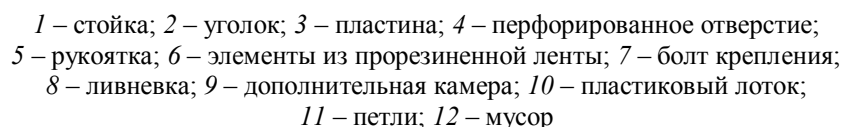
Следовательно, ливневый приемок является первым и главным техническим устройством по улавливанию дождевой воды, и от того, как он эксплуатируется, во многом зависит решение данного вопроса.

**Постановка задачи.** Разработка технологии качественной очистки ливневого приемка с использованием устройства, позволяющего упростить данные работы и улучшить эффективность работы ливневой канализации.

**Изложение материала и его результаты.** В настоящее время на дорожных магистралях все чаще встречаются «запущенные» и сильно загрязненные приемки ливневой канализации. Ни о каком сбросе дождевых вод в данном случае нет и речи.

Если очистка приемка и производится, то технология выполнения работ заключается в следующем: после снятия ливневой решетки рабочий с помощью лопаты производит данные работы. Учитывая, что размеры приемка в основном 0,5×1 м, а его глубина может достигать более 1,0 м, то на последней стадии очистки рабочий будет находиться в довольно стесненных условиях, т. к. с поверхности земли можно работать на глубине до 0,2–0,3 м [1–3].

Предлагается для рассмотрения разработанное устройство для очистки приемков ливневой канализации (рис.1), что позволит значительно упростить их профилактическое обслуживание.



Конструкция устройства заключается в следующем. К стойкам (1)  $d = 10$  мм приваривается уголок (2)  $\perp 30 \times 3$  мм. На образованную раму устанавливается пластина (3) желобчатой формы толщиной 1–2 см с перфорированными отверстиями (4)  $d = 10$  мм. Плотность перфорации 40–60 %, что позволяет на площади  $100 \text{ см}^2$  размещать от 51 до 76 отверстий. Размеры пластины на 1,5 см меньше размеров образованной рамы, что позволит легко её установить. Для удобства извлечения пластины к ней приваривается рукоятка (5). Герметичность соединения устройства с приемком (размеры рамы на 8–10 см меньше размеров приемка, в противном случае возникает сложность ее установки) обеспечивают элементы (6) из

Для упрощения работ по очистке прямка предлагается устройство дополнительной камеры (9) с противоположной

стороны от ливневки размерами  $0,3 \times 0,3$  м и глубиной 0,25 м. В нее устанавливается металлический (а лучше — пластиковый) лоток (10) с петлями (11), вынимаемый с помощью крюков при его заполнении мусором (12). На участке размещения лотка прорезиненная лента отсутствует.

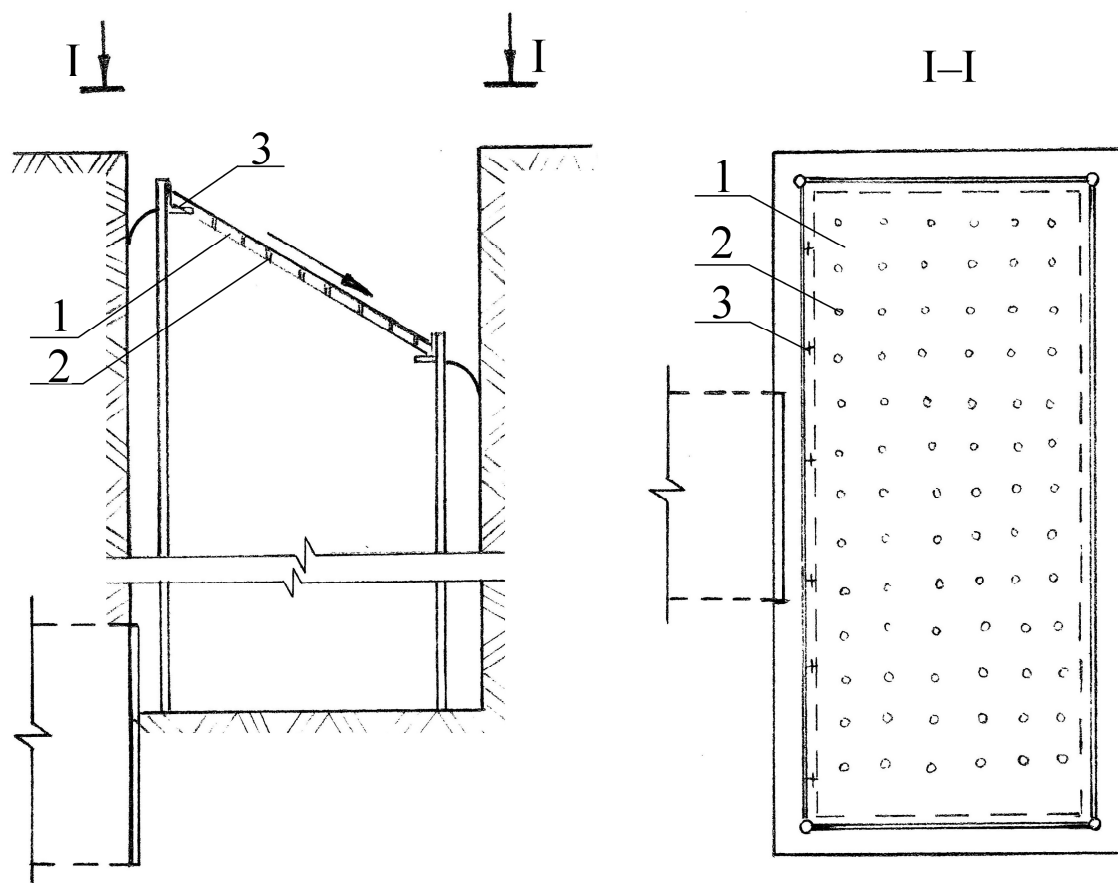
Данное устройство позволит качественно эксплуатировать ливневую канализацию и не даст ей забиваться мусором.

Собранный в дополнительной камере мусор убирается по мере ее заполнения, что во многом определяется количеством осадков за летний период (апрель–сентябрь).

Данное устройство для очистки имеет некоторые недостатки. Так для его использования необходимо выполнить дополнительные

работы по подготовке вторичного приямка (камеры) для установки пластикового лотка. Кроме того, чтобы достать короб, следует снять перфорированный лист. Конечно, это не так трудно, учитывая, что пластина имеет рукоятку, однако не всегда можно уследить за наполняемостью лотка мусором.

Поэтому был разработан второй вариант устройства (рис. 2). Каркас устройства для очистки ливневой канализации монтируется аналогично первому варианту (рис. 1). Отличительной его особенностью является использование не желобчатой, а плоской пластины (1) с перфорацией (2), аналогично первому варианту для сбора мусора. Причем мусор не сбрасывается в пластиковый лоток, а собирается на нижнем участке пластины.



1 – пластина; 2 – перфорированное отверстие; 3 – болт крепления

Рисунок 2 Схема устройства 2 для очистки приямков ливневой канализации с плоской пластиной



**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

Таблица 1

## Преимущество и недостатки устройств

Название устройства	Преимущества	Недостатки
Устройство 1 для очистки с желобчатой пластиной	1. Мусор собирается в лоток. 2. Простота очистки лотка. 3. Возможность сбора большего объема мусора в контейнере (лотке) по сравнению с устройством 2.	1. Необходимость выполнения ряда дополнительных работ по устройству камеры для сбора мусора. 2. Пластина оборудована рукояткой для ее выемки (усложнение конструкции). 3. Затруднительно определить уровень наполняемости пластикового лотка мусором.
Устройство 2 для очистки с плоской пластиной	1. Нет необходимости изготавливать пластину желобчатой формы (проще конструкция). 2. При очистке прямая пластина не вынимается из него. 3. Закрепление пластины осуществляется только по верхнему уровню.	1. Удаление мусора более трудоемко по сравнению с устройством 1, так как необходимо использовать совковую лопату.

Это позволяет упростить контроль наполнения устройства и сбор мусора. Для того, чтобы пластина под весом камней не упала в приямок, необходимо закрепить ее по верхнему уровню на болтах (3).

В таблице 1 приведены преимущества и недостатки разработанных устройств для очистки приямков.

Как видим, использование данных устройств позволяет улучшить уровень эксплуатации ливневой канализации. Оба ва-

рианты устройства имеют несущественные отличия в изготовлении и использовании, могут успешно применяться на практике.

**Выводы.** Применение данных устройств позволит повысить эффективность работы ливневой канализации, снизить затраты по эксплуатации приямков и рационально подойти к вопросу качественной очистки ливневых вод для дальнейшего их использования.

**Библиографический список**

1. Приямок в системе канализации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://okanalizatsii.ru/kak-sdelat-drenazhnyu-sistemu-kanalizacii.html>
2. Приямок в ливневой канализации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://yandex.ua/search/?text=приямок%20для%20ливневой%20канализации&lr=24885>
3. Расчет и устройство ливневой канализации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://stroy-aqua.com/kanalizaciya/drenazh/livnevaya-kanalizaciya.html>

© Будзило Е. Е.  
© Усенко В. Н.  
© Горовая Н. А.  
© Николаева Е. К.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц., и.о. зав. каф. АПИГ ДонГТУ Бондарчуком В. В.,  
начальником ОКСа Алчевской администрации Дема В. Н.*

*Статья поступила в редакцию 14.02.17.*

**к.т.н. Будзило О. Є., к.т.н. Усенко В. М., к.т.н. Горова Н. А., к.т.н. Ніколаєва О. К.** (ДонДТУ,  
м. Алчевськ, ЛНР)

#### **ДО ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЛИВОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ**

*Пропонується технологічне рішення пристрою, що дозволяє поліпшити роботи з очищення  
прямку, таким чином підвищити ефективність роботи зливової каналізації.*

**Ключові слова:** *прямок зливової каналізації, дефіцит водних ресурсів, дощова вода.*

**PhD Budzilo E. E., PhD Usenko V. N., PhD Gorovaia N. A., PhD Nikolaieva E. K.** (DonSTU, Al-  
chevsk, LPR)

#### **THE MATTER OF EXPLOITATION THE STORMWATER DRAINAGE**

*New technology concepts for improving the pit cleaning is proposed thereby increasing the effi-  
ciency of stormwater drainage operation.*

**Key words:** *stormwater drainage pit, water resource scarcity, rain water.*

УДК 624.012.45

к.т.н. Емец Е. В.,  
к.т.н. Карапетян С. Х.,  
Никишина И. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ НА РАБОТУ РАМНЫХ СИСТЕМ

Исследовано напряженно-деформированное состояние рам каркасных зданий при воздействии на них перемещений податливого основания. Проанализирована степень влияния податливости закрепления стоек с основанием от абсолютно жесткого до шарнирного на величины критических нагрузок. Для различных ступеней податливости закрепления стоек в основании определены критические значения продольных усилий.

**Ключевые слова:** податливость, деформированное основание, рамные системы, жесткость, гибкость, ригель.

Строительство зданий и сооружений на деформируемом основании имеет очень широкое распространение. Учет влияния податливости основания на эксплуатационную пригодность сооружений в большей степени зависит от достоверности расчетов и учета реальных свойств грунтов и конструкционных материалов.

Проектирование сооружений в сложных грунтовых условиях связано с необходимостью учета распределения усилий от совместного влияния силовых и деформационных воздействий. Величины перемещений оснований фундаментов и усилия в элементах каркаса зависят от жесткости надфундаментных конструкций и их соединений, податливости защемления фундаментов в грунте и величин нагрузок на каркас [1–2].

Исследуем работу П-образной рамы при различных соотношениях погонных жесткостей ригеля и стоек и при различной податливости соединения элементов между собой и с основанием (рис. 1).

Отношение погонных жесткостей ригеля и стоек примем

$$i = \frac{E \times I_p \times h_p}{E \times I_c \times h_c}. \quad (1)$$

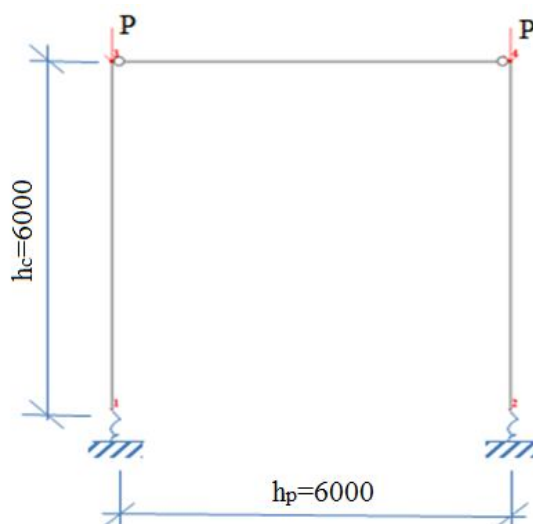


Рисунок 1 Расчетная схема рамы

Податливость соединения стоек в основании примем

$$0 \leq n_c'' \leq \infty. \quad (2)$$

Податливость соединения стоек с ригелем примем

$$0 \leq n_p \leq \infty. \quad (3)$$

Расчеты выполнялись для различных вариантов податливости соединения стоек с ригелем и основанием:

**1 вариант** — абсолютно жесткое соединение элементов между собой и с основанием:

$$n_c'' = 0; n_p = 0. \quad (4)$$

**2 вариант** — элементы рамы соединены между собой абсолютно жестко, а с основанием — шарнирно:

$$n_c'' = \infty; n_p = 0. \quad (5)$$

**3 вариант** — абсолютно жесткое соединение элементов между собой, конечная жесткость соединения с основанием:

$$0 \leq n_c'' \leq \infty; n_p = 0. \quad (6)$$

**4 вариант** — жесткое соединение стоек с основанием и соединение ригеля со стойками конечной жесткости:

$$n_c'' = 0; 0 \leq n_p \leq \infty. \quad (7)$$

Искомые величины:

- поворот узла 3 ( $\varphi_3$ );
- поворот узла 4 ( $\varphi_4$ );
- горизонтальное перемещение узла 3 ( $\Delta_3$ ).

Функции влияния продольного изгиба:

$$s_{1-3} = s_{2-4} = \sqrt{\frac{P \times h_p^2}{EI_c}}; s_{3-4} = 0. \quad (8)$$

Приведем результаты расчета рамы при изменении податливости закрепления стоек с основанием для различных соотношений погонных жесткостей ригеля и стоек, т. е. для симметричной и несимметричной потери устойчивости.

Соединение элементов между собой принимаем абсолютно жестким  $n_p = 0$ .

При несимметричной потере устойчивости выражение для соотношения погонных жесткостей ригеля и стоек примет вид:

$$i = \frac{(R_3^c + R_4^c)^2 - R_3^c \times R_4^c}{6R_2^c}, \quad (9)$$

где  $R_i^c$  — значения реактивных усилий от неизвестных перемещений.

Для различных значений податливости соединения стоек с основанием при изменении соотношения погонных жесткостей ригеля и стоек ( $i$ ) определим критические значения функций продольных усилий ( $Y_{кр}$ ). Результаты вычислений приведены на рисунке 2.

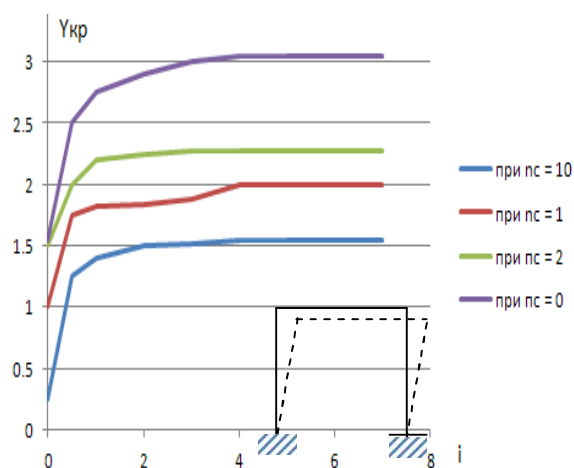


Рисунок 2 График влияния жесткости элементов и податливости основания на критические значения продольного изгиба при несимметричной потере устойчивости

Для случая симметричной потери устойчивости горизонтальное перемещение  $\Delta_3 = 0$ , а повороты узлов 3 и 4  $\varphi_3 = -\varphi_4$ .

Для различных ступеней податливости закрепления стоек в основании при изменении соотношения погонных жесткостей ригеля и стоек определяем критические значения продольных усилий для случая симметричной потери устойчивости. Результаты вычислений приведены на рисунке 3.

На основании полученных результатов определим влияние податливости узлов закрепления стоек в основании на величины критических вертикальных нагрузок ( $P$ ) при различных соотношениях погонных жесткостей ригеля и стоек.

При этом в качестве предельного примем значение критических нагрузок на раму при абсолютно жестком закреплении стоек в основании:

$$P_{кр} = \frac{Y_{кр}^2 \times i}{h_c}. \quad (10)$$

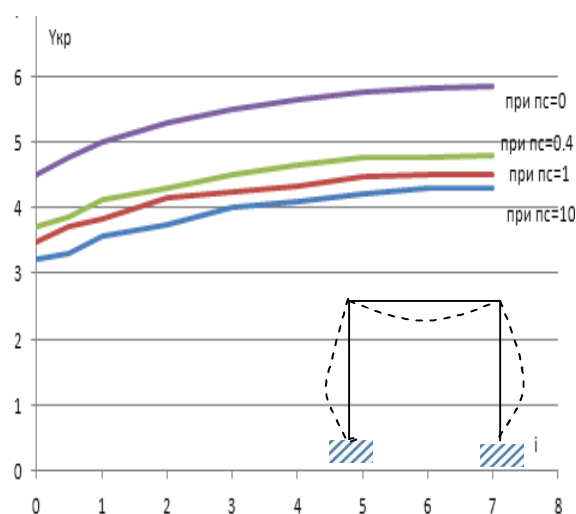


Рисунок 3 График влияния жесткости элементов и податливости основания на критические значения продольного изгиба при симметричной потере устойчивости

При изменении податливости закрепления стоек в основании критическая нагрузка составит:

$$P_{кр}^{(n)} = \frac{Y_{кр(n)}^2 \times i}{h_c}. \quad (11)$$

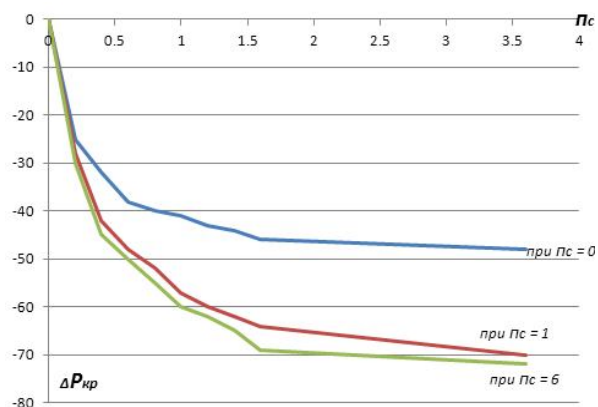
Изменение критической нагрузки определим по формуле:

$$\Delta P_{кр} = \frac{P_{кр}^{(n)} - P_{кр}}{P_{кр}} \times 100\%. \quad (12)$$

Проанализируем степень влияния податливости закрепления стоек с основанием от абсолютно жесткого до шарнирного на величины критических нагрузок.

Сопоставляя графики на рисунках 2 и 3, сделаем вывод о том, что критические значения влияния продольного изгиба при несимметричной потере устойчивости для любых значений податливости закрепления стоек в основании меньше соответствующих значений при симметричной потере устойчивости. Таким образом, несимметричная потеря устойчивости может быть вызвана меньшими вертикальными нагрузками и, следовательно, является более опасной.

На рисунке 4 приведены графики влияния податливости закрепления стоек в основании на величину критической нагрузки при симметричной и несимметричной потере устойчивости.



- 1 – при несимметричной потере устойчивости;  
2 – при симметричной потере устойчивости

Рисунок 4 График зависимости податливости основания от величины критических нагрузок при различных соотношениях погонных жесткостей ригеля и стоек

Результаты вычислений показывают, что учет податливости закрепления стоек с основанием существенно снижает предельные значения продольного изгиба и нагрузок как при симметричной, так и при несимметричной потере устойчивости. Рост податливости основания сопровождается существенным снижением критических значений нагрузок (при  $n_c'' = \infty$  критическим величинам для шарнирного примыкания стоек и основания).

График зависимости податливости основания на величины критических нагрузок при различных соотношениях погонных жесткостей ригеля и стоек показывает, что учет податливости закрепления стоек в основании оказывает более существенное влияние на величины критических нагрузок при несимметричной потере устойчивости, чем при симметричной. При несимметричной потере устойчивости при относительной податливости закрепления стоек в основании:

- при  $n_c^H = 0,2$  величины критических нагрузок снижаются на 30 %;
- при  $n_c^H = 0,4$  величины критических нагрузок снижаются на 40 %;
- при  $n_c^H > 1$  величина критической нагрузки снижается более чем на 60 %.

Соответственно, для симметричной потери устойчивости снижение критических нагрузок составляет

- при  $n_c^H = 0,2$  — 25%;
- при  $n_c^H = 0,4$  — 35%;
- при  $n_c^H > 1$  — менее 50 %.

#### Вывод:

1. Установлено, что при различных соотношениях погонных жесткостей ригеля и стоек учет податливости закрепления стоек в основании оказывает более существенное влияние на величины критических нагрузок при несимметричной потере устойчивости, чем при симметричной. При несимметрич-

ной потере устойчивости при относительной податливости закрепления стоек в основании величины критических нагрузок снижаются на 30–60 %. При симметричной потере устойчивости снижение критических нагрузок составляет 25–50 %.

2. Существенное влияние на величину критической нагрузки оказывает не столько соотношение погонных жесткостей ригеля и стоек, сколько относительная податливость закрепления стоек в основании. При изменении соотношения погонных жесткостей (i) в диапазоне от 1 до 6 изменение критической нагрузки при любой степени податливости не превышает 4–5 %. При увеличении степени податливости ( $n_c^H$ ) в диапазоне от 0 до 0,2 при любых соотношениях погонных жесткостей ригеля и стоек значения критических нагрузок при симметричной и несимметричной потере устойчивости снижаются на 25–30 %.

#### Библиографический список

1. Клепков, С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании [Текст] / С. Н. Клепков. — К. : НИИСК, 1996. — 204 с.
2. Малышев, М. В. Прочность грунтов и устойчивость оснований [Текст] / М. В. Малышев. — М. : Стройиздат, 1977. — 176 с.
3. Трегуб, А. С. Варіаційний метод розв'язання нелінійних контактних задач при деформаціях основ і споруд [Текст] / А. С. Трегуб // Механіка ґрунтів та фундаментобудування: Матеріали 4-укр. наук.-практ. конф. — К., 2000. — Вип. 53, кн. 2. — С. 247–251.
4. Узун, И. А. Расчетные модели железобетонных элементов [Текст] / И. А. Узун. — Одесса : ИМК Город мастеров, 2000. — 248 с.
5. Кодыш, Э. Н. Универсальный узел сопряжения ригеля с колонной [Текст] / Э. Н. Кодыш, Л. Л. Лемьш, И. И. Мордоховичи др. // Бетон и железобетон. — 1994. — Вып. 1. — С. 2–4.
6. Шмуклер, В. С. Учет полной диаграммы “ $\sigma_b - \epsilon_b$ ” в алгоритме расчета железобетонных элементов / В. С. Шмуклер, И. Я. Лучковский // Науковий вісник будівництва. Матеріали міжнародної конференції “Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд”. — Харків : ХДТУБА, ХОТВ АБУ. 2003. — Вип. 23. — С. 143–150.
7. Эренбург, В. М. Эксплуатационные пластические шарниры в железобетонных ригелях рамных каркасов общественных зданий [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук / В. М. Эренбург. — М., 1994. — 24 с.
8. Емец, Е. В. Совершенствование методов расчета конструкций каркасных зданий при неравномерных осадках основания [Текст] / Е. В. Емец // Современные проблемы строительства : ежегодный научно-технический сборник. — Донецк : Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО “Лебедь”, 2003. — Вип. 1(6). — С. 46–50.

© Емец Е. В.

© Карапетян С. Х.

© Никишина И. А.



*Рекомендована к печати и.о. заведующего каф. СК, к.т.н., доц. ДонГТУ Псюком В. В., д.т.н., проф. каф. ГиПС ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.*

*Статья поступила в редакцию 21.02.17.*

**к.т.н. Ємець О. В., к.т.н. Карапетян С. Х., Нікішина І. О.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОДАТЛИВОСТІ ОСНОВИ НА РОБОТУ РАМНИХ СИСТЕМ**

*Досліджено напружено-деформований стан рам каркасних будинків при впливі на них переміщень податливої основи. Проаналізовано ступінь впливу податливості закріплення стійок з основою від абсолютно жорсткого до шарнірного на величини критичних навантажень. Для різних ступенів податливості закріплення стійок в основі визначені критичні значення поздовжніх зусиль.*

**Ключові слова:** податливість, деформована основа, рамні системи, жорсткість, гнучкість, ригель.

**PhD Yemets E. V., PhD Karapetyan S. Kh., Nikishina I. A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**INVESTIGATING THE INFLUENCE OF BASEMENT PLIABILITY ON FRAME SYSTEM BEHAVIOR**

*The stress-strain state of building frames has been examined when the pliable basement displacement influenced them. The influence of pliability on critical loads when legs are fastened to the basement has been analyzed from completely rigid to the jointed type of fastening. Critical values of longitudinal forces have been determined for various degree of pliability of legs fastening in the basement.*

**Key words:** pliability, deformed basement, frame system, rigidity, plasticity, cross bar.

**МАШИНОСТРОЕНИЕ  
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

---

**МАШИНОБУДУВАННЯ  
ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

---

**MECHANICAL ENGINEERING  
AND MACHINE SCIENCE**



УДК 543:621.35

д.т.н. Алимов В. И.,  
Георгиаду М. В.,  
Генкузина В. О.  
(ГОУВПО ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)  
Георгиадис Т.  
(ВТУЗ Западной Македонии, г. Козани, Греция)

## РАЗМЕРНОЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

*Разработаны новые составы обмазок для размерного химико-термического восстановления деталей транспортного оборудования и быстрорежущего инструмента. Усовершенствована технология восстановления путем введения в восстановительный процесс этапа предварительного окисления. Показано, что радиальные размеры, уменьшившиеся при эксплуатации вследствие износа, восстанавливаются до исходного состояния. Предложенные составы обеспечивают продление срока эксплуатации изделий повышенной точности.*

**Ключевые слова:** износ, размерное термическое восстановление, химико-термическая обработка, составы обмазок, предварительное окисление.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Размерное термическое, в том числе химико-термическое восстановление заключается в нагреве до температур, не превышающих температуру фазовой перекристаллизации, изделий повышенной точности, которые в процессе эксплуатации вышли по радиальным размерам за допустимые границы. В существующей производственной практике такие металлические изделия перетачивают механическим путем на изделия с другими меньшими размерами либо отправляют в металлолом. Для ответственных деталей транспорта и дорогостоящего инструмента такой подход не оправдан, поэтому ведутся работы по разработке и усовершенствованию технологии восстановительной обработки первично изготовленных изделий.

Получены результаты при размерном термическом восстановлении, позволяющем продлить средний суммарный срок службы быстрорежущего инструмента в 2–2,5 раза [1–3], при этом достигается увеличение радиальных размеров на 0,1–0,2 % по сравнению с исходными, уменьшившимися после

эксплуатации из-за износа. Однако в случае более высокой степени износа требуется большее увеличение размеров, которое может быть достигнуто совмещением воздействия температур и внедрения в тонкие поверхностные слои элементов, образующих фазы с большим удельным объемом. Восстановление размеров изношенных изделий тепловым воздействием базируется на использовании накопленных при деформации эксплуатацией структурных изменений, связанных как с тонкой кристаллической структурой и микроструктурой, так и с напряженным состоянием. Кроме того, технология размерной восстановительной обработки не должна значительно усложнять технологический цикл и капитальные затраты на переоборудование и наладку существующей материальной базы машиностроительных предприятий.

В процессе работы осесимметричного инструмента происходит его радиальный износ, при этом термическое и химико-термическое восстановление происходит похожим образом. В случае износа до размеров, меньше допустимых, т. е. тех, после которых при термическом восстановлении

размеры входят в поле допуска [2], происходит катастрофический износ и термическое восстановление нецелесообразно [4, 5]; в остальных случаях применение термического восстановления оправдано.

**Постановка задачи.** Задачей настоящей работы является разработка низкотемпературного размерного химико-термического восстановления осесимметричных изделий повышенной точности.

**Изложение материала и его результаты.** Материалами для исследований являлись конструкционная 35ХГСА и быстрорежущие стали состава типа Р6М5. Для термического восстановления отбирали детали транспорта и группы сверл в состоянии после износа при эксплуатации в условиях машиностроительных предприятий Донбаса. Инструмент и детали нагревали в камерной печи при температурах 500–650 °С с шагом 50 °С в течение 5–10 ч. Перед нагревом до температуры восстановления для его ускорения проводили окисление [6] с одновременным просушиванием при температуре 140 °С в течение 30–40 мин в герметично закрытом тигле.

После восстановления измеряли размеры микрометром, оценивали увеличение размеров и степень восстановления. Для увеличения способности точных металлоизделий к термическому восстановлению были разработаны новые составы обмазок, в которые входят компоненты в соотношениях, представленных в таблице 1 [7, 8].

Прирост размеров после восстановительной обработки связан с увеличением удельного объема фаз в поверхностном слое. Результаты восстановления образцов из стали

35ХГСА и натуральных сверл из стали Р6М5 в разных смесях приведены на рисунках 1, 2.

Из анализа зависимости размера образцов из стали 35ХГСА от продолжительности выдержки и температуры нагрева видно, что больший прирост размеров происходит при температуре 650 °С и выдержке 10 ч. Это объясняется тем, что при увеличении выдержки и температуры скорость диффузии увеличивается. Прирост размеров после размерного термического восстановления связан с увеличением удельного объема фаз в поверхностном слое. По мере увеличения глубины азотированного слоя изменение размеров образцов наблюдается в большей мере.

Сверла имеют большую способность к восстановлению размеров, т. к. сталь Р6М5, по сравнению со сталью 35ХГСА, имеет больше фаз внедрения в матрице, более высокий исходный уровень напряжений структурных, термических и связанных с формой изделия и условиями эксплуатации. Однако с увеличением температуры восстановления сталь 35ХГСА ведет себя более прогнозируемо в сравнении со сталью Р6М5 и рабочие размеры равномерно растут. Такое отличие может быть связано с релаксацией исходных напряжений, началом и развитием процессов отпуска в поверхностных слоях в стали Р6М5, претерпевающих в процессе эксплуатации вторичную закалку [9].

Полученный прирост размеров на образцах из стали 35ХГСА позволяет прогнозировать прирост размеров на осесимметричных деталях шахтной гидравлики, например, на цилиндре (рис. 3).

Таблица 1

Состав обмазок для размерного химико-термического восстановления

Смесь	Компоненты смеси, % масс.				
	Мочевина	Древесный уголь	Оксид алюминия ( $Al_2O_3$ )	Жидкое стекло	Углекислый барий ( $BaCO_3$ )
1	80	12	2,5	5,5	нет
2	93	нет	2	5	нет
3	54	30	5	5	6

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

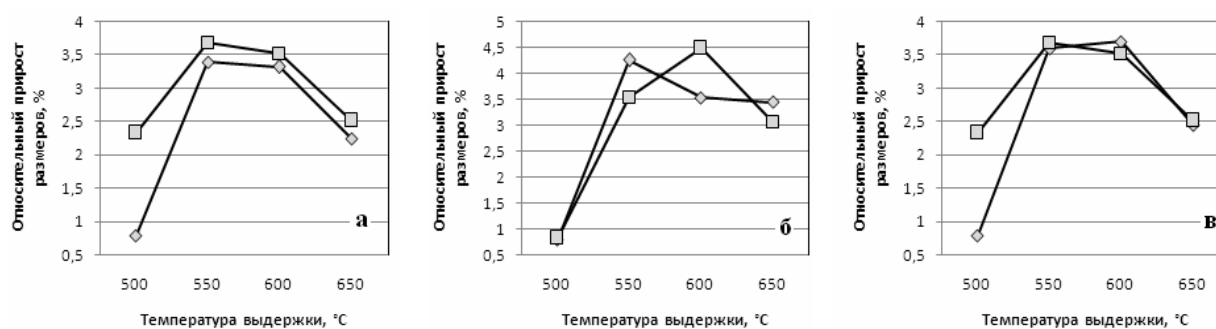


Рисунок 1 Результаты химико-термического размерного восстановления проб из стали 35ХГСА в обмазках состава: а) 1; б) 2; в) 3; при выдержке:  $\blacklozenge$  – 5 ч;  $\blacksquare$  – 10 ч.

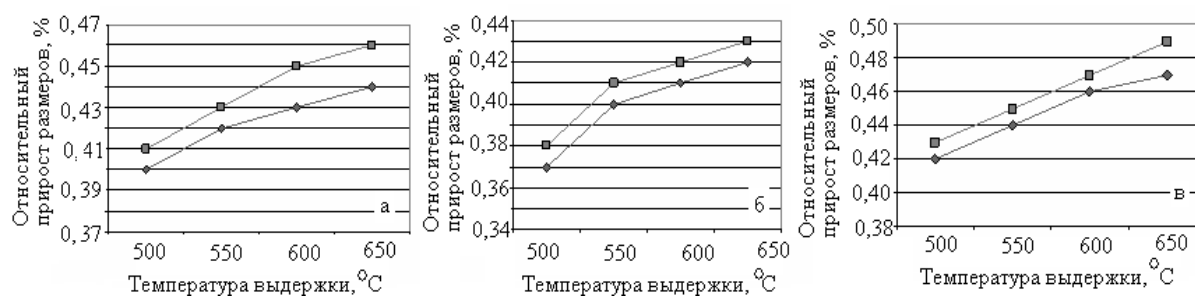


Рисунок 2 Результаты химико-термического размерного восстановления сверл из стали Р6М5 в обмазках состава: а) 1; б) 2; в) 3; при выдержке:  $\blacklozenge$  – 5 ч;  $\blacksquare$  – 10 ч.

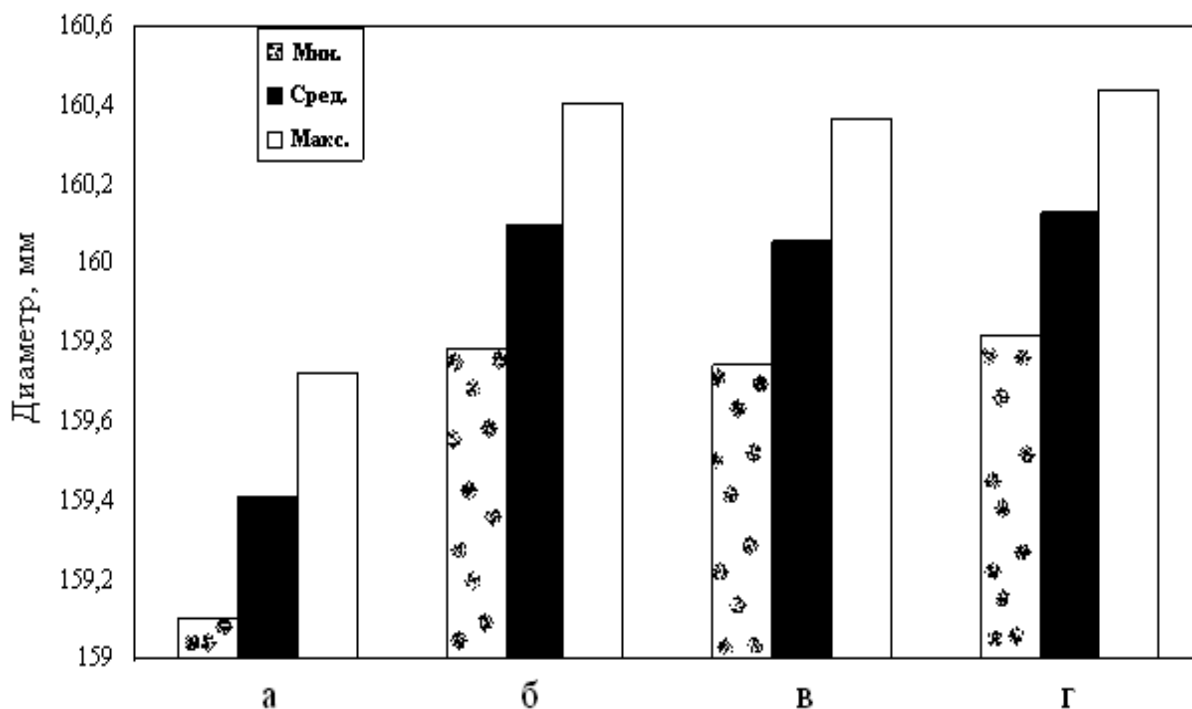


Рисунок 3 Прогнозируемое изменение размеров детали цилиндр после химико-термического восстановления в обмазках из разработанных составов:  
а) размеры после износа; после восстановления в смеси: б) 1; в) 2; г) 3.



Восстановление базируется на тех трансформациях структуры, которые происходят при работе инструмента и деталей точного машиностроения.

Были проанализированы факторы, оказывающие влияние на механизм восстановления рабочих размеров быстрорежущего инструмента и деталей повышенной точности после трансформации микроструктуры в результате эксплуатации. Факторы можно разделить на группы, начиная с периода кристаллической решетки, в которой движущей силой является растворение инородных атомов, увеличивающих ее период. Блочная структура металла при дроблении и объединении субграниц, полигонизация, со всеми основными зернограницными реакциями влияют на способность к восстановлению. Карбидная фаза влияет на способность к размерному восстановлению изделий по сложной зависимости, включающей тип, количество и размер карбидов, их распределение и фактор их формы. Структурные и термические, кристаллизационные и деформационные напряжения влияют на геометрию самого изделия, при этом изменяются условия и характер влияния.

Анализ вклада в изменение радиальных размеров осесимметричных изделий при термическом восстановлении показал, что наиболее весомым фактором является деформационное напряжение, полученное после цикла эксплуатации. При изменении размеров (радиальных и продольных) после термического восстановления изменяется объем изделия, поэтому необходимо найти зависимость изменения линейных размеров от разных факторов.

При химико-термическом восстановлении влияют внедренные в поверхностные слои фазы: нитриды, бориды, карбиды. Химико-термическое восстановление под воздействием описанных выше факторов при внедрении нитридных фаз составляет, по разным данным, 3–7 % [9]. При диффузионном насыщении поверхности или тепловой поверхностной обработке, кроме того, существенное влияние на изменение

линейных размеров изделий составляют напряжения сжатия в поверхностных слоях и растягивающие напряжения в центральной зоне изделий [10].

Все названные факторы влияют на способность к восстановлению и на способность каждого фактора в отдельности вносить свой вклад в изменение размеров изделий. Аналитически эти факторы можно выразить их суммой, однако с учетом знака воздействия, так как не все перечисленные факторы ведут к увеличению размеров и, следовательно, к их восстановлению.

В работе [11] подробно рассмотрен вклад напряжений в изменение радиальных размеров осесимметричных изделий при термическом восстановлении на примере деформационных, полученных после цикла эксплуатации, и структурных, которые появляются при фазовых превращениях. Показан теоретический расчет изменения радиусов после термического восстановления, вычислено суммарное среднее увеличение объема сверл из стали Р6М5, составляющее 7,4 %. Теоретическое увеличение объема образцов, вырезанных из деталей гидравлики шахтной крепи, изготовленных из стали 35ХГСА, составляет около 4,5 % [11]. При этом, как показано в настоящей работе, изменение диаметра сверл составляет 3–5 % (рис. 1), а изменение размеров детали цилиндр - около 0,4–0,5 % (рис. 2). Различие теоретических и полученных на практике значений может быть связано с тем, что модель зависимости изменения объема изделия от структурных и геометрических факторов не учитывает все природные, технические и металлогенетические факторы [12], а только показывает наиболее весомые.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Оптимальные режимы размерного термического восстановления, позволяющие повысить работоспособность изделий повышенной точности, включают этапы эксплуатации до определенной степени износа и азотирования в разработанных обмозках.

Размерное термическое восстановление путем азотирования обеспечивает восстановление радиальных размеров осесимметричных изделий, изношенных при эксплуатации, в интервале 4–5 % для сверл из стали Р6М5 и 0,37–0,48 % для деталей транспортного оборудования из конструк-

ционных сталей и тем самым продлить срок их эксплуатации.

Дальнейшие исследования направлены на размерное термическое и химико-термическое восстановление асимметричных изделий и локальное восстановление.

### Библиографический список

1. Алімов, В. І. Відновлення інструменту зі швидкорізальної сталі [Текст] / В. І. Алімов, М. Т. Єгоров, М. В. Афанасьєва // Зб. Матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції. — Запоріжжя, 2008. — С. 143–145.
2. Алимов, В. И. Концептуальная оценка факторов размерного термического восстановления радиальных размеров стержневых осесимметричных изделий [Текст] / В. И. Алимов, М. В. Георгиаду, А. Б. Белевцов // Актуальні проблеми фізико-хімічного матеріалознавства: Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — Краматорск, 2014. — № 4 (102). — С. 135–143.
3. Alimov, V. I. Size restoration tool by chemical-thermal treatment [Текст] / V. I. Alimov, M. V. Georgiadou, L. O. Zheltobruh // Стратегия качества в промышленности и образовании : Сб. Материалов VII Международной конференции. — Варна, Болгария, 2011. — С. 52–55.
4. Алимов, В. И. Размерное восстановление деталей гидравлики горного оборудования наращиванием изношенных слоев [Текст] / В. И. Алимов, М. В. Георгиаду, А. И. Шевелев // Уголь Украины. — 2015. — № 3–4 (699–700). — С. 60–62.
5. Алимов, В. И. Трансформация размерного состава карбидов при вторичном переделе быстрорежущего инструмента [Текст] / В. И. Алимов, Ю. В. Лобкова, М. В. Георгиаду // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2011. — № 12 (177). — С. 308–315.
6. Алимов, В. И. Продукты окисления на стали как интенсификаторы химико-термической обработки [Текст] / В. И. Алимов, А. П. Штихно, М. В. Георгиаду // Металургія: Наук. Праці ДонНТУ. — 2007. — № 10 (175). — С. 208–211.
7. Пат. 55083 Україна, МПК(2009), C23C 8/26. Спосіб відновлення робочих розмірів стрижневих виробів / В. І. Алімов, Л. О. Желтобрюх, М. В. Георгіаду; заявник і патентовласник Алімов В. І. — u201004515; заявл. 19. 04. 2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. — 4 с.
8. Пат. 61491 Україна, МПК(2009), C23C 8/26. Спосіб відновлення розмірів інструменту та деталей машин / В. І. Алімов, О. І. Шевелєв, Л. О. Желтобрюх, М. В. Георгіаду; заявник і патентовласник Алімов В. І. — № u201014347; заявл. 30. 11. 2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. — 4 с.
9. Баранов, А. А. Фазовые превращения и термо-циклирование металлов [Текст] / А. А. Баранов. — К. : Наукова думка, 1974. — 232 с.
10. Каратеев, А. М. Повышение эффективности азотирования за счет применения вещества с высоким содержанием азота [Текст] / А. М. Каратеев, А. А. Павлюченко, Е. А. Костик // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 4 (16). — С. 59–64.
11. Алимов, В. И. Концептуальная оценка факторов размерного термического восстановления радиальных размеров стержневых осесимметричных изделий [Текст] / В. И. Алимов, М. В. Георгиаду, А. Б. Белевцов // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — 2013. — № 4 (102). — С. 135–144.
12. Алимов, В. И. Создание и использование анизотропии коррозионной устойчивости в высокоуглеродистых сплавах [Текст] / В. И. Алимов, Д. А. Баранов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 4/1(46). — С. 62–70.

© Алимов В. И.  
 © Георгиаду М. В.  
 © Генкузина В. О.  
 © Георгиадис Т.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.*

*Статья поступила в редакцию 09.01.17.*

**д.т.н. Алімов В. І., Георгіаду М. В., Генкузіна В. О. (ДОЗВПО ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР),  
Георгіадіс Т. (ВТУЗ Західної Македонії, м. Козані, Греція)**

**Розмірне хіміко-термічне відновлення деталей транспортного устаткування та інструменту підвищеної точності**

*Розроблено нові склади обмазок для розмірного хіміко-термічного відновлення деталей транспортного устаткування та швидкорізального інструменту. Удосконалено технологію відновлення шляхом введення у відновлювальний процес етапу попереднього окиснення. Показано, що радіальні розміри, що зменшилися при експлуатації внаслідок зношування, відновлюються до вихідного стану. Запропоновані склади забезпечують подовження строку експлуатації виробів підвищеної точності.*

**Ключові слова:** зношування, розмірне термічне відновлення, хіміко-термічна обробка, склади обмазок, попереднє окиснення.

**Doctor of Tech.Sc. Alimov V. I., Georgiadu M. V., Genkuzina V. O. (DonNTU, Donetsk, DPR),  
Georgiadis T. (West Makedonia Technical University, Kozani, Greece)**

**DIMENSIONAL CHEMICAL-THERMAL RECOVERY OF HANDLING EQUIPMENT PARTS AND HIGH ACCURACY TOOLS**

*New coating compounds for dimensional chemical-thermal recovery of handling equipment parts and high-speed tools are developed. New reducing technology has been improved by implementing preliminary oxidation stage into recovery process. It was indicated, that radial dimensions getting smaller due to operational wear are recovered to initial state. Proposed compounds provide increasing the operational service life for high accuracy parts.*

**Key words:** wear, dimensional thermal recovery, chemical-thermal processing, coating compounds, preliminary oxidation.

УДК 669.02(07)

к.т.н. Гахов П. Ф.,  
к.ф.-м.н. Харитоненко А. А.  
(ЛГТУ, г. Липецк, Россия)

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЫЧАЖНО-ЭКСЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ШАГАЮЩИХ БАЛОК ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 200 Т

*Представлена методика проектирования рычажно-эксцентрикowego механизма подъема шагающих балок, входящих в состав конвейера возвратно-поступательного типа. Выбрана схема балки для транспортного конвейера, способная транспортировать рулоны широкополосных стансов между цехами и внутри цеха.*

**Ключевые слова:** механизм подъема, рычажно-эксцентриковой, шагающая балка, конвейер, методика, расчёты, компоновка, проектирование.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Шагающая балка входит в состав цепи шарнирно связанных между собой балок конвейера возвратно-поступательного типа, в котором в исходном положении все балки находятся ниже уровня пола (стационарных балок). В месте загрузки кран или кантователь укладывает рулон на пол для отправки, а в месте выгрузки снимает с пола поступивший рулон. После загрузки-выгрузки рулонов все балки поднимаются выше уровня пола и поднимают все рулоны, лежащие на полу и на балках.

Для подъема все балки оборудованы рычажно-эксцентрикowymi механизмами с гидравлическим приводом.

После подъема все балки при помощи одного или двух гидроцилиндров перемещаются на величину шага, например,  $t = 3000$  мм. После остановки все балки опускаются ниже уровня пола и укладывают рулоны на стационарные балки, а балки, опустившись ниже уровня пола, возвращаются на величину шага в исходное положение.

### Анализ исследований и публикаций.

На основании изучения аналогов конструкций выбрана структурная схема механизма подъема (рис.1), в котором балка 8 опирается на четыре ходовых колеса 3, попарно установленных на оси 1. Для независимого вращения каждое колесо на роликовых подшипниках 2 установлено на ось. Фиксация подшипников в колесе и на оси осуществля-

ется стопорными пружинными кольцами. На каждой оси между колесами устанавливаются зеркально расположенные между собой эксцентриквые втулки 4 с двуплечими рычагами 7. На наружном диаметре эксцентриквых втулок предусмотрены посадочные места для подшипников 5, на которые опираются четыре стойки 6 балки 8 [1, 2].

Верхние приводные плечи соединены с осью 11, на которой установлен шарнирный подшипник скольжения 10 для соединения с вилкой штока 9 гидроцилиндра подъема балки (рис.2). Нижние плечи (рис.1) рычага 3 — ведомые, служат для соединения с тягой 5, которая соединена с нижними рычагами эксцентриквых втулок, установленных на другой оси. Соединение ведомых рычагов с тягой обеспечивает синхронный поворот эксцентрикв и параллельный подъем (опускание) балки.

### Цель (задачи) исследований.

Методику проектирования рассмотрим на примере следующего задания.

Спроектировать рычажно-эксцентриквой механизм подъема шагающей балки для транспортировки рулонов (рис. 2):

1. Масса рулона  $m=30000$  кг.
2. Диаметр рулона наружный  $D=2500$  мм.
3. Количество рулонов на балке  $z=4$ .
4. Высота подъема балок выше уровня пола  $h_1=40$  мм.
5. Общая высота подъема балок  $h=60$  мм.
6. Привод механизма подъема балок гидравлический.

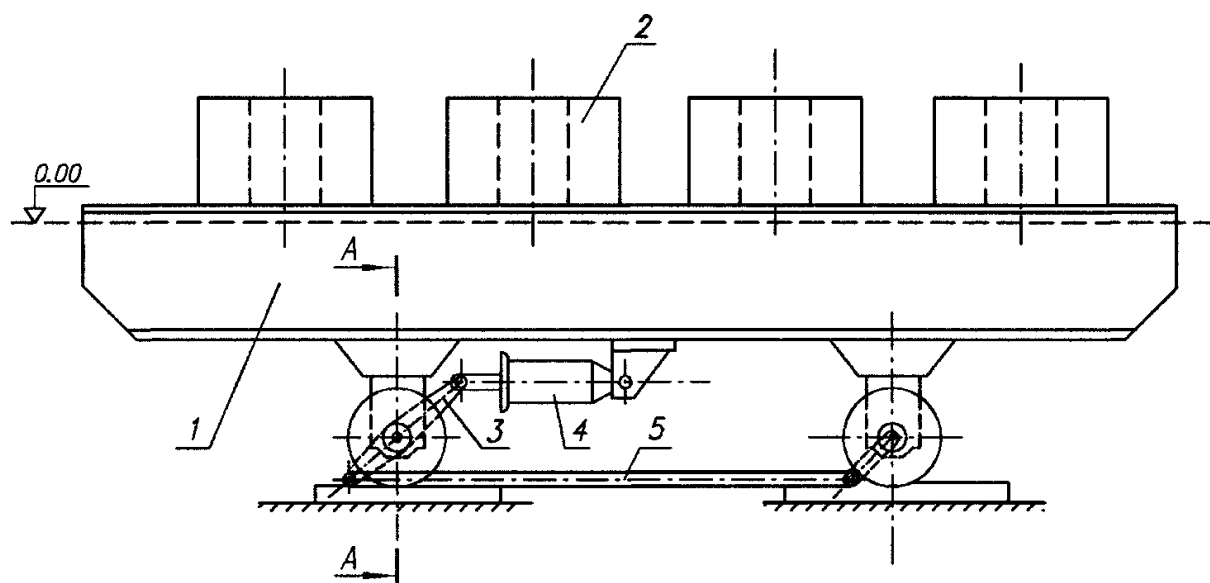


Рисунок 1 Схема механизма подъема балки грузоподъемностью 200 т

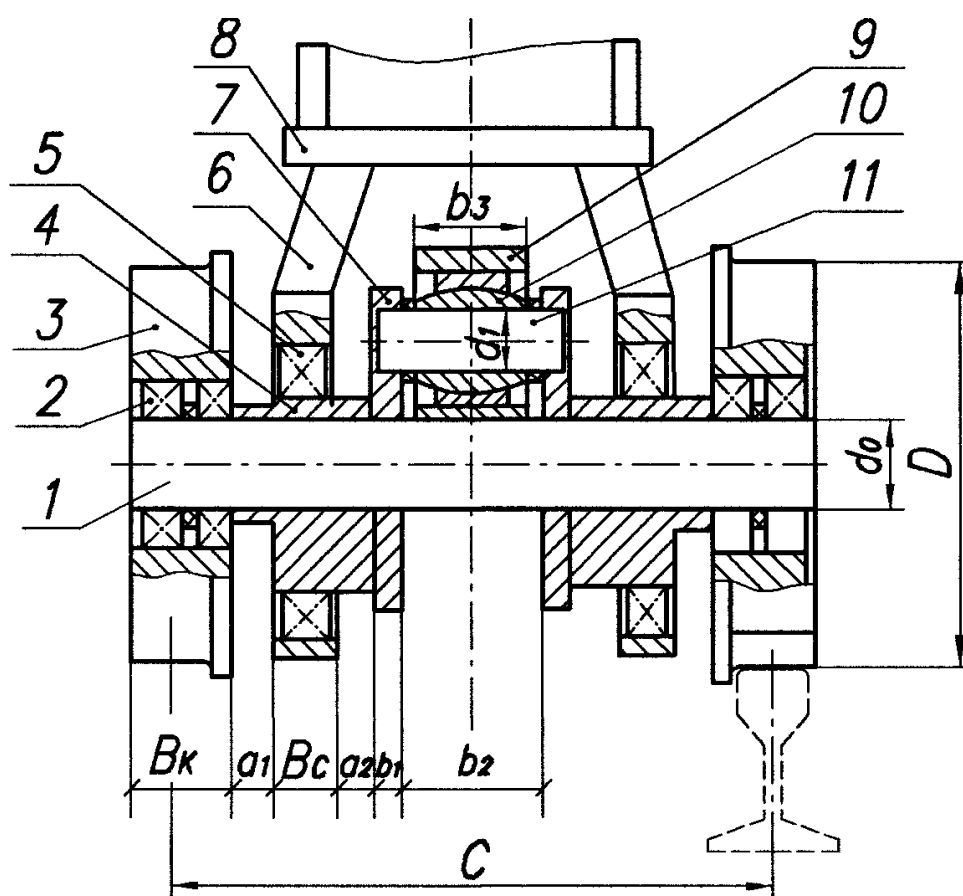


Рисунок 2 Структурная схема расположения деталей рычажно-эксцентрикового механизма подъема

**Изложение материалов исследований.**

После выбора состава и расположения оборудования производится определение размеров деталей в следующем порядке:

1. Определяется нагрузка на колесо

$$P_k = 1,2 \cdot z \cdot m \cdot g / 4 = 1,2 \cdot 4 \cdot 30000 \cdot 9,8 / 4 \approx 360 \text{ кН},$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий вес самой балки.

2. Определяется расчетная нагрузка на ходовое колесо

$$P_p = \kappa_n \cdot \kappa_v \cdot P_k = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 360 = 432 \text{ кН},$$

где  $\kappa_n$  — коэффициент, учитывающий неравномерное распределение нагрузки на одно колесо с плоским рельсом;  $\kappa_n = 1,2$ ;

$\kappa_v$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости движения;  $\kappa_v = 1,0 + 0,2 \cdot V \approx 1,0$ .

По расчетной нагрузке в справочнике по грузоподъемным машинам выбирается требуемый диаметр колеса  $D_k = 700$  мм с общей шириной обода  $B_k = 160$  мм.

Производится проверка колеса по удельному давлению

$$p = P_p / (D_k \cdot B_k) = 432000 / (700 \cdot 160) \approx 3,86 \text{ МПа} \leq [p] = 5,0 \text{ МПа}.$$

3. Рассчитывается нагрузка на подшипник, установленный в ходовом колесе

$$P_{подш} = P_p / n = 432 / 2 = 216 \text{ кН}.$$

По допустимой статической грузоподъемности  $C_0 = 280$  кН выбирается роликовый подшипник № 2232 с размерами  $D \cdot d \cdot B = 240 \cdot 160 \cdot 48$  мм. Таким образом, внутренний диаметр подшипника будет соответствовать диаметру оси ходовых колес  $d = 160$  мм.

4. Выполняется компоновка подшипников в ходовом колесе (рис. 3).

Для фиксации подшипников в колесе и на оси выбираются стопорные пружинные кольца.

5. Определяется радиус эксцентриситета втулки по следующим данным:

- высота подъема балки  $h = 60$  мм достигается поворотом эксцентриковой втулки на угол  $\alpha = 120^\circ$ ;

- транспортировку рулонов производят при уровне балки на  $h_1 = 40$  мм выше уровня пола, а возвращение балки в исходное положение — ниже уровня пола на  $h_2 = 20$  мм;

- для устойчивой транспортировки рулонов векторы сил веса балки и рулонов должны проходить через центр вращения ходовых колес.

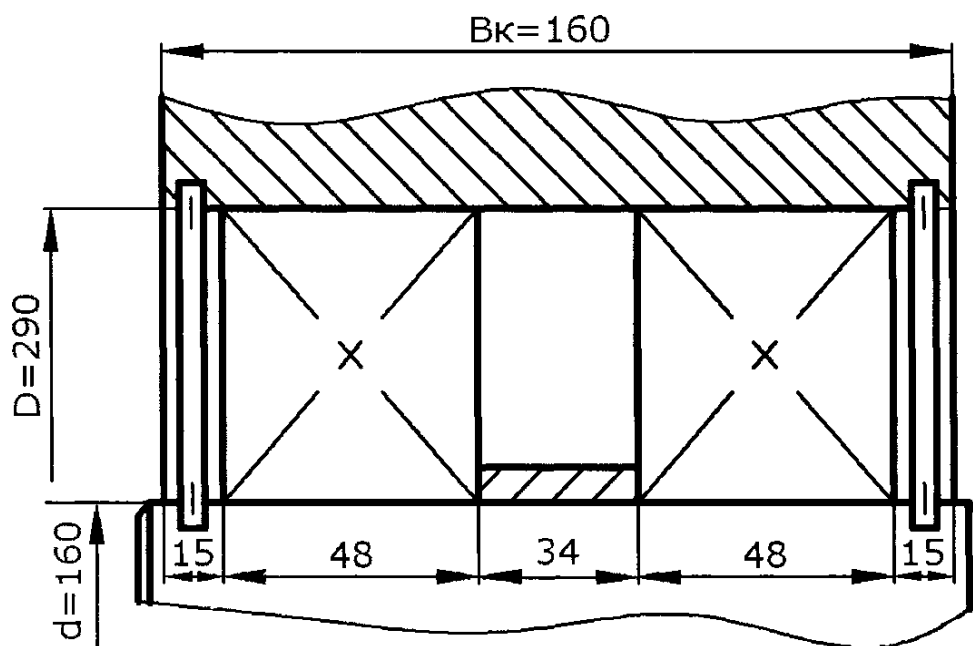


Рисунок 3 Установка роликовых подшипников № 2232 в ходовом колесе



Схема установки эксцентриковых втулок с рычагами на оси ходовых колёс приведена на рисунке 4.

Для определения радиуса эксцентриситета (рис. 5):

- строится окружность оси ходовых колёс  $d=160$  мм с системой координат в точке  $O$ ;

- по вертикали от точки  $O$  откладывается отрезок  $OA=h_1=40$  мм, что соответствует положению радиуса эксцентриситета  $r_3=40$  мм, когда балка находится над уровнем пола в устойчивом положении;

- радиусом  $r_3=40$  мм проводится дуга, равная углу поворота (опускания балки)  $\alpha=120^\circ$ . Точка  $A_1$  соответствует нижнему положению балки.

6. Определяется наружный диаметр эксцентриковой втулки, предназначенной для посадки опорного подшипника стойки балки.

Для определения наружного диаметра строится диаметр оси  $d=160$  мм (рис. 6). На вертикали выше точки  $O$  центра вращения отмечается точка  $A$  на расстоянии, равном радиусу эксцентриситета  $r_3=40$  мм.

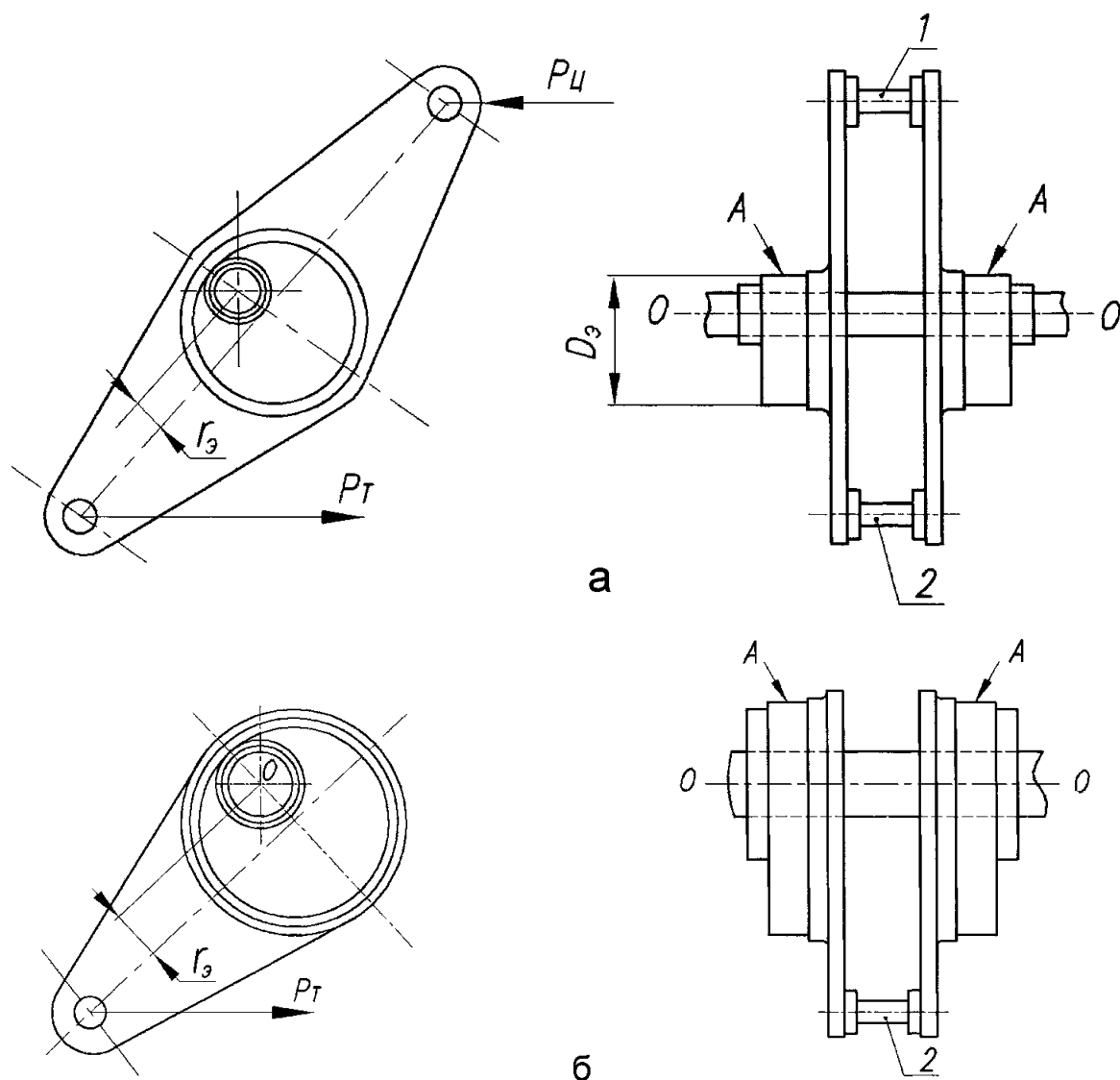


Рисунок 4 Схема установки эксцентриковых втулок с рычагами на оси ходовых колёс:

а – ведущие рычаги втулок; б – ведомые рычаги втулок;

1 – ось для штока гидроцилиндра; 2 – ось для соединительной тяги

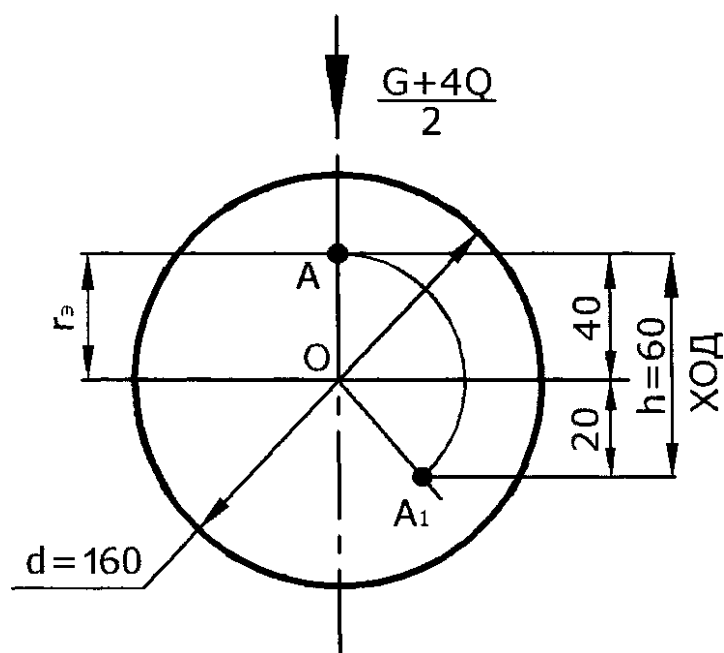


Рисунок 5 Схема к определению радиуса эксцентриситета для эксцентриковой втулки

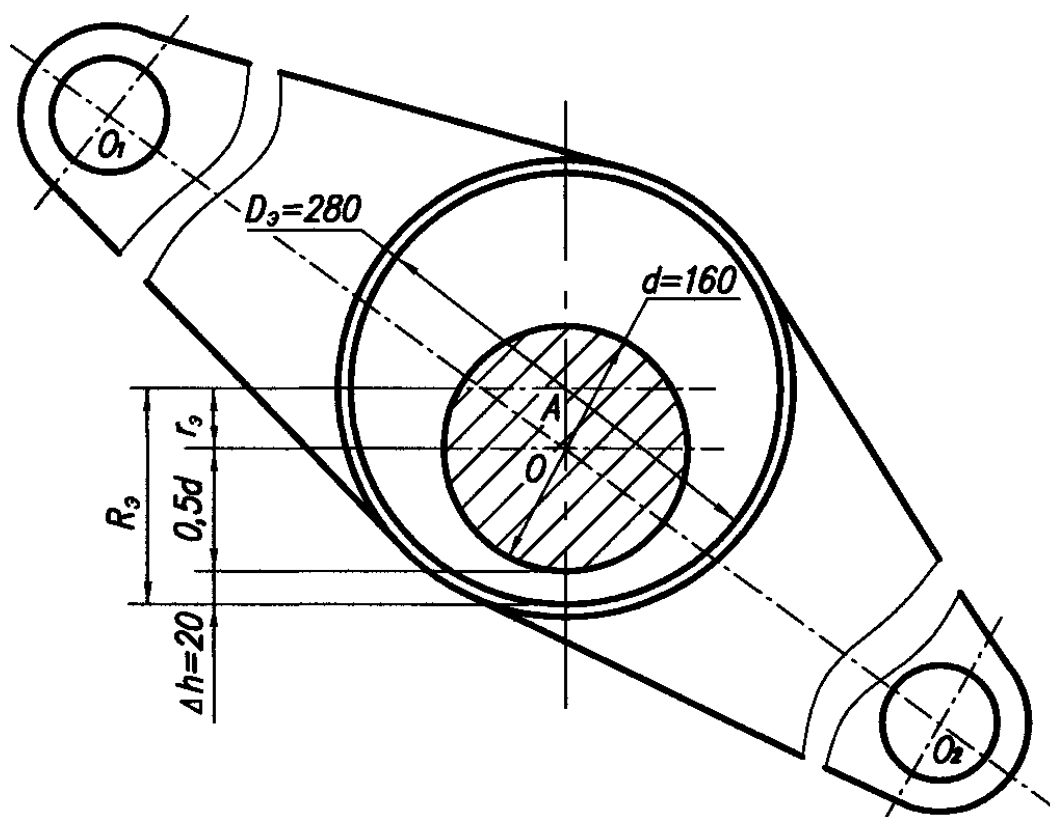


Рисунок 6 Схема для определения наружного диаметра эксцентриковой втулки

Принимается условие, что в самом тонком месте эксцентриковой втулки ее толщина  $\Delta h = 20$  мм. Тогда радиус наружного диаметра

$$R_3 = r_3 + 0,5 \cdot d + \Delta h = 40 + 0,5 \cdot 160 + 20 = 140 \text{ мм},$$

а наружный диаметр

$$D_3 = 2 \cdot R_3 = 2 \cdot 140 = 280 \text{ мм}.$$

7. Выбор подшипника с внутренним диаметром, равным  $D_3 = 280$  мм.

Для наружного диаметра, равного 280 мм, выбирается роликовый подшипник № 31356 с размерами  $D \times d \times B = 400 \times 280 \times 72$  мм.

Компоновка данного подшипника в стойке показана на рисунке 7.

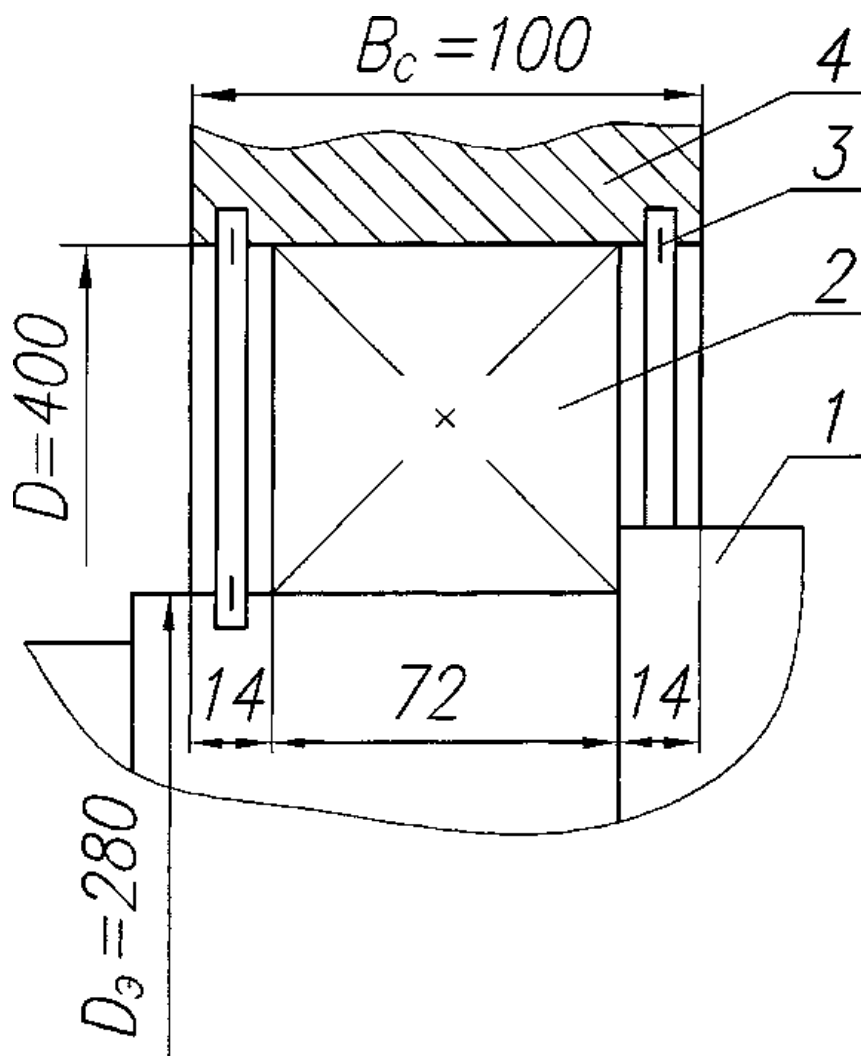


Рисунок 7 Схема установки подшипника № 31356

8. Выбор взаимного расположения рычага и радиуса эксцентрика.

Взаимное расположение радиуса и эксцентрика необходимо выбрать из условия, что при максимальном подъеме балки (рис. 8) радиус эксцентриситета  $r_3$  (звено  $AO$ ) должен находиться на вертикали, проходящей через центр (точка  $O$ ) вращения

ходовых колес, и совпадать с вектором сил веса балки и рулонов.

Также принимается условие, что ось гидроцилиндра в начале и в конце движения штока находится на линии, параллельной днищу балки.

Взаимное расположение рычага привода эксцентрика и радиуса эксцентрика

приведено на рисунке 8, где через точку  $O$  от вертикали проведены оси расположения ведущего и ведомого рычагов. под углом  $\alpha/2=120^\circ/2=60^\circ$  справа и слева

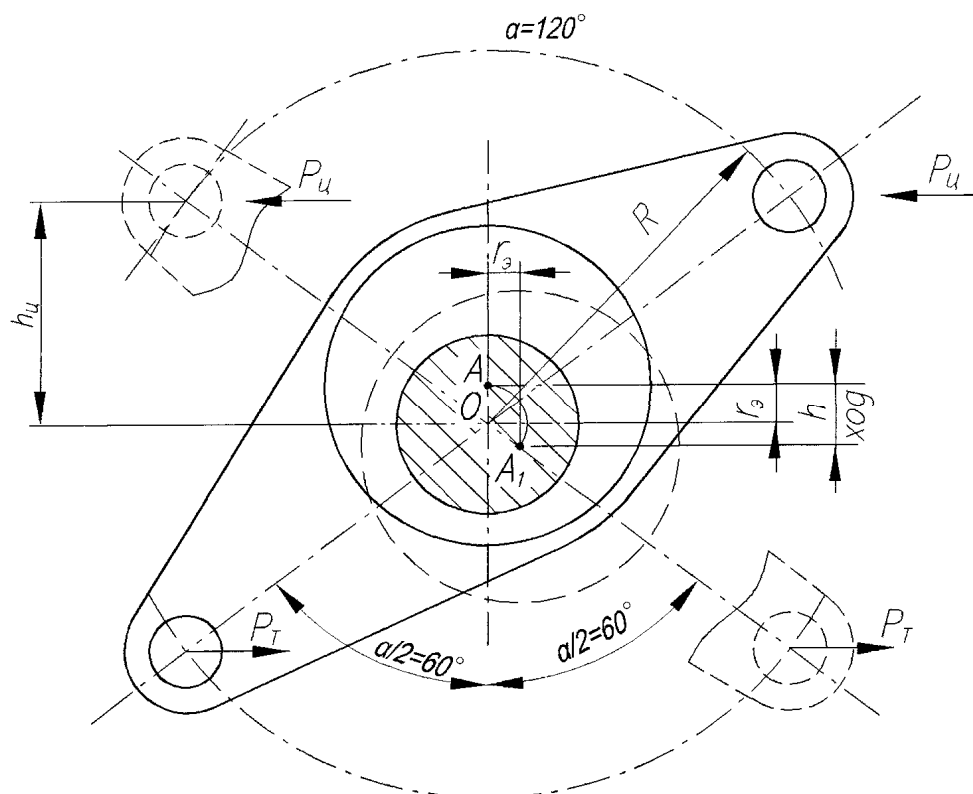


Рисунок 8 Схема взаимного расположения эксцентриковой втулки и рычагов цилиндра и тяги

### Выводы.

Величину радиуса ведущего и ведомого рычагов конструктор выбирает самостоятельно, с учётом того что при вертикаль-

ном положении рычагов головка штока гидроцилиндра не соприкасалась с днищем балки, например,  $R=350$  мм.

### Библиографический список

1. Жильцов, А. П. Обеспечение конструкторской подготовки студентов бакалавриата на основе комплекса методологически связанных дисциплин [Текст] / А. П. Жильцов, С. Ю. Галкин // Успехи современного естествознания. — 2014. — №2. — С. 113–115.
2. Жильцов, А. П. Основы проектирования узлов и механизмов металлургических машин [Текст] : учеб. пособие / А. П. Жильцов, П. Ф. Гахов, А. А. Харитоненко. — Липецк : изд-во ЛГТУ, 2013. — 157 с.

© Гахов П. Ф.

© Харитоненко А. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СИиИГ ЛГУ им. Даля Харламовым Ю. А.,  
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

**к.т.н. Гахов П. Ф., к.ф.-м.н Харитоненко А. А. (ЛДТУ, м. Липецьк, Росія)**

**МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВАЖІЛЬНО-ЕКСЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ КРОКУЮЧИХ БАЛОК ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 200 Т**

*Представлена методика проектування важільно-ексцентрикового механізму підйому кроківних балок, що входять до складу конвеєра зворотно-поступального типу. Обрана схема балки для транспортного конвеєра здатна транспортувати рулони широкосмугових станів між цехами і всередині цеху.*

**Ключові слова:** механізм підйому, важільно-ексцентриковий, кроківна балка, конвеєр, методика, розрахунки, компоновка, проектування.

**Ph.D. Gakhov P. F., Candidate of Physical and Mathematical Sciences Kharitonenko A. A. (LSTU, Lipetsk, Russia)**

**DESIGN TECHNIQUE FOR THE LEVER-ECCENTRIC MECHANISM OF THE WALKING BEAMS LIFTING WITH 200 T CARRYING CAPACITY**

*The design technique for the lever-eccentric mechanism of the walking beams lifting, which are part of the back-and-forth conveyor is presented. A beam scheme for a transport conveyor is selected to provide transporting the rolls from broadband rolling mills between the shops and inside the shop.*

**Key words:** lifting mechanism, lever-eccentric, walking beam, conveyor, technique, calculations, layout, design.

УДК 669.02.(07)

к.т.н. Бочаров А. В.  
(ЛГТУ, г. Липецк, Российская Федерация)

## ЗНАЧЕНИЕ ЦЕНТРОВКИ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Вибрация, возникающая в агрегатах, является одним из факторов, приводящих к нарушению исправного состояния механизмов. Исследования показывают, что одной из основных причин возникновения вибрации роторного оборудования является несоосность валов. Правильная центровка валов значительно повышает межремонтный интервал, снижает энергетические расходы и повышает конкурентоспособность продукции. Качество центровки зависит в большей степени от знаний и навыков специалиста по центровке, а не от стоимости и функциональности приборов, поэтому важно изучение основ центровки роторного оборудования с помощью механических методов центровки.*

**Ключевые слова:** механические методы центровки, центровка валов, вибрация, несоосность валов, увеличение межремонтного интервала.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Современное металлургическое производство представляет собой сложный комплекс организационных, технических, технологических, социальных проблем. Главной целью производственного процесса является получение высококачественной, отвечающей современным техническим и экологическим требованиям, продукции. Получение такой продукции предусматривает создание на производстве таких условий, которые минимизировали бы снижение работоспособности металлургических агрегатов в процессе работы, повышали их эффективность, приводили к снижению травматизма. Поэтому так важны постоянные совершенствования технологических процессов и стремление к минимизации издержек производства, особенно прямых производственных затрат [1].

### Анализ исследований и публикаций.

Непрерывный рост скорости производства продукции предъявляет высокие требования к работе механизмов, их надёжности и времени простоя [2].

Надёжность работы агрегатов в значительной мере определяется их вибрационным состоянием. Повышенная вибрация, возникающая вследствие некачественного изготовления, монтажа, ремонта или некачественной эксплуатации машин, является

источником всевозможных аварийных ситуаций и даже крупных аварий. Необходимо отметить, что вредные последствия даже умеренных вибраций имеют свойство накапливаться и проявляться в самой различной форме.

Необходимо отметить также отрицательное воздействие вибрации на обслуживающий персонал. Это воздействие определяется как повышенным уровнем шума, так и непосредственным, физиологическим действием вибрации на организм человека. Все эти обстоятельства предъявляют весьма жёсткие требования к нормированию вибраций [3].

### Цель (задачи) исследований.

Исследования показывают, что основная причина возникновения вибрации в роторных машинах — это проблема центровки. Несоосность — это один из самых больших источников чрезмерной вибрации машинного оборудования, который непосредственно связан с преждевременными выходами из строя этого оборудования.

Исследования, проведённые за последние двадцать лет в различных отраслях промышленности, показывают, что до 50 % всех выходов из строя роторных машин и оборудования напрямую связаны с плохой центровкой. Кроме того, более 90% роторов машин работают за пределами рекомендованных допусков [3].



Несоосность приводит к: возрастанию нагрузки на подшипники, сальники, посадочные места подшипников; увеличению потерь энергии; возрастанию вибрации; снижению объёма выпуска продукции; снижению качества продукции.

Несоосность также способствует преждевременному и повторяющемуся износу механических компонентов машинного оборудования. Она вызывает излишние силы, сокращающие срок службы подшипников. Несоосность действует по экспоненциальной зависимости, снижая срок службы подшипников. Удвоение нагрузки сократит срок службы подшипника до 1/8 его проектного срока. Срок службы роликовых подшипников сокращается по кубической зависимости от возрастающего усилия. 20% увеличение нагрузки на подшипник снизит срок службы на 50 % [4].

Несоосность валов роторного оборудования существенно влияет на срок службы уплотнений. Неудовлетворительное состояние центровки вызывает дополнительные нагрузки на сальники, которые неизбежно приведут к утечкам жидкости и проблемам со смазкой. Во многих случаях проблемы со смазкой — это только симптомы несоосности и могут быть легко предупреждены проведением регулярной центровки валов оборудования.

Конечно, воздействие несоосности на срок службы сальников различное, но выход их из строя после 30–50 % от расчётного срока службы — обычное дело. Замена уплотнений часто составляет заметную стоимость, которую можно сэкономить проведением своевременной точной центровки валов.

Часто проблемы несоосности пытаются решить с помощью использования специальных муфт. Тем не менее силы и трение, вызванные несоосностью, будут влиять на срок службы муфты. В зависимости от типа муфты, действие несоосности будет проявляться различными путями.

В гибких муфтах с резиновыми или пластиковыми втулками между двумя по-

лумуфтами центровка имеет значительное влияние на скорость износа этих элементов. Обычный симптом несоосности — небольшая горка резиновой или пластмассовой пыли под муфтой или под защитным кожухом.

Другой симптом — то, что муфта будет иметь значительно более высокую температуру, которую легко определить, когда машина будет остановлена, или с помощью тепловизоров и термограмм.

В зубчатых муфтах суммарная несоосность напрямую влияет на износ сопрягаемых зубьев. В условиях чрезмерной несоосности нагрузка на зуб будет сконцентрирована ближе к его краю. Это, в конце концов, приведёт к износу поверхности внутреннего зуба и заострению внешнего. Несоосность может быть также первопричиной проблем смазки в муфтовом соединении, которая в итоге приведёт к тому, что вовсе не будет смазки между зубьями. С этого момента зубья будут иметь прямой контакт металла с металлом и их износ быстро увеличится [5].

Существует много методов центровки, и в последнее время набирают популярность всевозможные автоматические системы (оптические лазерные ультразвуковые и др.), но для приобретения принципиального понятия, как снизить влияние расцентровки на работу механизмов в целом, важно научиться центровать валы роторных машин механическими методами.

#### **Изложение материалов исследований.**

Существует широкий спектр методов проведения центровки. Из простых методов наиболее распространены следующие (рис. 1).

Метод с использованием линейки и щупов.

Для проверки параллельного смещения валов, край линейки прикладывается к об разующей одной из полумуфт. При этом сопрягаемые валы должны совместно проворачиваться. Зазор между линейкой и другой полумуфтой измеряется набором щупов. Замеры производятся в противоположных горизонтальных и вертикальных

точках. Угловую несоосность измеряют конусными калибрами, штангенциркулем, набором щупов и т. д. Измерения производят в диаметрально противоположных точках. Разница в зазорах используется для определения относительного наклона валов. Преимущество данного метода: простота, непосредственное измерение, при ограниченном доступе может быть использован для тонких муфт.

Радиально-осевой метод. Два индикатора крепятся на валу стационарной машины; одним индикатором проводят измерения по ободу полумуфты подвижной машины для определения смещения вала, другим – измерения на фланце полумуфты в осевом направлении, чтобы определить угловое положение вала. Основные препятствия для использования метода: прогиб выносных элементов, что ограничивает расстояние для измерений и отсутствие доступа к фланцу из-за конструкции муфтового соединения, при этом процесс корректировки — многоступенчатый, а осевые перемещения вала напрямую влияют на результат измерения, и для оценки результата необходимо повторное измерение. Основным преимуществом является то, что в ограниченном пространстве только этим методом можно выполнить центровку.

Метод обратных индикаторов. Центровка валов этим методом предполагает измерения по окружности муфтового соединения в двух точках, что позволяет определить смещение валов. Угловое положение вала определяется наклоном между

измеренными смещениями валов в двух точках. Главным преимуществом метода является получение информации о смещении и об угловом положении валов, что обеспечивает простой расчёт и графическое построение положения валов при центровке. Увеличение расстояния между точками измерения приводит к увеличению точности углового положения валов. На коротком расстоянии этот метод уступает радиально-осевому методу [5].

Несоосность в муфтовом соединении, где мощность передаётся от привода к приводной машине, порождает вибрацию и разрушающие усилия. Следовательно, это именно то место, где необходимо проверять состояние центровки. Все вышеприведённые методы имеют общее то, что измерения проводятся на валах или полумуфтах. Значения корректировок же даются применительно к лапам машины.

Положения лап должны быть рассчитаны, чтобы сделать правильные перемещения. Если это не осуществимо, успех будет зависеть от навыков того, кто производит центровку, и удачи, потребуется множество перемещений, а точность будет сомнительной [6].

На сегодняшний день существует серьёзная проблема стандартизации норм расцентровки роторного оборудования. Не существует норм для российского оборудования, строго установленных ГОСТом. Поэтому стараются использовать допуски, рекомендованные производителями исследовательского оборудования [5].

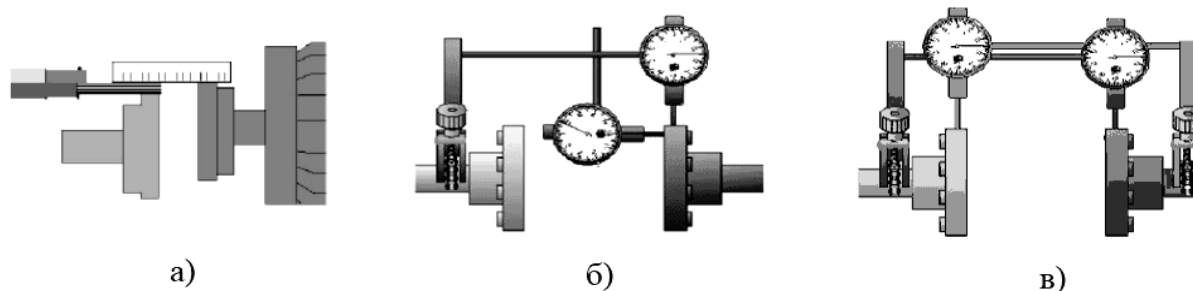


Рисунок 1 Механические методы центровки: а) с использованием линейки и щупов; б) радиально-осевой метод; в) метод обратных индикаторов

Центровка валов — это процесс определения относительного положения двух или более осей роторов машин, регулировка их положения в пространстве так, чтобы центры вращения их валов были соосны.

Несоосность бывает параллельная и угловая (рис. 2). При параллельной несоосности оси вращения сопрягаемых валов равноудалены во всех точках измерения. Понятие «параллельная несоосность» может быть заменено понятием «смещение».

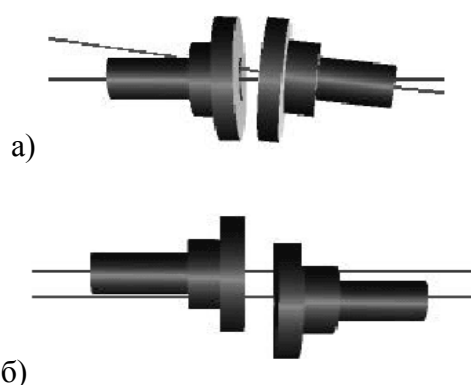


Рисунок 2 Виды несоосности: а) угловая, б) параллельная

При угловой несоосности оси вращения валов находятся под углом друг к другу. В подавляющем большинстве случаев оба типа несоосности имеют место одновременно [6].

Во время центровки двух машин одну из них определяют как стационарную, обычно это приводные машины (редуктор, насос и т. д.), другую считают подвижной машиной, чаще всего это приводы (электродвигатель и т. д.).

Центр вращения стационарной машины — это опорная линия, принятая за ноль. Несоосность определяется нахождением положения центра вращения подвижной машины относительно стационарной машины в двух плоскостях: горизонтальной (X) и вертикальной (Y).

Центр вращения стационарной машины — опорная линия. В системе координат плюс — это направление вправо по горизонтали и вверх по вертикали. Символы показывают часовые значения, соот-

ветствующие 9-и и 3-м часам по оси X и 12-и и 6-и часам по оси Y (рис. 3) [7].

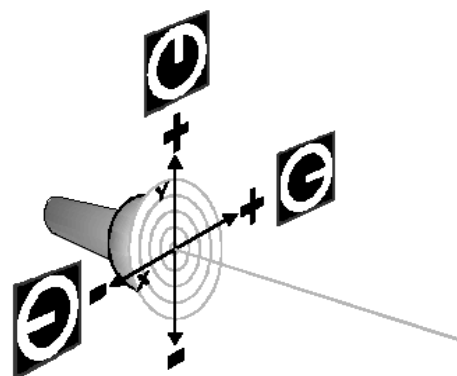


Рисунок 3 Центр вращения стационарной машины

Различают вертикальную и горизонтальную центровки. Состояние несоосности при виде сверху, корректируемое перемещением машины в боковом направлении, называется горизонтальной центровкой. При горизонтальной центровке несоосность регулируемых машин устраняется путём перемещения механизма в боковом направлении. Состояние несоосности при виде сбоку, корректируемое калиброванными пластинами или самовыравнивающимися элементами под передние и задние лапы машины, относится к вертикальной центровке. При вертикальной центровке положение валов корректируют путём подкладывания калиброванных пластин под задние и передние лапы машины [5].

Смещение — это отклонение положения от известной опорной точки. Смещения характеризуются величиной и направлением отклонения. При центровке валов смещением называют отклонение оси вращения одного вала относительно другого в заданной точке (или плоскости) вдоль его длины.

На рисунке 5 показано:

- смещение относится к оси вращения вала подвижной машины относительно вала стационарной;
- в точке 1 ось вращения подвижного вала расположена на 0,35 мм ниже;

- в точке 2 ось вращения подвижного вала расположена на 0,12 мм ниже;
- в точке 3 ось вращения подвижного вала расположена на 0,05 мм выше;
- в точке 4 ось вращения подвижного вала расположена на 0,38 мм выше.

Важно запомнить, что цель центровки – сделать оси вращения обоих валов соосными так, чтобы исключить смещение во всех точках по длине вала.

Угловую несоосность проще определять как угловое взаиморасположение осей вращения двух валов (рис. 6). В большинстве примеров, связанных со смещением,

опорный вал изображают параллельно (хотя это довольно редкая ситуация) для простоты восприятия. Поскольку два вала редко бывают параллельны, в нашем примере подвижный вал изображён наклонённым по отношению к опорному валу.

Наклон может быть просто оценён сначала определением разницы между смещениями вала, измеренными в двух плоскостях, ортогональных линии опорного вала, (смещение 1 – смещение 2) и делением этой разницы на расстояние между точками пересечения этих плоскостей с линией вала [6].

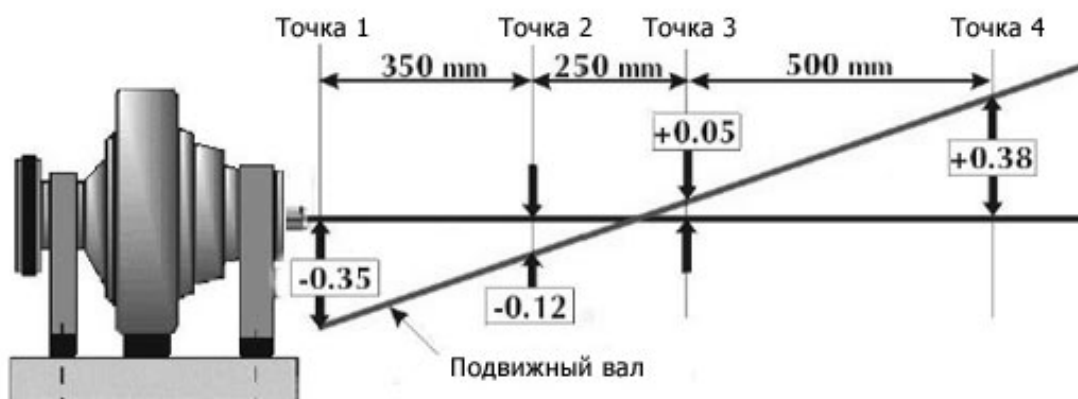


Рисунок 5 Смещение вала. Отклонение оси вращения одного вала относительно оси вращения другого в заданной точке (или плоскости) по длине вала

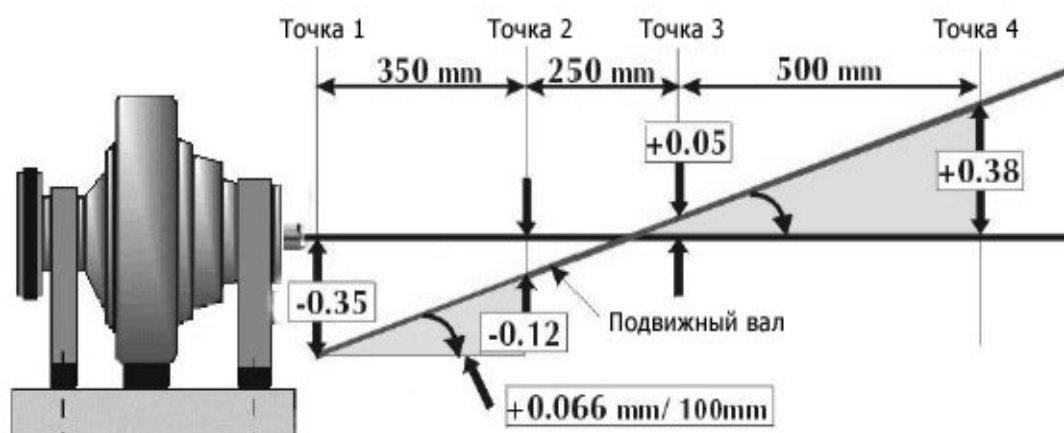


Рисунок 6 Угловая несоосность. Угловое взаимоположение осей двух валов

Задачи центровки различны по объёму: от периодических проверок до полной установки машины. Очевидно, если задача просто собрать данные об агрегате, как она есть, не обязательно проводить всю детальную процедуру, которая требуется при установке нового или отремонтированного оборудования. Хотя для проведения центровки всегда выделяются три основных этапа.

**Предварительный этап.** Во время этого этапа планируется работа и проводятся предварительные проверки, которые помогут пройти дальнейшим этапам более гладко. В основном предварительный этап включает уточнение термических расширений, выбор метода центровки, отключение оборудования, проверку боя валов и полумуфт, проверку наличия и корректировки «мягкой лапы», а также другие предварительные процедуры.

**Этап грубой центровки.** На этом этапе не существует правил, как точно нужно выполнять операции до применения точной центровки или какой из методов должен быть использован для точной центровки. Многое зависит от самих машин и опыта человека, выполняющего центров-

ку. При выполнении этого этапа необходимо узнать, насколько оси валов не совпадают друг с другом, для оценки допустимости дальнейшего этапа точной центровки.

**Этап точной центровки.** Это заключительная стадия центровки. Достижение высокой точности центровки обычно возможно с использованием индикаторов часового типа или лазерной системой. К концу этого этапа необходимо убедиться, что валы машин хорошо отцентрованы в определённом диапазоне допусков. Во время этого этапа потребуются очень точные и эффективные приспособления или приборы для определения состояния центровки и проведения корректировок [5].

#### **Выводы.**

В реалиях современного металлургического предприятия инженеры-механики высокого уровня, обязаны обладать навыками центровки различной сложности, так как это позволит значительно снизить энергетические затраты при производстве продукции и повысить долговечность дорогостоящего оборудования за счёт снижения потерь на трение и вибрации и увеличения межремонтного периода.

#### **Библиографический список**

1. Жильцов, А. П. *Металлургические технологии и комплексы* [Текст]: учеб. пособие для ВУЗов / А. П. Жильцов. — Липецк : изд-во ЛГТУ, 2013. — 142 с.
2. Жильцов, А. П. *Основы проектирования узлов и механизмов металлургических машин* [Текст] : учеб. пособие для ВУЗов / А. П. Жильцов. — Липецк : изд-во ЛГТУ, 2013. — 128 с.
3. Коллакот, Р. А. *Диагностирование механического оборудования* [Текст] / Р. А. Коллакот. — Л. : Судостроение, 1980. — 296 с.
4. Соловьёв, А. Б. *Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования* [Текст] / А. Б. Соловьёв, А. Р. Ширман. — М. : Машиностроение, 1996. — 276 с.
5. Крутиков, В. Н. *Основы центровки промышленного оборудования* [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Крутиков. — Санкт-Петербург : Baltech, 2013. — 89 с.
6. Жильцов, А. П. *Совершенствование навыков по лазерной центровке валопроводов с помощью учебного стенда* [Текст] / А. П. Жильцов, А. В. Бочаров, Ю. Ю. Иноземцев // *Успехи современного естествознания*. — М. : изд. дом «Академия Естествознания», 2014. — № 12. — С. 123–125.
7. Жильцов, А. П. *Изучение основ центровки валов роторных машин с помощью специального стенда* [Текст] / А. П. Жильцов, А. В. Бочаров, Ю. Ю. Иноземцев // *Успехи современного естествознания*. — М. : изд. дом «Академия Естествознания», 2014. — № 12–2. — С. 89–91.

© Бочаров А. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СИиИГ ЛГУ им. Даля Харламовым Ю. А.,  
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.*

*Статья поступила в редакцию 27.01.17.*

**к.т.н. Бочаров А. В.** (ЛДТУ, м. Липецк, Российская Федерация)

### **ЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУВАННЯ РОТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СУЧАСНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Вібрація, що виникає в агрегатах, є одним з факторів, що призводять до порушення справного стану механізмів. Дослідження показують, що однією з основних причин виникнення вібрації роторного обладнання є неспіввісність валів. Правильне центрування валів значно підвищує міжремонтний інтервал, знижує енергетичні витрати і підвищує конкурентоспроможність продукції. Якість центрування залежить більшою мірою від знань і навичок фахівця з центрування, а не від вартості і функціональності приладів, тому важливим є вивчення основ центрування роторного обладнання за допомогою механічних методів центрування.*

**Ключові слова:** механічні методи центрування, центрування валів, вібрація, неспіввісність валів, збільшення міжремонтного інтервалу.

**PhD Bocharov A. V.** (Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation)

### **IMPORTANCE OF ROTATING EQUIPMENT ALIGNMENT FOR PRESENT-DAY METALLURGICAL INDUSTRY**

*Vibration in aggregates is one of the factors that cause failure of mechanisms' operative condition. The investigations show that one of the main reasons for appearing vibration of rotating equipment is misalignment of shafts. The correct shafts alignment significantly increase overhaul period, reduce energy consumption and enhance product competitiveness. The quality of alignment mainly depends on knowledge and skills of line-up expert rather than cost and purposefulness of devices, so it is important to study the principles of rotating equipment alignment using the mechanical alignment methods.*

**Key words:** mechanical alignment methods, alignment of shafts, vibration, misalignment of shafts, increasing the overhaul period.

УДК 669: 628.16.06

к.т.н. Чебан В. Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## МЕТОД РАСЧЕТА ШАРОВОГО ОЧИСТИТЕЛЯ

*Приведен метод расчета гидродинамического очистителя жидкостей от твердых загрязнений с напорным каналом, образованным двумя неподвижными шаровыми поверхностями.*

**Ключевые слова:** шаровой очиститель, фильтроэлемент, продольная скорость, входная скорость, сливная скорость.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Металлургические предприятия в силу своей специфики производства относятся к категории потребителей, имеющих высокую потребность в технической воде. Применение новых технологий и технологического оборудования, возникающие задачи по повышению надежности и эффективности работы существующего оборудования предъявляют все более высокие требования к качеству этой воды. Этого невозможно достичь без применения современных средств ее очистки. Гидродинамические очистители находят все более широкое применение для очистки технической воды на металлургических предприятиях.

Гидродинамическая очистка жидкостей характеризуется не только технологическими особенностями, но и наличием широких возможностей ее реализации в средствах различного типа, которые, в свою очередь, различаются друг от друга наличием набора поверхностей, образующих напорные каналы для осуществления процесса очистки жидкости вообще, как, например, в мембранных аппаратах, или от твердых загрязнений в частности. Такими поверхностями являются плоские [1], конические [2], шаровые [3], цилиндрические (причем последние могут быть как круговыми [4], так и грушеобразными в сечении [5]), а также их комбинации [6]. В начале 21-го века на металлургических предприятиях Украины и России наиболее полно зарекомендовали себя гидродинамические очистители жидкости с круговыми цилиндрическими поверхностями

[7], хотя по ряду параметров они уступают шаровым очистителям.

Наличие у шаровых очистителей жидкости ряда убедительных преимуществ перед остальными делает их наиболее перспективными [8]. Особенно это выражено у шарового очистителя жидкости с лукообразной боковой поверхностью фильтроэлемента, обеспечивающей максимальное его приближение к идеальному очистителю жидкости от твердых загрязнений. Но, к сожалению, отсутствие на данный момент достаточной технической информации о них сдерживает их применение.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является расширение теоретической базы по шаровому очистителю и ознакомление заинтересованных потребителей с методом расчета подобных очистителей.

**Изложение материала и его результаты.** Работа шарового очистителя основана на реализации гидродинамического способа очистки жидкости от механических примесей, часто называемого тангенциальной очисткой. В общем случае это означает, что вектор продольной скорости жидкости вдоль фильтрующей поверхности и вектор скорости ее фильтрации через эту же поверхность перпендикулярны. В конкретном же случае тангенциальная очистка заключается в том, что в очистителе вокруг проникаемой шарообразной поверхности фильтроэлемента 3 (см. рис. 1) формируют движение загрязненной жидкости в направлении от входного патрубка 4 к входу в сливной патрубок 6 таким образом, что продольная скорость  $v_{np}$



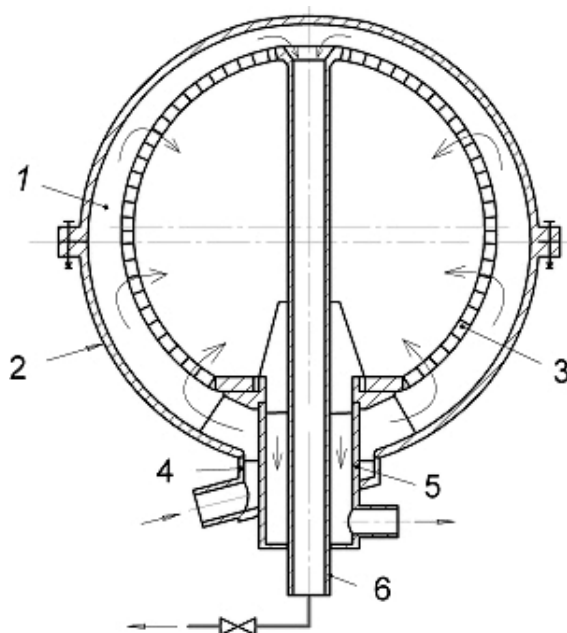


Рисунок 1 Самоочищающийся шаровой очиститель

в напорном канале 1, образованном внутренней непроницаемой поверхностью шарообразного корпуса и наружной проницаемой поверхностью фильтроэлемента 3, всегда больше скорости  $v_0$  фильтрации через проницаемую поверхность. Превышение продольной скорости должно быть таким, чтобы обеспечить безусловное продвижение твердых загрязнений от входа напорного канала 1 шириной  $h_n$  до его выхода шириной  $h_k$  и не дать загрязнениям возможности проникнуть через перфорации проницаемой поверхности фильтроэлемента, даже если их диаметр будет больше максимально допустимого в фильтрате диаметра частиц загрязнения. Под понятиями входа и выхода напорного канала 1 подразумеваются начало и конец проницаемой части фильтроэлемента 3 в направлении потока жидкости.

Очевидно, что чем большее отношение  $i = \frac{v_{np}}{v_0}$ , тем выше степень регенерации.

Однако после достижения некоторого значения этого отношения дальнейшее увеличение степени регенерации мало или совсем не наблюдается. При этом происходит рез-

кое увеличение потери давления и расхода жидкости со сливом и снижение эффективности ее очистки. Поэтому, чтобы избежать лишних потерь и не навредить процессу регенерации, для каждого конкретного случая опытным путем на стендах или в производственных условиях устанавливается рациональное значение отношения  $i$ . Известно, что абсолютно чистых жидкостей в природе не существует и условно принято, что жидкость считается чистой, если размер имеющихся в ней механических примесей не влияет столь отрицательно на ее основное предназначение. В связи с этим очистка жидкости ведется от заранее известного максимального диаметра  $d_{max}$  загрязнения до максимально допустимого в фильтрате диаметра частиц загрязнений, называемого степенью очистки.

Скорости жидкости на входе в напорный канал и на выходе из него, соответственно называемые входной и сливной, являются контролируемыми параметрами и могут быть по величине как одинаковыми, так и разными. В тоже время продольная скорость жидкости в напорном канале изменяется по особому закону, детально изложенному в

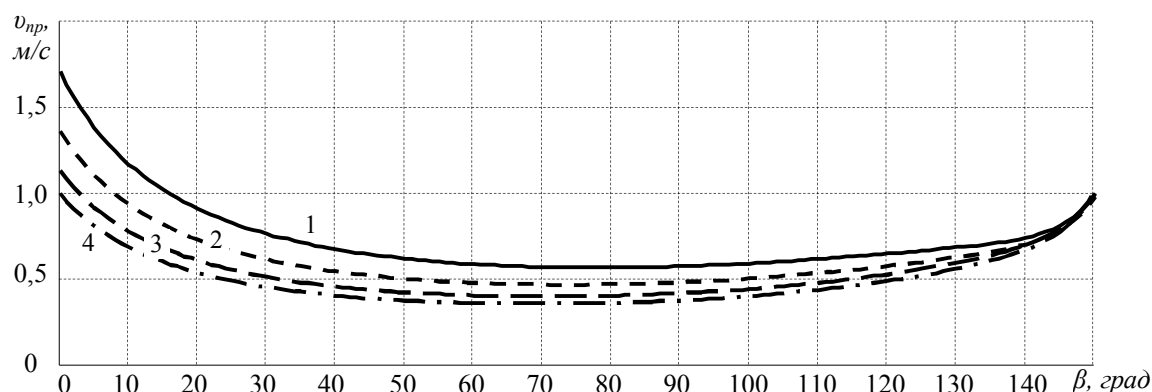


Рисунок 2 Скоростные режимы жидкости в напорном канале шарового очистителя

работе [9], и является неконтролируемым параметром. В связи с этим данный метод расчета изложен с учетом особенностей скоростного режима жидкости в напорном канале шарового очистителя.

Одна из особенностей состоит в том, что на определенной длине напорного канала продольная скорость жидкости становится меньше ее контролируемой сливной скорости. Чем меньше разница между входной и сливной скоростями, тем больше происходит снижение продольной скорости по сравнению со сливной. Наибольшее снижение наблюдается в том случае, когда входная и сливная скорости жидкости имеют одинаковое значение. Более наглядно это видно из рисунка 2. Так как в напорном канале очистителя значения продольной скорости жидкости, кроме входной и сливной, являются неконтролируемыми, то использование минимального их значения возможно лишь в сравнении с контролируемой скоростью, в данном случае с входной или сливной. Из рисунка 2 очевидно, что продольная скорость жидкости на участке от  $\beta = 20^\circ$  до  $\beta = 130^\circ$  носит более или менее стабильный характер. Это наблюдается в случае, когда входная и сливная скорости имеют практически одинаковые значения. При этом минимальное значение продольной скорости максимум в 3 раза меньше значения входной и сливной. По сути, это наибо-

лее рациональный режим очистки по потерям давления и расходу жидкости. Но отношение  $i = \frac{v_{np}}{v_0}$ , характеризующее

надежность работы очистителя, принимается из условия, что предварительно определенная опытным путем продольная скорость  $v_{np}$  имеет минимальное значение, например, при угле  $\beta = 70^\circ$ . Следовательно, чтобы получить его на длине напорного канала данного очистителя при постоянной скорости фильтрации, нужно, чтобы входная и сливная скорости были значительно большими по значению. При этом важно знать, в каком очистителе проводились опыты по определению минимально допустимого значения продольной скорости жидкости в напорном канале. Если при опытах использовался шаровой очиститель того же типа, что и исследуемый, то упоминаемого увеличения входной и сливной скоростей не следует делать. Если это имело место в очистителе другого типа, не имеющего иного минимального значения продольной скорости, кроме как сливной, то увеличение сливной скорости в данном случае обязательно и после этого она принимается в дальнейшем расчете как известная, то есть минимально допустимая сливная скорость жидкости из напорного канала. Таким образом, функция контроля значения оптимальной продольной скорости возложена на сливную скорость.

Расход загрязненной жидкости, необходимый для непрерывной саморегенерации фильтрующей поверхности, напрямую зависит от значения сливной скорости и площади выходного сечения напорного канала, в котором важную роль играет его ширина  $h_k$ . Объясняется это тем, что значение ширины канала ограничивает максимально возможный диаметр  $d_{max}$  частички твердого загрязнения в очищаемой жидкости, т. е. на входе в очиститель, и определяет возможность использования данного очистителя. Известно, что в напорном канале ширина выходного сечения определяется из условия  $h_k = (1,15 \div 1,5) \cdot d_{max}$  и в дальнейшем считается известной.

Расчет очистителя в основном сводится к последовательному расчету параметров шарообразного фильтроэлемента и шарообразного корпуса. Но к этому приступают только после предварительного расчета других его элементов, а именно, входных, выходных и сливных патрубков, размеры которых оказывают влияние на основные параметры очистителя. Предварительный расчет этих элементов известен и не требует дополнения, поэтому, считая далее

параметры этих элементов известными, можно приступить к основному расчету. Для этого примем схему расчета, представленную на рисунке 3.

Углы  $\alpha$  и  $\gamma$ , влияющие на высоту фильтроэлемента и длину его боковой поверхности, определяются по результатам предварительного расчета диаметров входного 4, выходного 5 и сливного 6 патрубков (рис. 1). В основном расчете значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$  считаются известными величинами.

Установив значения сливной скорости  $v_k$ , скорости фильтрации  $v_0$ , ширины выходного сечения напорного канала  $h_k$  и углов  $\alpha$  и  $\gamma$ , произведем расчет по определению основных конструктивных параметров фильтроэлемента.

Общая проницаемая поверхность фильтроэлемента состоит из проницаемой и непроницаемой ее частей, при этом проницаемая часть представляет собой живое сечение, которое при заданных значениях количества фильтрата  $Q_0$  и скорости фильтрации  $v_0$  составит  $S_0 = Q_0 / v_0, \text{ м}^2$ .

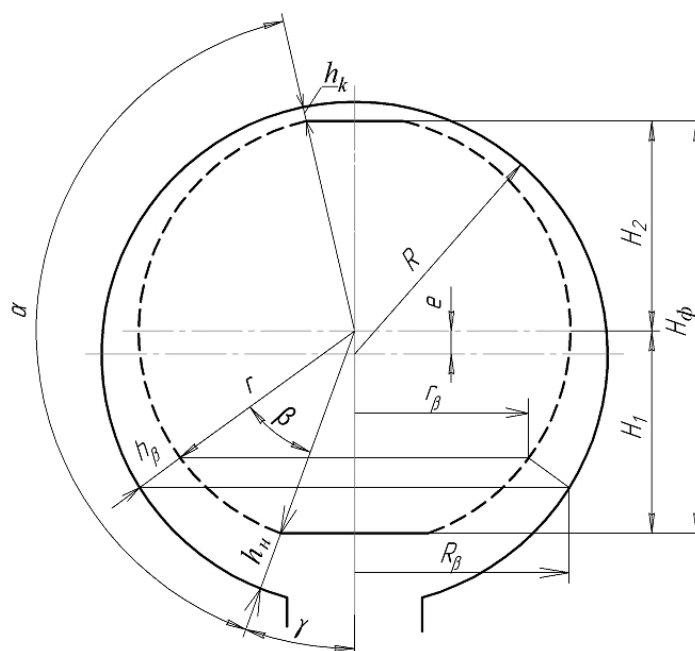


Рисунок 3 Схема расчета шарового очистителя

Анализ рабочих проектов ряда внедренных гидродинамических очистителей показал, что наиболее рациональное значение скорости фильтрации через металлическую сетку находится в пределах  $v_0 = 0,05 \div 0,3$  м/с. Если имеется резерв по давлению и количеству сливаемой жидкости, скорость фильтрации можно принять и выше (если размеры входного, выходного и сливного патрубков позволяют это сделать). При этом можно достичь уменьшения размеров очистителя и его стоимости.

Живое сечение, например, сетчатых фильтроэлементов, в свою очередь, определяется живыми сечениями его корпуса  $K_k$  и охватывающей его стандартной сетки  $K_c$  и равно

$$K_0 = K_k \cdot K_c.$$

В известных очистителях оно находится в пределах  $K_0 = 0,25 \div 0,85$ .

При известных  $S_0$  и  $K_0$  общая площадь боковой поверхности любого фильтроэлемента будет равна

$$S_\phi = S_0 / K_0, \text{ м}^2.$$

Так как фильтроэлемент имеет вид шарового пояса высотой

$$H_\phi = H_1 + H_2 = r \cdot [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)], \text{ м}$$

и боковой поверхностью площадью

$$S_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot [\cos(\gamma) - \cos(\gamma + \alpha)], \text{ м}^2,$$

то общую боковую поверхность можно считать известной и равной

$$S_0 = S_\phi \cdot K_0 = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot [\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)] \cdot K_0, \text{ м}^2,$$

где  $r$  — радиус фильтроэлемента, м.

Отсюда радиус шарообразного фильтроэлемента равен

$$r = \sqrt{\frac{S_0}{K_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot [\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)]}}, \text{ м}.$$

На этом расчет фильтроэлемента заканчивается и начинается расчет остальных параметров очистителя.

Из рисунка 3 очевидно, что сечение напорного канала представляет собой боковую поверхность усеченного конуса с радиусами оснований  $r_\beta$  и  $R_\beta$  и образующей  $h_\beta$ , площадь которой равна

$$F_\beta = \pi \cdot h_\beta \cdot (r_\beta + R_\beta), \text{ м}^2,$$

тогда при  $r_\beta = r \cdot \sin(\gamma + \beta)$  и

$R_\beta = (r + h_\beta) \cdot \sin(\gamma + \beta)$  площадь напорного канала в сечении, определяемом углом  $\beta$ , и переменной шириной  $h_\beta$  равна

$$F_\beta = \pi \cdot h_\beta \cdot \sin(\gamma + \beta) \cdot (2r + h_\beta), \text{ м}^2.$$

Следовательно, площадь напорного канала на входе равна

$$F_n = \pi \cdot h_n \cdot \sin(\gamma) \cdot (2r + h_n), \text{ м}^2,$$

а на выходе

$$F_k = \pi \cdot h_k \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k), \text{ м}^2.$$

Так как в этом выражении все величины известны, то при заданной сливной скорости  $v_k$  расход жидкости на сливе составит

$$Q_2 = F_k \cdot v_k, \text{ м}^3 / \text{с},$$

а расход жидкости на входе в очиститель

$$Q_1 = F_n \cdot v_n = Q_0 + Q_2 = Q_0 + F_k \cdot v_k, \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Отношение этих расходов

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{F_n \cdot v_n}{F_k \cdot v_k}.$$

$$\text{При } \frac{Q_1}{Q_2} = n \quad \text{и} \quad \frac{v_n}{v_k} = m$$

$$n = \frac{Q_1}{Q_2} = m \cdot \frac{F_n}{F_k} =$$

$$= m \cdot \frac{\pi \cdot h_n \cdot \sin \gamma \cdot (2r + h_n)}{\pi \cdot h_k \cdot \sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k)},$$

ширина в начале напорного канала

$$h_n = \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k)}{\sin \gamma \cdot (2r + h_n)}, \text{ м}$$

или

$$h_n(2r + h_n) = \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha) \cdot (2r + h_k)}{\sin \gamma}.$$

Добавив в левую часть этого уравнения  $+r^2$  и  $-r^2$ , получим

$$h_n = \sqrt{r^2 + \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - r, \text{ м.}$$

Известно [9], что наименее затратным является очиститель, в котором входная и сливная скорости жидкости в напорном канале одинаковые, то есть когда  $v_n = v_k$ , тогда, именно в этом случае,  $m = 1,0$ , а

$$h_n = \sqrt{r^2 + n \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - r, \text{ м.}$$

Из работы [9] очевидно, что расчетная схема исследуемого в ней очистителя с круговыми поверхностями не отличается от расчетной схемы шарового очистителя. Поэтому для нахождения эксцентриситета  $e$  используем достаточно обоснованное в ней выражение для определения изменения ширины напорного канала вдоль него в зависимости от угла  $\beta$ :

$$h_\beta = R - r + e \cdot \cos(\gamma + \beta), \text{ м,}$$

откуда ширина напорного канала, соответственно, в его начале и конце составит

$$h_n = R - r + e \cdot \cos \gamma,$$

$$h_k = R - r + e \cdot \cos(\gamma + \alpha).$$

Мы получили два уравнения с двумя неизвестными. Из первого уравнения, выразив радиус корпуса  $R$  как

$$R = r + h_n - e \cdot \cos \gamma, \text{ м,}$$

подставим его во второе уравнение. Получим выражение для определения величины эксцентриситета:

$$e = \frac{h_n - h_k}{\cos \gamma - \cos(\gamma + \alpha)}, \text{ м.}$$

Зная радиус  $r$  фильтроэлемента, ширину  $h_k$  выхода из напорного канала и эксцентриситет  $e$ , из выражения  $R = r + h_n - e \cdot \cos \gamma$  находим радиус  $R$  внутренней поверхности шарообразного корпуса очистителя при одинаковых значениях входной и сливной скоростей:

$$R = \sqrt{r^2 + n \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - e \cdot \cos \gamma, \text{ м.}$$

В общем случае, когда входная скорость будет больше сливной, радиус корпуса очистителя определяется из следующего выражения:

$$R = \sqrt{r^2 + \frac{n}{m} \cdot h_k \cdot \frac{\sin(\gamma + \alpha)(2r + h_k)}{\sin \gamma}} - e \cdot \cos \gamma, \text{ м.}$$

Таким образом, после определения необходимых конструктивных и технологических параметров очистителя можно приступить к разработке его конструкции.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Результаты данной работы расширяют информацию о шаровых очистителях. Они будут полезны для технического персонала, занятого проектированием, изготовлением и обслуживанием подобных очистителей, а также студентам высших учебных заведений и другим заинтересованным лицам.

## Бібліографічний список

1. Пат. 54061 Україна, МПК9 B01D37/00, 61/14. Спосіб розділення рідини на фільтрат і концентрат / В. Г. Чебан; заявник і патентовласник ДонДТУ. — №и201004969; заявл. 26.04.10; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. — 4 с.
2. Финкельштейн, З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин [Текст] / З. Л. Финкельштейн. — М. : Недра, 1986. — 232 с.
4. Пат. 52418 Україна, МПК9 B01D 27/08, B01D 35/22. Гідродинамічний очисник потоку рідини від твердих забруднень / В. Г. Чебан; заявник і патентовласник ДонДТУ. — №и201002264; заявл. 01.03.10; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16. — 4 с.
5. Чебан, В. Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — Вып. 31. — С. 115–126.
6. Пат. 54092 Україна, МПК9 B01D29/00, 35/30. Гідродинамічний фільтр / В. Г. Чебан; заявник і патентовласник ДонДТУ. — №и201005308; заявл. 30.04.10; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. — 5 с.
7. ООО ПКП «Вектор». Описание и внедрение гидродинамических фильтров «цилиндр в цилиндре» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.pkpvector.ru/gidrodinamicheskie-filtr-opisanie/>.
8. Чебан, В. Г. Преимущества, недостатки и перспективы самоочищающихся очистителей жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. Вып. 30. — С. 177–183.
9. Чебан, В. Г. Исследование скоростного режима жидкости в напорном канале шарового очистителя [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 37. — С. 141–150.

© Чебан В. Г.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
гл. энергетиком КП "АПУВКХ" Ковалинским Г. Н.*

Статья поступила в редакцию 09.01.17.

**к.т.н. Чебан В. Г.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ КУЛЬОВОГО ОЧИСНИКА**

Наведено метод розрахунку гідродинамічного очисника рідин від твердих забруднень з напірним каналом, утвореним двома нерухомими кульовими поверхнями.

**Ключові слова:** кульовий очисник, фільтроелемент, позовжння швидкість, вхідна швидкість, зливна швидкість.

**PhD Cheban V. G.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**CALCULATION METHOD FOR BALL PURIFIER**

Calculation method for the hydrodynamic cleaner of liquids from solid contaminants with flow channel formed by two fixed spherical surfaces has been presented.

**Key words:** ball purifier, filter-element, longitudinal rate, in-put rate, out-put rate.

УДК 621.993.2

к.э.н. Зинченко А. М.,  
к.т.н. Кучма С. Н.,  
Стародубов С. Ю.

(ГОУ ВПО ЛНР ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКОМ

*Рассмотрен процесс динамической настройки технологической системы под действием неуравновешенных составляющих силы резания при нарезании резьбы метчиком. Предложен алгоритм имитационной модели взаимодействия метчика с заготовкой, предназначенный для реализации средствами специального программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** метчик, динамическая настройка, погрешность резьбы, резбонарезание, имитационная модель, силы резания.

### Проблема и её связь с научными и практическими задачами

Одним из основных методов получения внутренних резьб является нарезание метчиками. Это объясняется простотой и универсальностью данного метода. Однако непрерывное повышение требований к точности и качеству обработки резьбовых поверхностей вынуждает искать пути его совершенствования.

Известно, что значительную часть в общем балансе точности метода обработки занимает динамическая настройка. Исследование факторов, влияющих на уровень погрешности динамической настройки, позволяет разрабатывать методы её снижения. Вместе с тем для оценки эффективности принимаемых конструкторских и технологических решений необходим инструмент, позволяющий прогнозировать уровень точности обработки резьбы метчиком ещё на этапе проектирования. Традиционно таким инструментом является моделирование.

Моделированию процесса нарезания резьбы метчиком посвящён ряд современных исследований. Так, в работе [1] получена математическая модель скручивания метчика под действием момента сил резания. Модель представлена в виде системы дифференциальных уравнений второго порядка, позволяющих определить в любой момент времени нагрузку на любом из зубьев, угол скру-

чивания конкретного зуба и время, затраченное на процесс резания. Реализованная средствами математического пакета Maple 7.0, она даёт графическую зависимость угла скручивания метчика от времени его работы. Полученные результаты хорошо согласовываются с экспериментальными данными, приведенными в работе [2].

Моделирование процесса изменения суммарного статического момента, действующего на метчик, выполнено в работах [3, 4]. Полученная математическая модель, реализованная средствами САПР СПРУТ v1.9, позволила авторам установить связь между величиной угла заборного конуса метчика, силой резания и несущей способностью опорных кромок профиля обработанной резьбы [5].

Модель площади среза единичного зуба метчика приведена в работе [6]. Авторами установлено, что площадь среза единичного зуба определяется не только типом нарезаемой резьбы, но и технологической наследственностью поверхности под резьбу.

Таким образом, обзор литературных источников свидетельствует о наличии различных подходов исследователей к моделированию процесса нарезания резьбы метчиком. Следовательно, данная проблема сохраняет свою актуальность.

**Постановка задачи.** Вышеприведенный обзор литературных данных свиде-



тельствует о том, что моделирование нарезания резьбы метчиком в настоящее время ведётся в направлении изучения уровня влияния отдельных факторов (жёсткости инструмента, момента сил резания, площади срезаемого слоя) на точность обработки. Такой подход объясняется значительными сложностями разработки строгого математического описания процесса.

В то же время накопленный исследователями материал во многом достаточен для разработки модели, воспроизводящей поведение технологической системы «метчик-заготовка», иначе говоря, имитационной модели нарезания резьбы метчиком. В этом случае конечным результатом моделирования должна стать модель обработанной внутренней резьбы, имеющая теоретически ожидаемый уровень погрешностей и пригодная для исследования и визуализации средствами современного специализированного программного обеспечения.

Учитывая изложенное, целью предлагаемого исследования является разработка алгоритма имитационного моделирования процесса динамической настройки технологической системы «заготовка-метчик».

Достижение указанной цели требует решения следующих задач:

1. Анализа особенностей процесса нарезания резьбы метчиком и выявления факторов, влияющих на точность обработки, оценки их значимости и уровня влияния.
2. Формулирования принципов моделирования и допущений модели.
3. Разработки схемы и математического описания процесса.
4. Составления укрупнённого алгоритма моделирования процесса нарезания резьбы метчиком.

#### **Изложение материала и результаты.**

Метчик является осевым многолезвийным инструментом, процесс обработки которым характеризуется следующими особенностями:

- движения формообразования заложены в конструкцию метчика. Главное движение (винтовое) зависит от шага резьбы

метчика, а подача определяется углом заборного конуса;

- процесс нарезания резьбы метчиком чаще всего осуществляется без принудительного осевого перемещения инструмента. При этом шпиндель или суппорт станка отключаются от цепи подач, а метчик закрепляется в плавающем патроне (на малых станках) или в патроне с пружинной компенсацией (на крупных станках) [7];

- обработка ведётся с относительно небольшими скоростями резания: 4...15 м/мин [8].

Из указанных особенностей процесса нарезания резьбы метчиком следует, что геометрические погрешности данного инструмента полностью переносятся на обрабатываемую резьбу и являются систематическими. Вместе с тем, благодаря применению компенсирующего вспомогательного инструмента, геометрические и кинематические погрешности станка практически не влияют на точность обработки. Малые скорости резания позволяют пренебречь влиянием на инструмент и заготовку сил инерции.

На основании вышеизложенного формулируются следующие принципы моделирования процесса нарезания резьбы метчиком:

1. Модель предназначена для изучения поведения замкнутой системы «метчик-заготовка».
2. Моделирование сводится к определению мгновенных относительных положений метчика и заготовки на всём протяжении периода обработки.
3. Изменение относительного положения метчика и заготовки происходит под влиянием неуравновешенной составляющей силы резания, т. е. фактически моделируется процесс динамической настройки технологической системы.
4. Относительное положение метчика и заготовки определяется из условия равновесия системы под действием сил резания и моментов этих сил.

При разработке модели вводятся следующие допущения:

1. Параметры профиля режущей части метчика соответствуют теоретическим значениям. Геометрические погрешности отсутствуют.

2. Влияние станка и приспособлений на изменение относительного положения заготовки и инструмента отсутствует.

3. Заготовка и инструмент считаются абсолютно жёсткими.

4. Поведение системы «заготовка-метчик» исследуется только под действием сил резания и момента, создаваемого приводом станка. Силами трения стружки по передней поверхности инструмента и задней поверхности метчика по обработанной поверхности резьбы пренебрегают.

Следует отметить, что при необходимости по мере совершенствования разрабатываемой модели ряд допущений может быть снят. Например, влияние крутильной жёсткости метчика на точность обработки может быть учтено путём введения в модель данных, полученных в [1, 2].

Для определения относительного положения метчика и заготовки вводится система координат заготовки  $XOYZ$  и система координат инструмента  $X_1O_1Y_1Z_1$ . Система координат инструмента рассматривается как подвижная (рис. 1). Её положение относительно системы координат заготовки определяется геометрическими и кинематическими связями.

Математическое выражение геометрических связей, описывающее номинальное положение метчика относительно заготовки в текущий момент времени, имеет вид:

$$\begin{cases} Y = 0 \\ Z = 0 \\ \varphi = \varphi(t), \\ \psi = 0 \\ \Theta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $Y, Z$  — координаты точки  $O_1$  в системе координат  $XOYZ$ ;

$\varphi, \psi, \Theta$  — углы между координатными осями:  $X—X_1$ ;  $Y—Y_1$ ;  $Z—Z_1$  соответственно.

$\varphi(t)$  — текущее значение угла поворота метчика вокруг собственной оси (оси  $X_1$ ).

Текущее положение метчика по оси  $X$  определяется из уравнения кинематической связи:

$$X = x_{O_1}(t) = -\frac{P}{2\pi} \cdot \varphi(t) + x_{O_1}(t_0), \quad (2)$$

где  $x_{O_1}(t)$  — текущая координата  $X$  точки  $O_1$  в системе координат  $XOYZ$ ;

$P$  — шаг резьбы;

$x_{O_1}(t_0)$  — координата  $X$  точки  $O_1$  в начальный момент времени  $t_0$ .

Реальный процесс обработки сопровождается погрешностями установки заготовки и статической настройки инструмента. В результате точка  $O_1$  смещается в положение  $O'_1$ , а выражения (1) и (2) приобретают вид:

$$\begin{cases} Y = \pm \delta Y \\ Z = \pm \delta Z \\ \varphi = \varphi(t), \\ \psi = \pm \delta \psi \\ \Theta = \pm \delta \Theta \end{cases} \quad (3)$$

$$X = x_{O_1}(t) = -\frac{P}{2\pi} \cdot \varphi(t) + x_{O_1}(t_0) \pm \delta X, \quad (4)$$

где  $\delta X, \delta Y, \delta Z$  — линейное смещение точки  $O_1$  относительно номинального положения;

$\delta \psi, \delta \Theta$  — угловое смещение оси  $X_1$  (собственной оси метчика) относительно осей  $Y$  и  $Z$ .

Знаки линейных и угловых смещений определяются в соответствии с выбранной системой координат (правой или левой).

Как отмечалось выше, разрабатываемая имитационная модель воспроизводит динамическую настройку технологической системы только под действием сил резания, возникающих на зубцах метчика, и момента  $M_P$ , создаваемого приводом станка. С учётом погрешности моделирования условие мгновенного равновесия системы «метчик-заготовка» имеет вид:

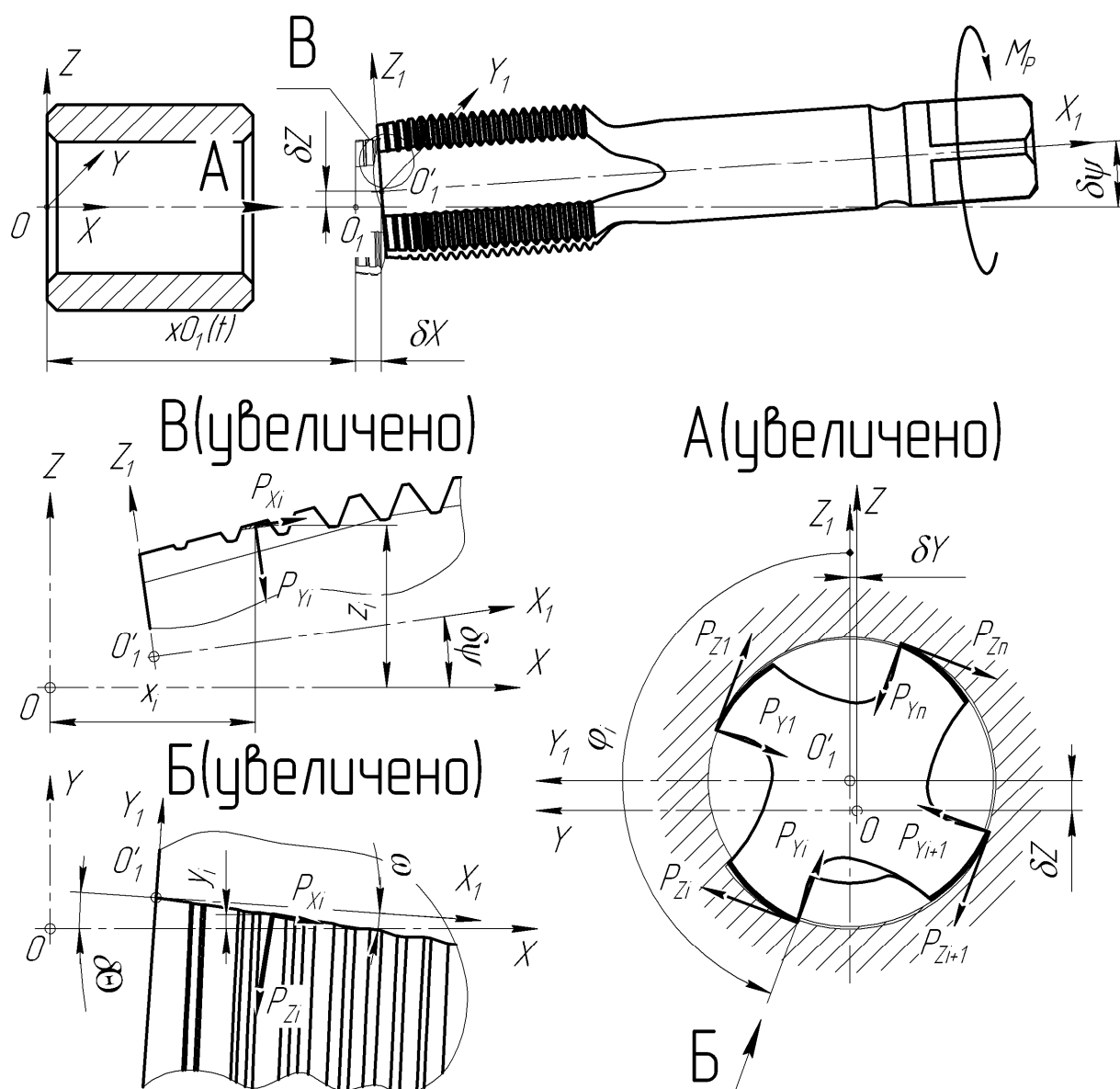


Рисунок 1 Расчётная схема равновесия системы «метчик-заготовка»

$$(5) \quad \begin{cases} \sum P_X \leq \delta P \\ \sum P_Y \leq \delta P \\ \sum P_Z \leq \delta P, \\ \sum M_Y \leq \delta M \\ \sum M_Z \leq \delta M \end{cases}$$

где  $\sum P_X, \sum P_Y, \sum P_Z$  — суммы проекций составляющих сил резания, действующих на зубьях инструмента, на оси  $X, Y, Z$ ;

$\sum M_Y, \sum M_Z$  — суммы моментов сил относительно осей  $Y$  и  $Z$ ;

$\rho P, \rho M$  — допустимые погрешности определения равновесия системы, соответственно, под действием сил и моментов сил.

Суммы проекций составляющих сил резания определяются по рисунку 1:

$$\sum P_x = \sum_{i=1}^n \left[ \begin{aligned} & \left( -P_{Zi} \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi_i - P_{Yi} \cdot \sin \varphi_i \right) \times \\ & \times \sin \delta \Theta + \\ & \left( P_{Zi} \cdot \cos \omega \cdot \sin \varphi_i - P_{Yi} \cdot \cos \varphi_i \right) \times \\ & \times \sin \delta \psi + P_{Xi} \cdot \cos \delta \Theta \cdot \cos \delta \psi \end{aligned} \right]; \quad (6)$$

$$\sum P_Y = \sum_{i=1}^n \left( -P_{Zi} \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi_i - P_{Yi} \cdot \sin \varphi_i \right) \times \cos \delta \Theta + \sum_{i=1}^n P_{Xi} \cdot \sin \delta \Theta; \quad (7)$$

$$\sum P_Z = \sum_{i=1}^n \left( P_{Zi} \cdot \cos \omega \cdot \sin \varphi_i - P_{Yi} \cdot \cos \varphi_i \right) \times \cos \delta \psi + \sum_{i=1}^n P_{Xi} \cdot \sin \delta \psi, \quad (8)$$

где  $P_{Xi}, P_{Yi}, P_{Zi}$  — составляющие силы резания на каждом из зубьев метчика;

$n$  — число зубьев метчика, участвующих в резании в рассматриваемый момент времени;

$\omega$  — угол наклона стружечной канавки;

$\varphi_i$  — угловая координата  $i$ -го зуба метчика. Её величина определяется из выражения:

$$\varphi_i = \varphi(t) + \frac{i-1}{Z} \cdot \left( 2\pi \pm \frac{P \cdot \operatorname{tg} \omega}{D} \right), \quad (9)$$

где  $Z$  — число стружечных канавок;

$D$  — наружный диаметр метчика.

Суммы моментов сил согласно рисунку 1, определяются из выражений:

$$\sum M_Y = \sum_{i=1}^n \left[ \begin{aligned} & P_{Yi} \cdot x_i + \\ & + P_{Xi} \cdot z_i + \\ & + P_{Zi} \cdot \sin(\delta \Theta) \cdot z_i \end{aligned} \right] \times \cos \omega \cdot \cos \delta \psi; \quad (10)$$

$$\sum M_Z = \sum_{i=1}^n \left[ \begin{aligned} & P_{Zi} \cdot \cos \omega \cdot x_i + \\ & + P_{Xi} \cdot y_i + \\ & + P_{Yi} \cdot \sin \delta \psi \cdot y_i \end{aligned} \right] \times \cos \omega \cdot \cos \delta \Theta, \quad (11)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  — координаты точки, в которой приложены составляющие силы резания.

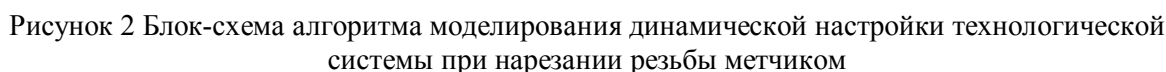
Блок-схема алгоритма имитационного моделирования динамической настройки технологической системы нарезания резьбы метчиком приведена на рисунке 2.

На начальном этапе (блок 2) задаётся уровень точности моделирования в виде допустимой погрешности определения силовых факторов. Предельные значения начальных погрешностей (блок 3) могут быть определены по известным методикам для погрешностей установки заготовки и статической настройки инструмента. В блоке 4 задаются параметры исследуемого метчика, а в блоке 5 — его исходное (начальное) положение.

После определения исходных данных вычисляются силовые факторы на каждом из зубьев метчика, участвующих в работе (блок 6), затем по формулам (6)—(8), (10), (11) вычисляются результирующие силы и моменты сил, действующие на метчик. Следует отметить, что вычисление силовых факторов целесообразно выполнить в виде самостоятельных программных модулей.

В блоке 8 проверяется условие равновесия метчика (5). Если оно не выполняется, текущим значениям погрешностей  $\delta X$ ,  $\delta Y$ ,  $\delta Z$ ,  $\delta \psi$ ,  $\delta \Theta$  даются приращения  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta \psi$ ,  $\Delta \Theta$  в направлении действия неуравновешенных сил и моментов. Затем повторяется вычисление силовых факторов с новыми значениями  $\delta X$ ,  $\delta Y$ ,  $\delta Z$ ,  $\delta \psi$ ,  $\delta \Theta$ .

Цикл 6–7–8–9 повторяется до достижения мгновенного равновесия системы «заготовка-метчик».



Система координат заготовки выбирается таким образом, что при завершении обработки текущее значение координаты метчика  $X$  становится отрицательным. Если это условие (блок 12) не выполняется, вновь переходят к расчёту силовых факторов, но с новым значением угла поворота метчика  $\varphi(t)$ . При достижении условия  $X < 0$  моделирование завершается.

## Выводы и направление дальнейших исследований.

Разработанная имитационная модель формирования динамической погрешности при нарезании резьбы метчиком позволяет получить данные о линейных и угловых

смещениях метчика при всех его последовательных положениях в процессе обработки. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования уровня погрешности резьбы, вызванного влиянием силовых факторов, и оценки эффективности изменения параметров метчика и процесса обработки. Форма представления данных моделирования даёт возможность

визуализировать их средствами САПР.

Вместе с тем для создания специализированного программного обеспечения, реализующего приведенный в работе алгоритм моделирования, необходимо разработать методику определения составляющих силы резания на зубьях метчика, воспроизводящую их непрерывное изменение в процессе обработки.

### Библиографический список

1. Новиков, П. А. Математическая модель процесса нарезания внутренних резьб малых диаметров (М2-М6) [Текст] / П. А. Новиков // *Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука - виробництво: Тези доповідей П'ятої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції*. — Суми, 2005. — С. 63–64.
2. Канареев, Ф. Н. Влияние деформаций кручения рабочей части метчиков на точность внутренних резьб малых диаметров (М2...М6) [Текст] / Ф. Н. Канареев // *Вісник СевНТУ: серія Машинобудування та транспорт*. — Севастополь, 2010. — Вип. 111/2010. — С. 81–88.
3. Ананьев, А. С. Моделирование процесса нарезания резьбы метчиком [Текст] / А. С. Ананьев, В. П. Серов // *Известия ВГТУ*. — Волгоград, 2007. — №3(29), Т.1. — С. 8–10.
4. Ананьев, А. С. Силовая модель процесса нарезания резьбы метчиком [Текст] / А. С. Ананьев, В. П. Серов // *Технология машиностроения*. — 2009. — N2. — С. 16–18.
5. Ананьев, А. С. Влияние угла заборного конуса метчика на силу резания и несущую способность опорных кромок профиля резьбы [Текст] / А. С. Ананьев, М. С. Землянский // *Известия ВГТУ*. — Волгоград. — 2010. — №12(72), Вып.6. — С. 6–8.
6. Новиков, П. А. Моделирование площади среза металла при нарезании внутренних малых резьб (М2...М6) [Текст] / П. А. Новиков, Ф. Н. Канареев // *Вісник СевНТУ: серія Машинобудування та транспорт*. — Севастополь, 2014. — Вип.151/2014. — С. 111–114.
7. Маслов, А. Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента [Текст]: справочник / А. Р. Маслов. — М. : Машиностроение, 2008. — 320 с., ил.
8. Режимы резания металлов [Текст]: справочник / Ю. В. Барановский др.; под ред.: А. Д. Корчемкина. — М. : НИИТавтопром, 1995. — 456 с.

© Зинченко А. М.

© Кучма С. Н.

© Стародубов С. Ю.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. ДонГТУ Зелинским А. Н.,  
д.т.н., проф., зав. каф. ТМ ДонНТУ Михайловым А. Н.**

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

**к.е.н. Зинченко А. М., к.т.н. Кучма С. М., Стародубов С. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)  
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАСТРОЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ  
СИСТЕМИ ПРИ НАРІЗАННІ РІЗЬБИ МІТЧИКОМ**

Розглянуто процес динамічного настроювання технологічної системи під дією неврівноважених складових сили різання при нарізанні різьби мітчиком. Запропоновано алгоритм імітаційної моделі взаємодії мітчика з заготовкою, призначений для реалізації засобами спеціального програмного забезпечення.

**Ключові слова:** мітчик, динамічне настроювання, похибка різьби, різьбонарізання, імітаційна модель, сили різання.

**PhD in Economics Zinchenko A. M., PhD in Engineering Kuchma S. N., Starodubov S. Y. (Don-STU, Alchevsk, LPR)**

**SIMULATION MODELLING OF DYNAMIC RELOCATION OF TECHNOLOGICAL SYSTEM AT THREAD TAPPING**

*Process of dynamic relocation of technological system has been studied in response to the unbalanced cutting forces at thread tapping. The imitation model algorithm of interaction between a tap and workpiece is proposed for implementation by means of special software program.*

**Key words:** tap, dynamic relocation, thread error, cutting, imitation model, cutting forces.



УДК 669.02/.09.004.67:681.518.54

к.т.н. Вишневский Д. А.,  
Коробов Р. Ю.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С ПОЛНЫМ ЦИКЛОМ

*Проведен анализ и рассмотрены перспективы применения экспертных систем на предприятиях с полным металлургическим циклом, цель которого — увеличить надежность работы оборудования.*

**Ключевые слова:** экспертные системы, информационные технологии, автоматизация, металлургия, машиностроение, производство, прогнозирование, диагностика, проектирование, планирование, мониторинг, управление.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Практическое применение искусственного интеллекта на металлургических и машиностроительных предприятиях, основанных на экспертных системах (ЭС), позволяет повысить качество и сохранить время на принятие решений, а также способствует росту эффективности работы.

### Анализ исследований и публикаций.

Сложность создания автоматизированных систем управления объясняется тем, что технологические процессы протекают, как правило, в высокотемпературных и химически агрессивных средах, в агрегатах большой единичной мощности, слабо оснащенных системами автоматического контроля основных технологических параметров, что не позволяет оперативно

контролировать изменение этих параметров по ходу процесса.

Набор компьютерных программ, которые позволяют выполнять функции эксперта при решении задач из некоторой предметной области, и есть экспертная система (рис. 1). ЭС выдают рекомендации, проводят анализ, ставят диагноз. Практическое применение ЭС на предприятиях способствует эффективности работы и повышению квалификации специалистов (рис. 2).

Главным достоинством ЭС является возможность накопления информации и сохранение ее длительное время. В отличие от человека ЭС подходят объективно к оцениванию независимо от вида информации, что улучшает качество проводимой экспертизы [1].

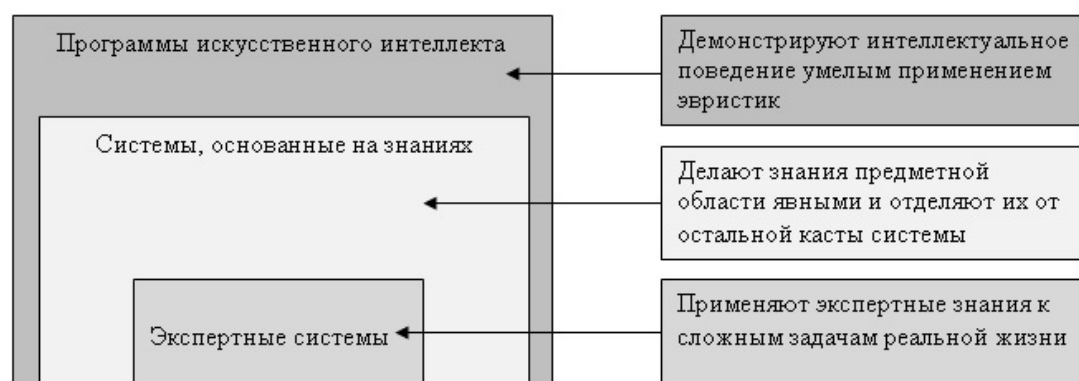


Рисунок 1 Экспертные системы как системы, основанные на знаниях

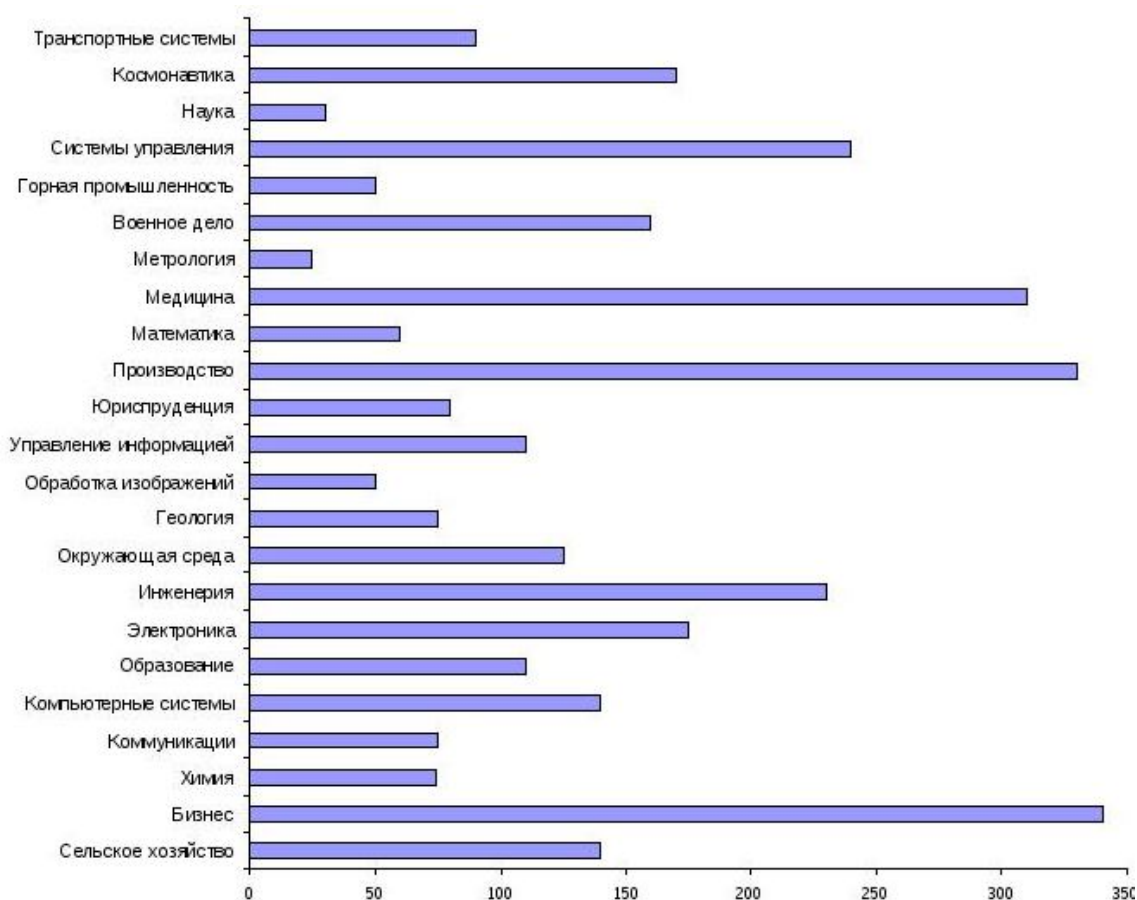


Рисунок 2 Области применения экспертных систем

**Цель (задачи) исследований.**

Выполненный анализ показывает необходимость исследования возможности применения ЭС на предприятиях с полным металлургическим циклом с целью повышения качества и увеличения надежности металлургического оборудования.

**Изложение материалов исследований.**

Применение ЭС позволяет:

- повысить производительность труда в 3–6 раз, при этом выполнение отдельных операций ускоряется в 10–15 раз;
- ускорить поиск неисправностей в устройствах в 5–10 раз;
- повысить производительность труда программистов в 5 раз;
- в процессе профессиональной подготовки сократить в 8–12 раз затраты на индивидуальную работу с обучаемым персоналом.

ЭС строятся для решения широкого круга проблем в таких областях, как:

- прогнозирование — проектирование возможных последствий данной ситуации;
- диагностика — определение причин неисправностей в сложных ситуациях на основе наблюдаемых симптомов;
- проектирование — нахождение конфигурации компонентов системы, которая удовлетворяет целевым условиям и множеству проектных ограничений;
- планирование — разработка последовательности действий для достижения множества целей при данных начальных условиях и временных ограничениях;
- мониторинг — сравнение наблюдаемого поведения системы с её ожидаемым поведением;
- инструктирование — помощь в образовательном процессе по изучению технической области;
- управление — управление поведением сложной среды.

В отличие от машинных программ, использующих процедурный анализ, ЭС решают задачи в узкой предметной области на основе дедукции (рис. 3). Такие системы часто оказываются способными найти решение задач, которые неструктурированы и некорректно определены.

На проектирование и создание одной ЭС раньше требовалось 20–30 чел. лет. В настоящее время имеется ряд средств, ускоряющих создание ЭС. Эти средства назы-

ваются инструментальными (ИС), или инструментарием. Использование ИС сокращает время разработки ЭС в 3–5 раз [2].

Типичная ЭС состоит из следующих основных компонентов: решателя (интерпретатора, механизма логического вывода), рабочей памяти (РП), называемой также базой данных (БД), базы знаний (БЗ), компонентов приобретения знаний, объяснительного и диалогового компонентов (рис. 4).

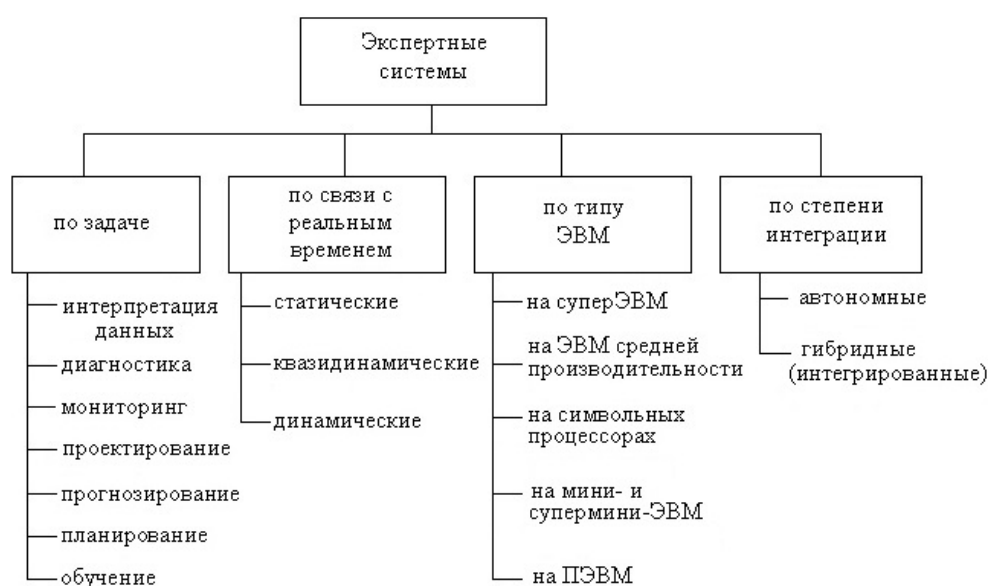


Рисунок 3 Классификация экспертных систем

ЭС выполняются на ЭВМ следующих типов: общего назначения; ПЭВМ; интеллектуальные рабочие станции (то есть рабочие станции типа San, Apollo и др., снабжённые эффективными ИС для создания ЭС); последовательные символьные ЭВМ типа Лисп-машин (Symbolic-3670, Alpha, Explorer, Xerox 1100 и другие) и Пролог-машин; параллельные символьные ЭВМ (Connection, Dado, Faun, Hyper Cube и другие) [3].

По типу инструментальных средств ЭС классифицируются следующим образом:

- символьные языки программирования, ориентированные на создание ЭС и систем искусственного интеллекта (например, LISP, INTERLISP, SMALLTALK);

- языки инженерии знаний, т. е. языки высокого уровня, ориентированные на построение ЭС (например, OPS-5, LOOPS, KES, ПРОЛОГ);

- системы, автоматизирующие разработку (проектирование) ЭС, (например, KEE, ART, TEIRESIAS, AGE, TIMM); их часто называют окружением (environment) для разработки систем ИИ, ориентированных на знания;

- оболочки ЭС (или пустые) – ЭС, не содержащие знаний ни о какой проблемной области (например, ЭКСПЕРТИЗА, EMYCIN, ЭКО, ЭКСПЕРТ).

В приведённой классификации ИС перечислены в порядке убывания трудозатрат, необходимых на создание с их помощью конкретной ЭС.

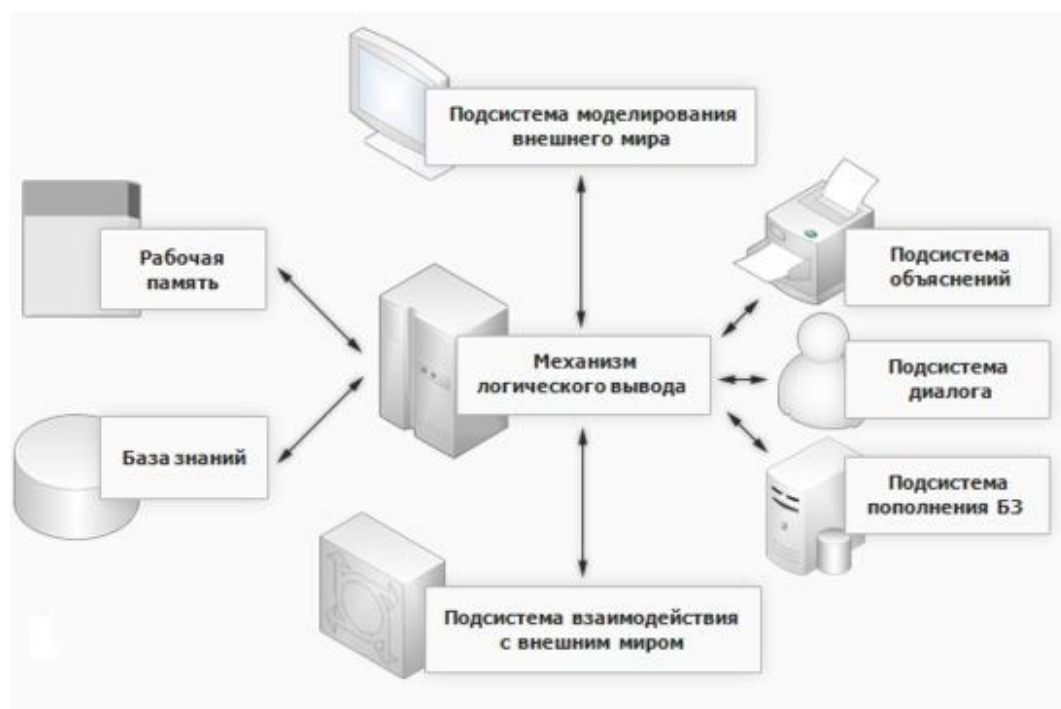


Рисунок 4 Основные элементы экспертных систем

Действительно, при использовании ИС первого типа в задачу разработчика входит программирование всех компонентов ЭС на языке довольно низкого уровня. Использование ИС второго типа позволяет значительно повысить уровень языка, что, как правило, приводит к некоторому снижению эффективности. Инструментальные средства третьего типа позволяют разработчику не программировать все или часть компонентов ЭС, а выбирать их из заранее составленного набора. При применении ИС четвертого типа разработчик полностью освобождается от работ по созданию программ, так как берет готовую пустую ЭС.

На данный момент, применение ЭС в металлургическом и машиностроительном производстве позволило разработать и внедрить следующие ЭС:

1. Технологический комплекс "Живучесть" — ЭС, позволяющая получить рекомендации для принятия компетентного решения в конкретной проблемной ситуации, в том числе и при определении и контроле наиболее опасных изгибов паропроводов с заключением о категориях опасности и сроках службы [4].

2. ЭС управления процессом рудно-термической плавки позволяет при проектировании и отладке АСУ сократить время разработки на 15–20 %, а также исследовать влияние технологических параметров на показатели эффективности процесса; повысить эффективность обучения и снизить время обучения при подготовке технологического персонала и студентов различных металлургических специальностей [5].

3. ЭС управления нагревом доменной печи содержит программные средства поддержки на базе языка Лисп и машину выводов, интерпретирующую знания. На основе информации от датчиков и базы знаний в системе делается вывод о текущем уровне нагрева с периодом 20 мин. и об увеличении или уменьшении нагрева; по результатам вывода с помощью правил управления определяются объем дутья и другие параметры управления [6].

4. ЭС проектирования технологий механизированной электродуговой наплавки решает следующие основные задачи: выбор наплавочных материалов в зависимости от условий работы и видов изнашивания деталей; выбор режимов и техники наплавки в

зависимости от способа наплавки, типа и геометрии наплавляемой детали, расположения наплавляемой поверхности [7].

5. ЭС прогнозирования состояния (срока службы) электрических двигателей на основе математической модели прогнозирования наработки до отказа асинхронных двигателей, позволяющая оценить остаточный срок службы изоляции электродвигателя при дестабилизирующем воздействии внешних факторов, а также учитывающая качество проведенных восстановительных мероприятий.

6. ЭС в обработке металлов давлением – технология сортовой прокатки, которая может быть использована в НИИ и на металлургических заводах при совершенствовании действующих и проектировании

новых технологических процессов сортовой прокатки [8].

### **Выводы.**

Выполненный анализ применения ЭС в металлургическом и машиностроительном производствах позволяет сделать ряд выводов. При внедрении ЭС на предприятиях с полным металлургическим циклом можно будет добиться повышения показателей надежности и долговечности деталей металлургического оборудования, сократить время на принятие сложных решений, связанных с технологией производства или аварийными ситуациями, увеличить скорость обучения персонала, повысить качество выпускаемой продукции. С помощью ЭС возможен новый количественный и качественный скачок в развитии металлургического производства.

### **Библиографический список**

1. Гаскаров, Д. Б. Интеллектуальные информационные системы [Текст] / Д. Б. Гаскаров. — М. : Высшая школа, 2003. — 433 с.
2. Ясницкий, Л. Н. Введение в искусственный интеллект [Текст] / Л. Н. Ясницкий. — М. : Академия, 2005. — 176 с.
3. Острейковский, В. А. Информатика [Текст] / В. А. Острейковский, И. В. Полякова. — М. : Высшая школа, 2008. — 608 с.
4. Технологический комплекс “Живучесть” [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/techn/tec366.htm>. (10.08.2016)
5. Гонимая, О. Е. Экспертная система управления процессом рудно-термической плавки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/ekspertnaya-sistema-upravleniya-protsessom-rudno-termicheskoy-plavki>. (16.08.2016)
6. Экспертная система управления нагревом печи [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://stu.alnam.ru/book\\_pfuzzy-17](http://stu.alnam.ru/book_pfuzzy-17). (28.09.2016)
7. Махненко, В. И. Экспертная система проектирования технологий механизированной электродуговой наплавки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://paton.kiev.ua/ru/razrabotki-ies/5024/595>. (03.10.2016)
8. Шилов, В. А. Применение экспертных систем в обработке металла давлением / В. А. Шилов, С. П. Куделин, Ю. В. Инарович [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/37275/1/978-5-9907151-1-0\\_2015\\_035.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/37275/1/978-5-9907151-1-0_2015_035.pdf). (12.10.2016)

© Вишневский Д. А.

© Коробов Р. Ю.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СИиИГ ЛГУ им. Даля Харламовым Ю. А., к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.**

Статья поступила в редакцию 26.01.17.

**к.т.н. Вишневський Д. О., Коробов Р. Ю.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА  
РЕМОНТУ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ З ПОВНИМ ЦИКЛОМ**

*Проведено аналіз і розглянуто перспективи застосування експертних систем на підприємствах з повним металургійним циклом, мета якого підвищити надійність роботи обладнання.*

**Ключові слова:** експертні системи, інформаційні технології, автоматизація, металургія, машинобудування, виробництво, прогнозування, діагностика, проектування, планування, моніторинг, управління.

**PhD Vishnevskii D. A., Korobov R. Yu.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, dimavish.79@mail.ru)

**ANALYSIS OF EXPERT SYSTEMS APPLICATION FOR DIAGNOSING AND REPAIRING  
AT METALLURGICAL FACTORIES WITH FULL CYCLE**

*The analysis has been made and the prospects have been studied for application of expert systems in enterprises with full metallurgical cycle, which aim is to increase reliability of the equipment.*

**Key words:** expert systems, information technology, automation, metallurgy, engineering, production, prediction, diagnosis, design, planning, monitoring, management.

УДК 621.882.002.72

к.т.н. Сотников А. Л.,  
Щербина С. В.  
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

## СБОРКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ПРИЛОЖЕНИЯ ОСЕВЫХ СИЛ

*На основе выполненного анализа конструктивных особенностей промышленного оборудования даны рекомендации по назначению длины болтов и размеров верхних деталей стыка при конструировании крупногабаритных резьбовых соединений из условия выполнения их сборки методом приложения осевых сил.*

**Ключевые слова:** резьбовое соединение, болт, метод приложения осевых сил, гидроключ, конструирование, оборудование.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Широко применяемый в промышленности метод сборки крупногабаритных резьбовых соединений приложением внешнего крутящего момента имеет ряд недостатков. Наибольшими недостатками является то, что в материале болтов:

1) невозможно с высокой точностью создать расчетные значения силы предварительной затяжки ( $\pm(20-40) \%$  [1]);

2) возникающие в соединении касательные напряжения приводят к снижению его безотказности в процессе эксплуатации. При неблагоприятных условиях (например, тугая или деформированная резьба) они могут значительно увеличиться, обуславливая тем самым перегрузку болтов уже на стадии сборки [1].

Метод приложения осевых сил для затяжки крупногабаритных резьбовых соединений обладает рядом преимуществ в сравнении с методом приложения внешнего крутящего момента. Во-первых, обеспечивается точное значение силы затяжки соединения (экспериментально установлено, что погрешность не превышает  $\pm 2,5 \%$ ) [2, 3]; во-вторых, повышается безотказность резьбовых соединений [2–4] за счет отсутствия предпосылок для возникновения касательных напряжений; в-третьих, отпадает необходимость применения дополнительных деталей для стопорения соединения; в-

четвертых, снижается трудоемкость сборки крупногабаритных резьбовых соединений.

### Анализ исследований и публикаций

В настоящее время разработаны различные конструкции гидравлических устройств (далее — гидроключей), позволяющих реализовать этот метод сборки.

В работе [5] рассмотрены основные требования, выполнение которых на этапе конструирования и изготовления резьбовых соединений позволит осуществить сборку крупногабаритных соединений данными гидроключами. Однако эти требования не учитывают следующих особенностей конструкций резьбовых соединений: оборудование в зоне соединения имеет выступающие конструктивные элементы, препятствующие установке и функционированию гидроключей; соединение находится в нишах корпусных деталей оборудования; несколько рядом расположенных соединений находятся близко друг к другу, что также не дает возможности установить гидроключ и т. п. Данные особенности промышленного оборудования не позволяют выполнять затяжку болтов гидроключами.

### Цель (задачи) исследований.

В связи с этим необходимо рассмотреть дополнительные требования, которые следует учитывать при конструировании оборудования для осуществления сборки крупногабаритных резьбовых соединений методом приложения осевых сил.



Задачей настоящей работы является определение требований к конструкции крупногабаритных резьбовых соединений для их сборки гидроключами методом приложения осевых сил.

#### **Изложение материалов исследований.**

Первым из известных устройств для сборки крупногабаритных резьбовых соединений является конструкция разработки и производства НПК «ГидрУМ» (в настоящее время — ООО «Завод ГидрУМ») [6]. Эти устройства (рис. 1) были разработаны применительно к металлургическому оборудованию и начали применяться в 1993 г. на ОАО «Макеевский металлургический комбинат». В настоящее время кроме металлургических предприятий они применяются для сборки крупногабаритных резьбовых соединений на машиностроительных заводах, предприятиях горнодобывающего комплекса, в сфере энергомашиностроения и пр.

Современный серийный ряд гидроключей, называемых также тянущими ключами или шпильконатяжителями, позволяет осуществлять затяжку болтов и шпилек в следующих диапазонах резьбы: 1) М30-М36; 2) М42-М52; 3) М56-М64 и 4) М72-М90; 5) до М100; 6) до М120; 7) до М130 [1,6].

Каждое такое устройство имеет сменную втулку, которая накручивается на резьбу затягиваемого болта или шпильки. В зависимости от применяемой резьбы в комплект каждого устройства может входить несколько сменных втулок, например, М30, М33, М36. При этом каждая сменная втулка имеет резьбу как с крупным, так и с мелким шагом.

К основным требованиям, которые необходимо обеспечить при конструировании и изготовлении резьбовых соединений нового или модернизируемого оборудования, монтируемого с использованием указанных гидроключей, относится следующее [5].

Первым требованием является обеспечение перпендикулярности оси отверстия под болт поверхности верхней детали стыка, на которую необходимо установить

гидроключ. Второе требование относится к необходимости иметь такие размеры поверхности верхней детали, чтобы на нее можно было установить соответствующий гидроключ из серийного ряда. Третье требование заключается в том, чтобы болт имел в собранном резьбовом соединении 6–8 свободных витков резьбы над гайкой.

Традиционно при конструировании крупногабаритных резьбовых соединений промышленного оборудования давались рекомендации по назначению размеров поверхностей, на которые будут устанавливаться шайбы и гайки, с учетом того, что затягивать болты будут методом приложения внешнего крутящего момента. Поэтому предусматривалась только горизонтальная площадка верхней детали, размеры которой больше диаметра шайбы, как правило, на 10 %.

Это хорошо видно на примере крепления шпилек шестеренной клетки главного привода черновой группы конструкции ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (рис. 2).

Для крепления корпуса шестеренной клетки к фундаменту, а также верхней и нижней частей между собой используются шпильки 1 большого диаметра (см. рис. 2). Во втором случае шпилька имеет необходимое количество витков резьбы над гайкой 2 для сборки крупногабаритных резьбовых соединений методом приложения осевых сил, а в первом – не имеет.



Рисунок 1 Внешний вид гидроключа конструкции ООО «Завод ГидрУМ»

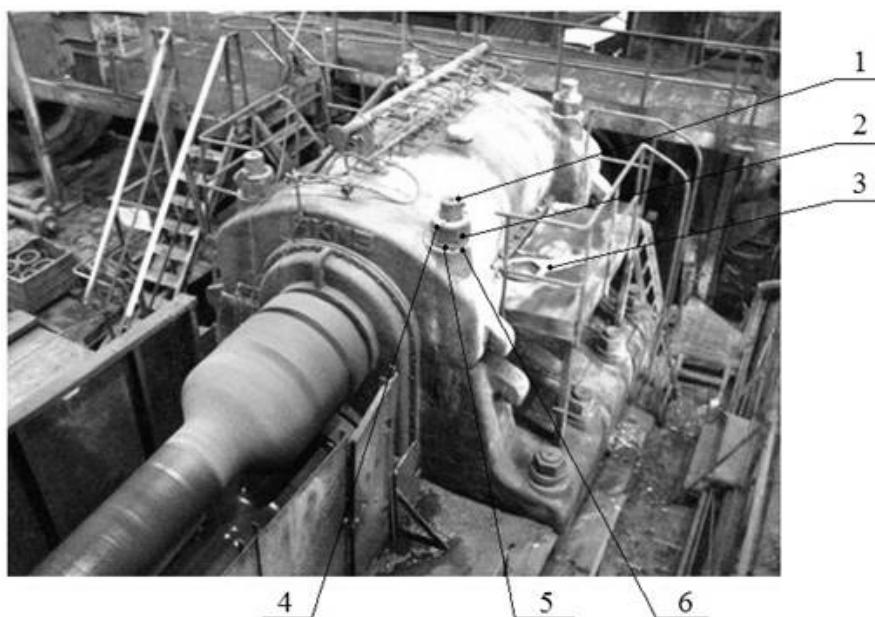


Рисунок 2 Шестеренная клеть главного привода черновой группы:  
1 – шпилька; 2 – гайка; 3 – гаечный ключ; 4 – стопорящий элемент;  
5 – шайба; 6 – площадка для установки шайбы

Крышка и корпус клетки изготовлены методом литья. Для установки шайбы 5 и гайки 2 выполнены приливы, на которых имеется горизонтальная площадка 6. На рабочей площадке около клетки показан гаечный ключ 3, применяемый для сборки рассматриваемых резьбовых соединений методом приложения внешнего крутящего момента. Для фиксации гаек относительно шпилек используют стопорящие элементы 4. Для приведенной шестеренной клетки невозможно применить метод сборки резьбовых соединений приложением осевых сил, так как в ее конструкции отсутствует горизонтальная площадка верхней детали с размерами, достаточными для установки гидроключа.

В редукторе на рисунке 3 крышка 4 к корпусу 3 и корпус к фундаменту крепится шпильками 1, имеющими более 10 витков резьбы над гайкой 2. В первом случае к шпилькам близко расположена вертикальная часть крышки редуктора. Во втором – шпильки расположены в углублении корпуса редуктора. Отмеченные особенности конструкции редуктора прокатной клетки также не позволяют установить гидроключ на

верхнюю деталь стыка и выполнить затяжку шпилек методом приложения осевых сил.

В рассмотренных конструкциях металлургического оборудования выполняются не все требования, необходимые для выполнения сборки крупногабаритных резьбовых соединений гидроключами из серийного ряда [5].

Первое из основных требований регламентировано соответствующими стандартами и предусматривает отклонение от перпендикулярности поверхности верхней детали стыка оси отверстия под болт не более  $2^\circ$  [5].

Для выполнения второго основного требования при конструировании деталей стыка крупногабаритных резьбовых соединений следует руководствоваться данными о массогабаритных размерах гидроключей (табл. 1).

На рисунке 4 показана схема установки гидроключа производства ООО «Завод ГидрУМ». Принцип его действия заключается в следующем. На гайку 8 устанавливается накидная гайка 5. Воротком 6 через отверстия в накидной гайке 5 поворачива-

ется гайка 8 до выбора зазора между нею и деталью стыка. Затем последовательно устанавливают опору 4, корпус 7 и поршень 1. На стержень болта 3 воротком 6 накручивают до упора сменную втулку 2. Гидроключ подсоединяют к насосной станции, которая создает давление масла в системе до 63 МПа [1]. При этом поршень 1, сменная втулка 2 и болт 3 перемещаются вверх. Образовавшийся зазор между гайкой 8 и верхней деталью выбирают поворотом до упора накидной гайки 5 воротком 6. Разборка крупногабаритного резьбового соединения производится аналогично.

Фирма «KVALITET» [7] выпускает гидравлические устройства, аналогичные по

конструкции производимыми ООО «Завод ГидрУМ», но их габаритные размеры отличаются от приведенных в таблице 1. Поэтому при конструировании резьбовых соединений назначать размеры деталей группы стыка желательно для того устройства, которым будет осуществляться затяжка болтов методом приложения осевых сил или следует руководствоваться общими рекомендациями, приведенными далее.

В тех случаях, когда резьбовое соединение находится в нишах корпусных деталей оборудования (рис. 5), размеры детали, на которую будет устанавливаться гидроключ, должны назначаться с учетом размеров  $A$ ,  $C$  и  $E$ .

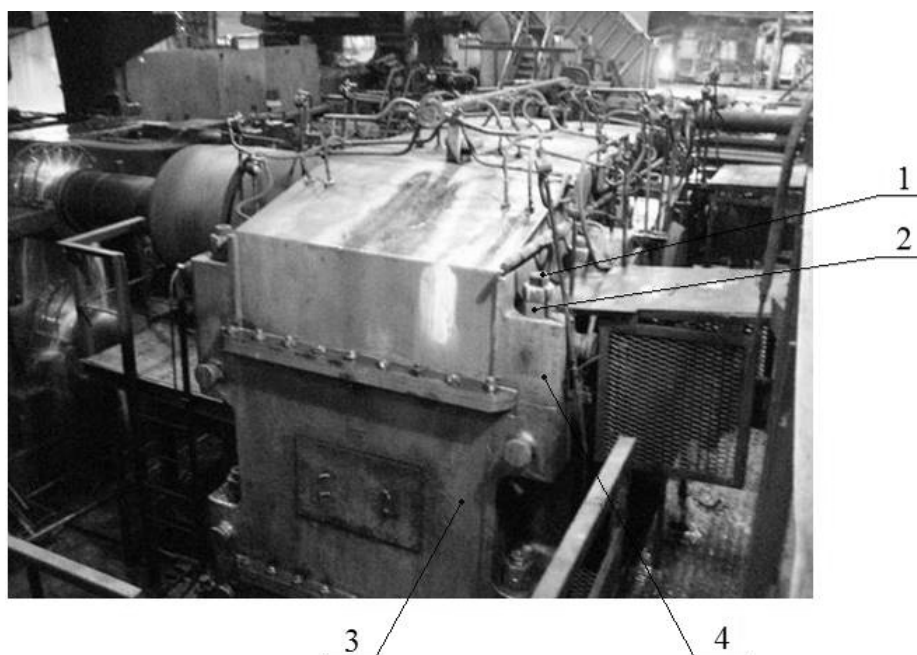


Рисунок 3 Редуктор главного привода клетки №1 стана 2000:

1 – шпилька; 2 – гайка; 3 – корпус; 4 – крышка

Таблица 1

Габаритные размеры и масса гидроключей из серийного ряда производства ООО «Завод ГидрУМ»

Номинальный диаметр резьбы, мм	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
	диаметр опоры, $D$	диаметр корпуса, $B$	высота, $H$	
от М30 до М36	100	130	120	5,9
от М42 до М52	132	140	147	9,4
от М56 до М64	158	182	158	17,8
от М72 до М90	206	230	194	29,1

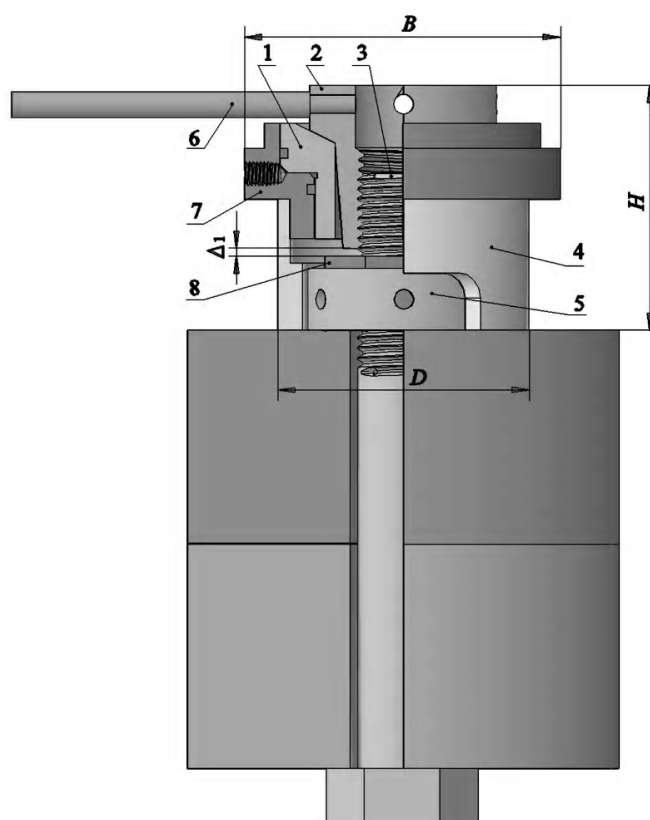


Рисунок 4 Схема установки гидроключа ООО «Завод ГидрУМ»:  
1 – поршень; 2 – сменная втулка; 3 – болт; 4 – опора; 5 – накидная гайка;  
6 – вороток; 7 – корпус; 8 – гайка

Размер  $A$  должен быть не менее 5–10 м. Размер  $C$  зависит от габаритных размеров деталей гидроключа и определяется производителем. Его значение зависит от длины сменной втулки, высоты гидроключа и гайки, длины болта над гайкой. Для различных конструкций гидроключей значение размера  $C$  составляет 50–90 % от высоты гидроключа  $H$ . Для гидроключа конструкции ООО «Завод ГидрУМ», затягивающего болты в диапазоне резьб М30–М36,  $C \approx 0,7 \cdot H$ . Расстояние  $E$  между осями болтов необходимо назначать из условий: возможности установки гидроключа на деталь и обеспечения плотности стыка после сборки.

Не менее значимым является назначение длины резьбовой части болта над гайкой с учетом необходимости его затяжки гидроключом методом приложения осевых сил (третье требование). В работе [5, с. 264] дается следующая рекомендация:

«для захвата 5–6 витков болта сменной втулкой необходимо, чтобы болт имел 6–8 свободных витков резьбы над гайкой». У гидроключей, выпускаемых ООО «Завод ГидрУМ», для каждого диаметра болта определен зазор  $D_1$  между гайкой и сменной втулкой (см. рис. 4) и соответствующее ему количество полных витков резьбы с мелким и крупным шагом (табл. 2). Значения  $\Delta_1$  были определены для нормальных по высоте гаек.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что для затяжки болта М30 необходимо не 6–8 свободных витков резьбы над гайкой по рекомендациям работы [5], а 15–16 для резьбы с мелким шагом и 11–12 — для резьбы с крупным шагом. В то же время для затяжки болта М90 применяется сменная втулка большой длины, которая после установки гидроключа находится на расстоянии 1 мм от гайки.

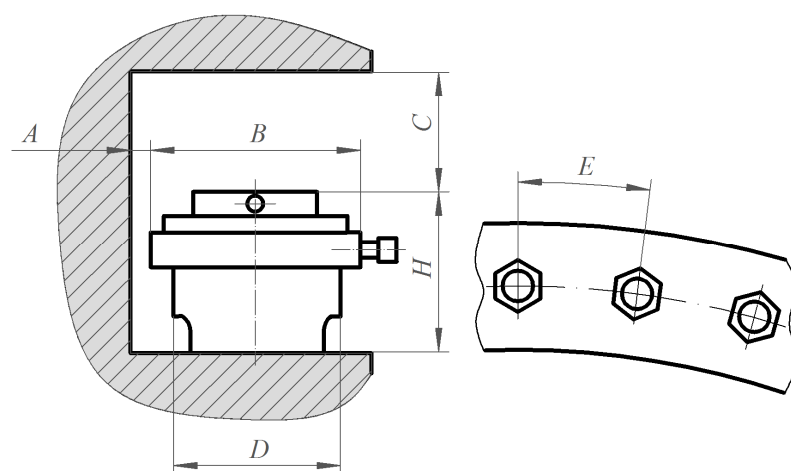


Рисунок 5 Схема к выбору размеров деталей для установки гидроключа для сборки резьбового соединения

Таблица 2

Параметры крупногабаритных резьбовых соединений и зависимость зазора между гайкой и сменной втулкой гидроключа конструкции ООО «Завод ГидрУМ»

Диаметр резьбы, мм	$\Delta_1$ , мм	Количество полных витков резьбы с шагом	
		мелким	крупным
M30	21	10	6
M36	16	5	4
M42	19	6	4
M48	16	5	3
M52	12	4	2
M56	13	3	2
M64	7	1	1
M72	15	3	2
M80	9	1	1
M90	1	0	0

Для оптимизации условий сборки крупногабаритных резьбовых соединений необходимо, чтобы длина каждой сменной втулки в гидроключах из серийного ряда назначалась исходя из следующего условия: расстояние от нее до верхнего торца гайки должно быть равно 2–3 мм. При необходимости установки шайбы длина сменной втулки выбирается меньшей на значение ее толщины.

Таким образом, наряду с известными (основными) требованиями, предъявляе-

мыми к крупногабаритным резьбовым соединениям, необходимо учитывать дополнительные требования:

1) в зоне резьбовых соединений не должно быть выступающих элементов конструкции оборудования, препятствующих установке и функционированию гидроключей. Размеры деталей, на которые устанавливается гидроключ, и расстояние от него до выступающих элементов должны определяться габаритными размерами гидроключей;



2) длину стержня болта над гайкой необходимо назначать из условий: длина болта над гайкой должна иметь 6–8 полных витков резьбы, в зацеплении болта и сменной втулки должно быть 5–6 полных витков резьбы, а расстояние между верхней поверхностью гайки и нижним торцом сменной втулки — 2–3 мм.

Выполнение этих рекомендаций позволит установить на детали стыка соответствующий гидроключ из серийного ряда и осуществить сборку крупногабаритных резьбовых соединений. После сборки в материале болта будет создана только растягивающая сила с точностью  $\pm 2,5\%$ .

#### **Выводы.**

Анализ конструкций промышленного оборудования показал, что принятые конст-

руктивные решения крупногабаритных резьбовых соединений основаны на применении для их сборки метода приложения внешнего крутящего момента. Для возможности затяжки болтов большого диаметра методом приложения осевых сил требуется изменение подхода к конструированию деталей группы болта и группы стыка. В связи с этим были разработаны рекомендации по назначению размеров крупногабаритных резьбовых соединений при конструировании промышленного оборудования, применение которых позволит реализовать на практике метод сборки соединений приложением осевых сил, что даст значительный технико-экономический эффект.

#### **Библиографический список**

1. Седуш, С. В. Расчет и конструирование гидравлических инструментов [Текст] / С. В. Седуш. — Донецк : Мир, 2004. — 152 с.
2. Седуш, В. Я. Сборка крупногабаритных резьбовых соединений методом приложения осевых сил [Текст] / В. Я. Седуш, С. В. Щербина // Защита металлургических машин от поломок: сб. науч. тр. — Мариуполь : ПГТУ, 2002. — Вып. 6. — С. 116–122.
3. Щербина, С. В. Создание силы предварительной затяжки в болтах крупногабаритных резьбовых соединений подшипниковых узлов роликов рольгангов блюмингов [Текст] / С. В. Щербина // Металлургические процессы и оборудование. — 2007. — № 4. — С. 39–42.
4. Расчет усилия предварительной затяжки резьбового соединения полого вала редуктора [Текст] / А. Л. Сотников и др. // Металлургические процессы и оборудование. — 2013. — № 2. — С. 50–57.
5. Щербина, С. В. Конструирование промежуточных деталей для сборки крупногабаритных резьбовых соединений гидравлическим устройством [Текст] / С. В. Щербина // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: межд. сб. науч. тр. — Донецк : ДонНТУ, 2008. — Вып. 35. — С. 262–268.
6. Седуш, С. В. Новый инструмент для сборки и разборки резьбовых соединений [Текст] / С. В. Седуш, С. В. Щербина, А. В. Нижник // Информационный листок № 80-94. — Донецк : Центр научно-технической и экономической информации, 1994. — 2 с.
7. Домкраты тензорные (шпильконатяжители) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kvalitet.pp.ua/product/1103261-domkrati-tenzornie-shpilkonatyagiteli.html>

© Сотников А. Л.

© Щербина С. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СИиИГ ЛГУ им. Даля Харламовым Ю. А.,  
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.*

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

**к.т.н. Сотніков О. Л., Щербина С. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)**

**ЗБИРАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ МЕТОДОМ  
ПРИКЛАДАННЯ ОСЬОВИХ СИЛ**

*На основі виконаного аналізу конструктивних особливостей промислового обладнання надані рекомендації по призначенню довжини болтів і розмірів верхніх деталей стику при конструюванні великогабаритних різьбових з'єднань із вимоги їх збирання методом прикладання осьових сил.*

**Ключові слова:** різьбове з'єднання, болт, метод прикладання осьових сил, гідроключ, конструювання, обладнання.

**PhD Sotnikov A. L., Shcherbina S. V. (DonNTU, Donetsk, DPR)**

**ASSEMBLY OF LARGE-SIZE SCREWED JOINTS BY AXIAL FORCES APPLICATION  
METHOD**

*Relying on executed analysis of design peculiarities of industrial equipment there have been given recommendations on using a certain length of bolts and dimensions of upper joint components at designing large-size screwed joints providing their assembly by axial forces application method.*

**Key words:** screwed joints, bolt, axial forces application method, hydraulic wrench, design, equipment.



УДК 669:628.16.06

к.т.н. Чебан В.Г.,  
Тумин А. Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛОННОГО УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО МОДУЛЯ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ

*Рулонный ультрафильтрационный модуль (РУФМ) стандартной конструкции характеризуется снижением продольной скорости очищаемой жидкости по длине напорного канала мембранного элемента (МЭ). Концентрация частиц в очищаемой жидкости при фильтрации в РУФМ непрерывно растет от входа в напорный канал до выхода из него. Поэтому становится очевидно что поддержание стабильной продольной скорости очищаемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ с непрерывным сбросом части загрязненной жидкости будет способствовать повышению технических характеристик РУФМ во времени. Предложена конструкция РУФМ, позволяющая поддерживать относительно стабильную продольную скорость очищаемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ.*

**Ключевые слова:** вода, ультрафильтрация, рулонный модуль, мембранный элемент, ячейка, производительность.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Металлургические предприятия являются огромными потребителями технической воды. Как правило, для водоснабжения предприятий используется только технический водопровод, по которому поступает вода из поверхностных водоисточников, прошедшая только грубую механическую очистку.

Традиционно на многих металлургических предприятиях вода из технического водопровода используется для систем охлаждения оборудования. Однако современные виды оборудования (например, компрессоры) для охлаждения требуют воды с характеристиками по взвешенным веществам и цветности, соответствующими воде питьевого качества.

Рулонный ультрафильтрационный модуль нашел применение практически во всех областях промышленности. Наиболее широко РУФМ используется в технологии водоподготовки и водоочистки для промышленных предприятий, для производства напитков и медицинских препаратов, в бытовых нуждах.

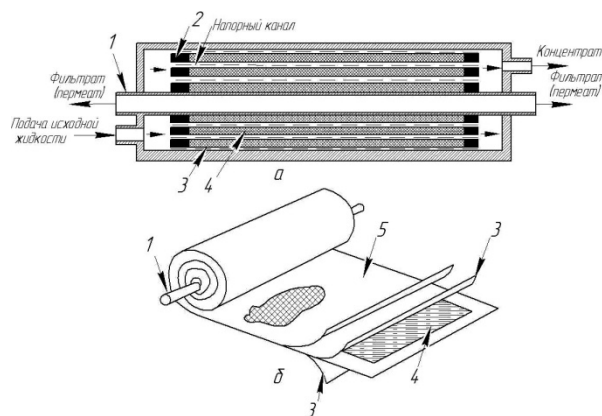
Ультрафильтрационная (УФ) очистка по сравнению с альтернативными технологиями водоподготовки для нужд промышленных предприятий имеет ряд преимуществ. Во-первых, установки УФ не требуют высокого давления для нормальной работы (необходимо создание давления до 10 атм); во-вторых, площадь помещения для размещения установки УФ гораздо меньше площади, занимаемой альтернативными системами фильтрации аналогичной производственной мощности. Соответственно, энергозатраты и себестоимость готовой продукции будут в разы ниже при выборе УФ способа водоподготовки технологической воды для нужд промышленных предприятий.

Существуют различные конструкции УФ модулей, но РУФМ давно признан самым оптимальным в технологическом и конструкционном плане, за счет высокой удельной поверхности мембран и отсутствия металлоёмких узлов в конструкции. Однако наряду с достоинствами РУФМ имеет и свои недостатки. Одним и самым важным, по нашему мнению, является снижение про-

дольной скорости очищаемой жидкости по длине напорного канала МЭ.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является создание конструкции РУФМ с относительно стабильной продольной скоростью течения исходной жидкости по длине напорного канала МЭ за счет изменения площади поперечного сечения напорного канала путем нанесения на сетку турбулизатор непроницаемой перегородки и разделения центральной трубки на два участка.

**Изложение материала и его результаты.** РУФМ — плоские мембраны, свернутые вокруг центральной трубки. Плотность МЭ в таком модуле, может достигать  $800 \text{ м}^2/\text{м}^3$  [1]. Механическая прочность модуля достигается за счет специальной клейкой ленты, которой обматывают МЭ после их навивки на центральную трубку. Весь процесс сборки роботизирован.



*a* – РУФМ, *б* – МЭ;

1 – трубка отвода пермеата; 2 – фиксатор;

3 – мембрана; 4 – дренажный материал;

5 – турбулизирующая сетка

Рисунок 1 РУФМ стандартной конструкции

РУФМ стандартной конструкции (рис. 1) содержит МЭ, состоящий из двух УФ мембран 3 с расположенным между ними дренажным материалом 4, который в виде спирали накручивается на трубку 1. Вместе с МЭ накручивается сетка турбулизатор 5, образующая спиральный канал (напорный), в который под давлением подается очищаемая (исходная) жидкость. В процессе навив-

ки МЭ кромки его проклеивают для герметизации: мембраны и дренажный материал со стороны пермеата (фильтрата) склеены по трем краям, образуя конверт. Увеличение производительности РУФМ достигается максимальным развитием площади мембран за счет увеличения ширины и длины МЭ, а также присоединения к отводящей трубке нескольких МЭ (пакетов).

Принцип работы РУФМ стандартной конструкции заключается в следующем. Исходная жидкость подается в напорный канал РУФМ, где происходит её фильтрация. Часть жидкости, обогащенная загрязнениями, выходит с противоположного конца модуля и называется концентратом. Прошедший через мембраны пермеат (фильтрат) движется по спиральному дренажному материалу к отводящей трубке, по которой и выводится из РУФМ.

Теоретическое исследование РУФМ стандартной конструкции [2] показало, что в случае тупиковой фильтрации продольная скорость загрязненной жидкости, подаваемой на модуль, падает по длине напорного канала (рис. 2).

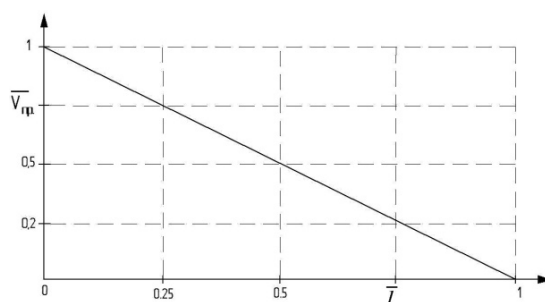


Рисунок 2 Изменение продольной скорости загрязненной жидкости по длине напорного канала РУФМ при тупиковой фильтрации

Существует критическое значение продольной скорости загрязненной жидкости в напорном канале РУФМ, при котором осадок на поверхности мембран не образуется [3].

Процесс фильтрации загрязненной жидкости в РУФМ часто сравнивают с процессом очистки в гидродинамических очистителях. Известно, что для тонкости очистки

загрязненной жидкости, равной  $1/3$  размера ячейки, в неполнопоточном гидродинамическом очистителе необходимо сбрасывать от 5 до 20 % подаваемой жидкости, чтобы добиться гидродинамического эффекта очистки проницаемой поверхности по всей длине напорного канала [4, 5, 6]. Отсюда следует, что разработка конструкции РУФМ с непрерывным сбросом части загрязненной жидкости и с относительно стабильной продольной скоростью очищаемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ имеет приоритетное значение.

Для достижения лучших условий очистки жидкости ее скорость в напорном канале должна быть постоянной [4, 6].

Поставленная задача достигается за счет изменения площади поперечного сечения напорного канала РУФМ путем нанесения на сетку турбулизатор непроницаемой перегородки и разделения центральной трубки на два участка.

Предложенная конструкция РУФМ (см. рис. 3) состоит из центральной трубки 6 с радиальными отверстиями, которая разделена непроницаемой перегородкой 4 на два участка (напорный  $AB$  и сливной  $AC$ ), и одного или нескольких мембранных пакетов 3, состоящих из двух мембран с расположенной между ними сеткой турбулизатором 2, отделяемых друг от друга дренажным листом 1.

Определение оптимальных координат непроницаемых перегородок 4 и 5 в РУФМ (рис. 3) для обеспечения наилучших показателей скорости течения исходной жидкости по всей длине напорного канала РУФМ описано в работе [7].

Принцип работы РУФМ предложенной конструкции заключается в следующем. Подача исходной жидкости  $Q_0$  в напорный канал МЭ осуществляется через радиальные отверстия, выполненные в центральной трубке 6 (рис. 3). Центральная трубка разделена на два участка  $x_0$  и  $(b - x_0)$  непроницаемой перегородкой 4 так, чтобы продольная скорость течения разделяемой жидкости в начале напорного канала  $AB$

была равна продольной скорости течения разделяемой жидкости в конце сливного канала  $AC$ . Благодаря непроницаемой перегородке 5, нанесенной на сетку турбулизатор 2, с фиксированными начальной и конечными координатами удастся поддерживать относительно стабильную продольную скорость течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала МЭ РУФМ [7]. Часть разделяемой жидкости, соответствующая выбранному режиму работы, пройдя через сечение  $AC$ , сливается через радиальные отверстия, выполненные в центральной трубке 6. Отвод фильтрата  $Q_\phi$  осуществляется по дренажному материалу через торцы МЭ РУФМ.

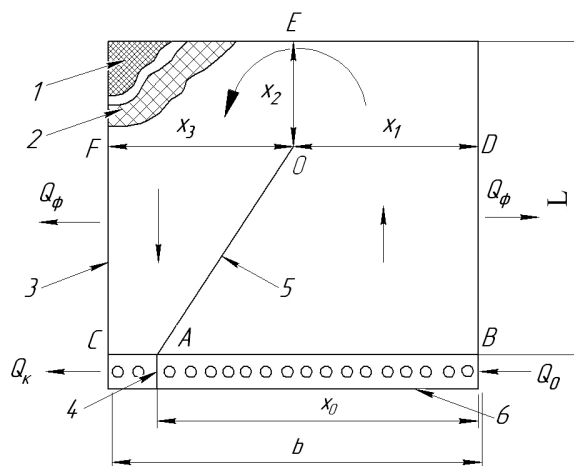


Рисунок 3 Схема предложенного РУФМ

Для проверки проведенных теоретических исследований кафедра ПГМ ДонГТУ приступила к созданию подобной УФ ячейки. После многочисленных экспериментов удалось создать рабочую УФ ячейку (рис. 4, 5), работающую в режиме тупиковой фильтрации, и снять показатели ее работы (рис. 6).

В опытах была использована УФ мембрана фирмы Desal membrane (рис. 7), предоставленная кафедре ПГМ заводом «Металлы и полимеры» (г. Алчевск).

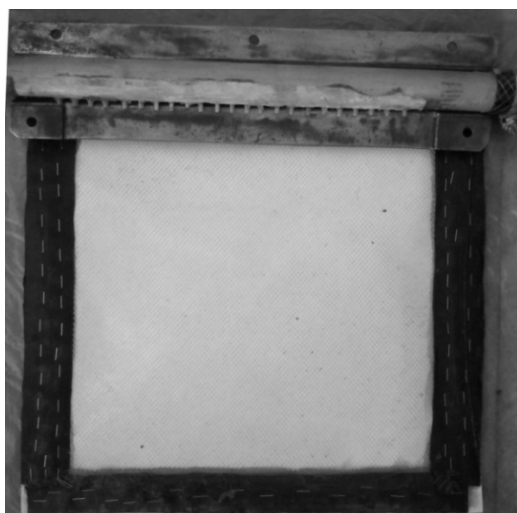


Рисунок 4 Часть МЭ экспериментальной  
УФ ячейки

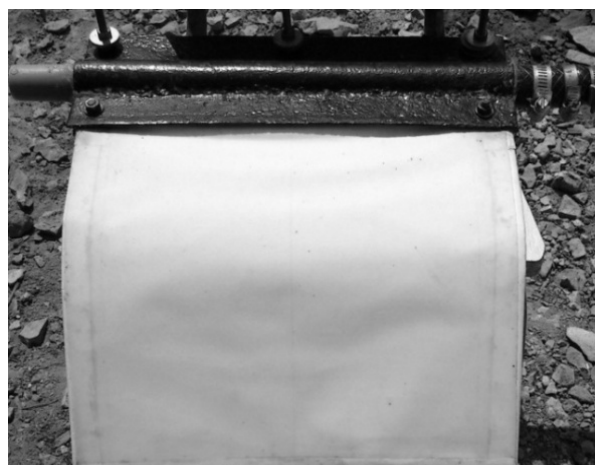
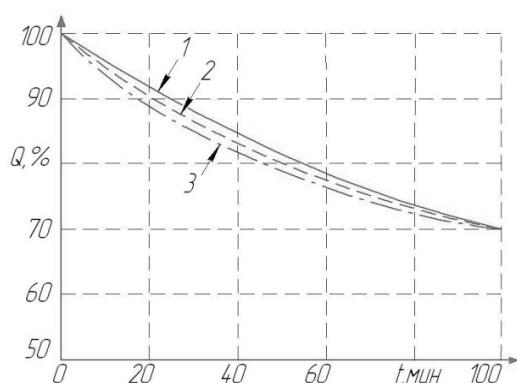


Рисунок 5 Экспериментальная УФ ячейка в  
сборе без напорного корпуса



1, 2, 3 – номер экспериментальной ячейки

Рисунок 6 Падение производительности  
экспериментальной УФ ячейки в режиме  
тупиковой фильтрации

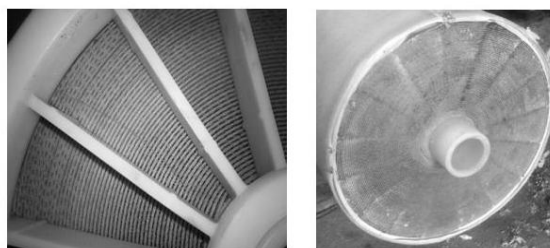


Рисунок 7 Разборка РУФМ

### Выводы и направление дальнейших исследований.

Предложенная конструкция РУФМ позволяет обеспечить относительно стабильное значение продольной скорости течения исходной жидкости по всей длине на-

порного канала РУФМ, что в конечном итоге приведет к повышению надежности и эффективности работы РУФМ.

На данном этапе идет создание подобной УФ ячейки, которая будет работать в режиме тангенциальной фильтрации.

### Библиографический список

1. Способ изготовления мембранного рулонного элемента [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru-patent.info/20/65-69/2069085.html>.
2. Тумин, А. Н. Теоретическое исследование характера течения воды в рулонном ультрафильтрационном модуле [Текст] / А. Н. Тумин // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы международной конференции. - Днепропетровск, 2014.
3. Дытнерский, Ю. И. Обратный осмос и УФ [Текст] / Ю. И. Дытнерский. - 1978. - 328 с.

4. Бревнов, А. А. Совершенствование гидродинамических фильтров за счет закрутки потока в кольцевой области снаружи фильтроэлемента [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Бревнов Александр Аркадьевич; СумДУ. – Сумы, 2009. – 166 с.
5. Коваленко, В. П. Смазочные и гидравлические масла для угольной промышленности [Текст]: справочник / В. П. Коваленко, З. Л. Финкельштейн. – М.: Недра, 1991. – 294 с.
6. Чебан, В. Г. Практический расчет фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2010. – Вып. 31. – С. 115-126.
7. Тумин, А. Н. Изменение конструкции рулонного ультрафильтрационного модуля для стабилизации продольной скорости течения разделяемой жидкости по всей длине напорного канала модуля [Текст] / А. Н. Тумин // Материалы международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта». – Днепропетровск, 2015. – С. 39 – 49.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М., гл. энергетиком КП «АПУВКХ» Ковалинским Г. Н.**

Статья поступила в редакцию 09.01.17.

**к.т.н. Чебан В. Г., Тумін О. М. (Дон ДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛОННОГО УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО МОДУЛЯ ЗА РАХУНОК ЗМІНИ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ**

Рулонний ультрафільтраційний модуль (РУФМ) стандартної конструкції характеризується зниженням поздовжньої швидкості рідини, що очищається по довжині напірного каналу мембранного елемента (МЕ). При цьому, концентрація частинок в рідині, що очищається при її фільтрації в РУФМ, безперервно зростає від входу в напірний канал до виходу з нього, тому стає очевидним, що підтримання стабільної поздовжньої швидкості рідини, що очищається по всій довжині напірного каналу МЕ з безперервним зливом частини забрудненої рідини, сприятиме підвищенню технічних характеристик РУФМ у часі. Запропонована конструкція РУФМ дозволяє підтримувати відносно стабільну поздовжню швидкість рідини, що очищається по всій довжині напірного каналу МЕ.

**Ключові слова:** вода, ультрафільтрація, рулонний модуль, мембранний елемент, ланка, продуктивність.

**PhD Cheban V.G., Tumin A.N. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **IMPROVING THE OPERATION CHARACTERISTICS OF ROLLED ULTRAFILTRATION MODULE BY CHANGING ITS DESIGN**

Rolled ultrafiltration module (RUFM) of standard design is characterized by reducing the longitudinal rate of the cleaned liquid along the length pressure passage of membrane element (ME). In this case, the concentration of particles in the purified fluid during its filtration in RUFM increases continuously from getting into the pressure passage, until leaving it, so it is clear that keeping a longitudinal cleaned liquid rate stable along the entire length of the pressure passage ME with continuous discharge of a part of contaminated liquid will provide the increase of technical characteristics of RUFM by time. The RUFM design, allowing to hold a relatively stable longitudinal rate of cleaned liquid over the entire length of the pressure passage ME is proposed.

**Key words:** water, ultrafiltration, rolled module, membrane element, cell, efficiency.



УДК 62-133.2+669

Власенко Д. А.,  
к.т.н. Левченко Э. П.,  
Бондарь Н. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ МОЛОТКОВ НА ОСИ РОТОРА НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА К ОТБОЙНОЙ ПЛИТЕ В УДАРНОЙ ДРОБИЛКЕ

*На основании зависимости закона сохранения кинетической энергии и закона сохранения импульсов молотков ударной центробежной дробилки и частицы материала, поступающей в рабочую зону дробления, приведены результаты исследований скоростей известняка после соударения по направлению к отбойной плите. В результате исследований выявлено увеличение скорости движения материала после удара молотками при комбинированном способе их установки на оси ротора по отношению к шарнирному креплению.*

**Ключевые слова:** скорость материала в рабочей зоне, молотковая дробилка, молотки, способы крепления молотков, отбойная плита.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Процессы дробления являются весьма распространенными и встречаются практически в любой отрасли производственной деятельности. Наиболее широкое применение они находят: в горнорудной промышленности при переработке полезных ископаемых; в химической промышленности при производстве минеральных удобрений, красителей и многих других видов продукции; в промышленности строительных материалов при производстве вяжущих материалов (цемента, извести, гипса), при изготовлении керамических, силикатных, бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

### Анализ исследований и публикаций.

Широкое применение процессы дробления и измельчения нашли в металлургии черных металлов, например, при диспергировании известняка и твердого топлива в агломерационном производстве [1].

Однако процесс дробления является весьма энергоемким, т. е. требует больших энергетических затрат и сопряжен с безвозвратной потерей металла из-за износа рабочих элементов. Так, в ряде работ [2, 3] отмечается, что в настоящее время на из-

мельчение затрачивается около 5-10% производимой в мире электроэнергии и несколько миллионов тонн высококачественной стали. Мощность привода молотковых дробилок в агломерационном производстве достигает 1000 кВт [4].

Большие энергетические затраты объясняются не только значительными объемами перерабатываемых материалов, но и тем, что используемые для дробления машины (особенно для помола) отличаются чрезвычайно низкой эффективностью и КПД их составляет, в лучшем случае, несколько процентов [1]. Поэтому многие исследователи в настоящее время занимаются разработкой новых эффективных машин для диспергирования материалов. Все более широкое применение находят молотковые дробилки.

Однако, несмотря на это, современные измельчители ударного действия имеют целый ряд недостатков, которые значительно снижают эффективность их работы.

### Цель (задачи) исследований.

Наряду с высоким износом рабочих элементов в данных дробилках большая часть подводимой энергии расходуется на измельчение материала именно за счет истирания, а не удара, что приводит к из-

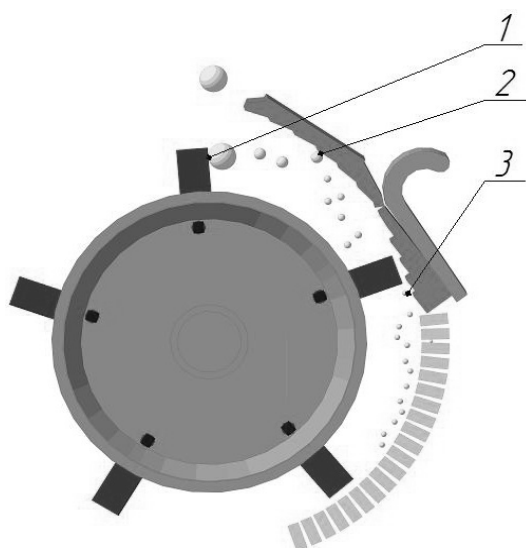
лишнему росту удельных энергозатрат на тонну готового продукта.

Так, например, по данным С.П. Джинджихадзе [5], в молотковой дробилке при линейной скорости молотков 110 м/с на дробление материала ударом расходуется только 16,9 % от всей подводимой энергии, а на измельчение истиранием — 83,1 %.

Одним из путей решения данной проблемы является уменьшение потери скорости движения частиц материала и молотков при их соударении.

#### Изложение материалов исследований.

Дробление в ударной дробилке проходит в три стадии (рис. 1): удар молотков по материалу; удар материала об отбойную плиту; истирание материала о поворотную плиту и колосниковую решетку.



1 – первая стадия; 2 – вторая стадия;  
3 – третья стадия

Рисунок 1 Стадии дробления в молотковой дробилке

Обозначим  $v'_1$  и  $v'_2$  как скорости молотков и частицы известняка после их соударения соответственно.

В данном случае можно воспользоваться законом сохранения кинетической энергии и законом сохранения импульса тел, вступающих во взаимодействие (в проекциях на ось  $x$ ) [6]:

$$\begin{cases} \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}, \\ m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \end{cases}, \quad (1)$$

где — масса молотка,  $m_2$  — масса частицы материала,  $v_1$  — скорость молотка до соударения,  $v_2$  — скорость частицы материала до удара.

Решив эту систему уравнений относительно  $v'_1$  и  $v'_2$ , получим:

$$v'_1 = \frac{2m_2 v_2 + (m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2}, \quad (2)$$

$$v'_2 = \frac{2m_1 v_1 + (m_2 - m_1) v_2}{m_1 + m_2}. \quad (3)$$

Так как скорость движения частицы материала в проекции на ось  $x$  равна нулю (примем, что загружаемый материал падает вертикально), то формулы (2, 3) примут следующий вид:

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2}, \quad (4)$$

$$v'_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \quad (5)$$

В данном случае нас интересует скорость частицы материала  $v'_2$ , а точнее, скорость нескольких фрагментов материала, образовавшихся после удара.

Согласно теории сохранения энергии, их скорость будет равна скорости всей частицы материала до процесса разрушения.

Эта скорость окажет влияние на величину импульса, от которого будет зависеть сила удара частиц об отбойную плиту, влияющая, в свою очередь, на эффективность дробления известняка в этой стадии.

Рассмотрим два случая: шарнирное соединение молотков с осью [4] (все молотки устанавливаются на ось ротора свободно) и комбинированное [7], когда все молотки в ряду установлены на оси неподвижно, а ось в отверстиях ротора молотковой дробилки не фиксируется.



При шарнирном соединении молотка с осью (рис. 2) при ударе во взаимодействие с частицей вступает масса только одного молотка из всего ряда, установленного на оси ротора.

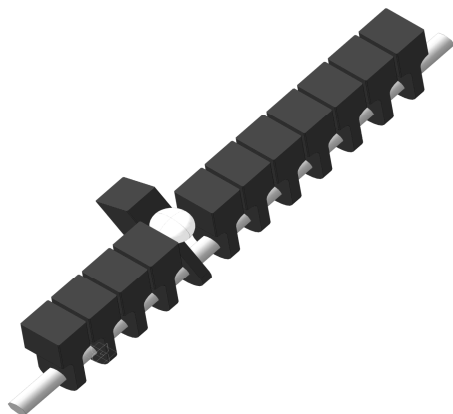


Рисунок 2 Схема соударения частицы при шарнирном соединении молотков

При контактном взаимодействии с куском материала одного молотка используется формула (5):

$$v'_2 = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2}.$$

При комбинированном соединении на материал воздействует сила удара всех молотков в ряду, следовательно, необходимо учитывать массу всех бил, установленных на оси подвеса на роторе (рис. 3).

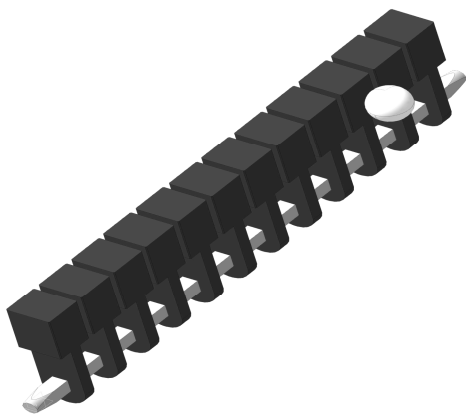


Рисунок 3 Схема соударения частицы при комбинированном соединении молотков

Таким образом, скорость движения дробимого материала после удара будет определяться как:

$$v'_2 = \frac{2nm_1v_1}{nm_1 + m_2}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество молотков в ряду, для дробилки ДМРиЭ 1450×1300 в условиях ПАО «АМК»  $n=12$  шт.

Принимая значение средней фракции поступающего на производство агломерата известняка равным 60 мм (соответственно массу куса материала  $m_2=2,53$  кг) и массу молотка  $m_1=17,1$  кг, определим скорости молотков для двух типов крепления.

Для шарнирного:

$$v'_{2\text{шар}} = \frac{2m_1v_1}{m_1 + m_2} = 93,056 \text{ м/с}.$$

Для комбинированного:

$$v'_{2\text{комб}} = \frac{2nm_1v_1}{nm_1 + m_2} = 105,539 \text{ м/с}.$$

Таким образом, наблюдается увеличение скорости движения материала по направлению к отбойной плите (рис. 4) на 13 %, что, в свою очередь, скажется на эффективности второй стадии дробления в молотковой дробилке — разрушения известняка при ударе о плиту.

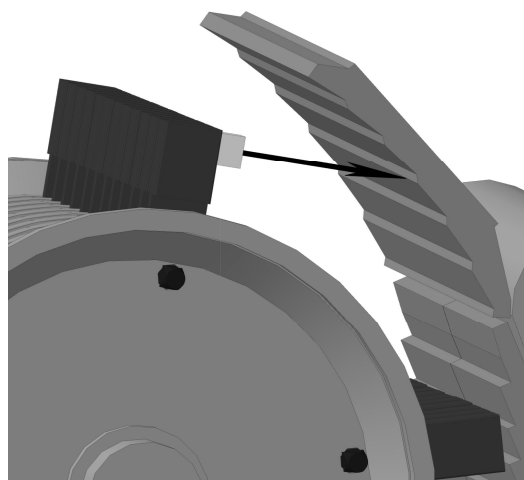


Рисунок 4 Схема движения частицы материала после удара молотков к отбойной плите

**Выводы.**

Таким образом, в результате исследований выявлено увеличение на 13 % скорости движения материала после удара молотками при комбинированном способе установки молотков на оси ротора по отношению к шарнирному креплению.

Перспективным направлением изучения процесса дробления известняка в молотковых дробилках ударного действия комбинированного типа является математическое

моделирование диспергирования материала в ее рабочих зонах с целью определения степени увеличения прироста выхода годной фракции в каждой стадии измельчения и всего процесса в целом.

В настоящее время такие работы проводятся в Донбасском государственном техническом университете с привязкой к агломерационному и коксохимическому производству ПАО «Алчевский металлургический комбинат».

**Библиографический список**

1. Серго, Е. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых [Текст] / Е. Е. Серго. — М. : «Недра», 1985. — 282 с.
2. Гийо, Роже. Проблема измельчения материалов и ее развитие [Текст] / Роже Гийо. — М. : Стройиздат, 1964. — 110 с.
3. Власенко, Д. А. Энергозатраты ударных дробилок с жестким и шарнирным креплением бил к ротору [Текст] / Д. А. Власенко, О. И. Павлиненко, Э. П. Левченко // Металлургические процессы и оборудование: Вестник научных трудов. — Донецк, 2016. — № 3. — С. 21–26.
4. Машины и агрегаты металлургических заводов: в 3 т.: Т. 1. / А. И. Целиков, и др. [Текст]. — М. : Металлургия, 1987. — 440 с.
5. Джинджихадзе, С. П. Исследование энергоемкости процесса дробления фуражного зерна в молотковых дробилках [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 08.04.01 / Джинджихадзе Сурен Петрович. — Тбилиси : ТГУ, 1965. — 35 с.
6. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики [Текст] : учебн. для втузов; / С. М. Тарг. — 10-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1986. — 416 с.
7. Власенко, Д. А. Эффективность дробления известняка в дробилках с вращающимся ротором при реализации различных способов воздействия на материал ударом [Текст] / Д. А. Власенко // «Молодежь и XXI век — 2016»: Материалы VI Международной молодежной научной конференции. — Курск, 2016. — С. 94–98.

© Власенко Д. А.

© Левченко Э. П.

© Бондарь Н. А.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
д.т.н., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ, проф. Еронько С. П.**

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

**Власенко Д. О., к.т.н. Левченко Е. П., Бондар Н. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

### **ВПЛИВ СПОСОБУ КРІПЛЕННЯ МОЛОТКІВ НА ОСІ РОТОРА НА ШВИДКІСТЬ РУХУ ВАПНЯКУ ДО ВІДБІЙНОЇ ПЛИТИ В УДАРНИЙ ДРОБАРЦІ**

На підставі залежності закону збереження кінетичної енергії і закону збереження імпульсів молотків ударної відцентрової дробарки і частки матеріалу, що надходить в робочу зону дроблення, наведені результати досліджень швидкостей вапняку після зіткнення у напрямку до відбійної плити. В результаті досліджень виявлено збільшення швидкості руху матеріалу після удару молотками при комбінованому способі установки молотків на осі ротора по відношенню до шарнірного кріплення.

**Ключові слова:** швидкість матеріалу в робочій зоні, молоткова дробарка, молотки, способи кріплення молотків, відбійна плита.

**Vlasenko D.A., Ph.D. Levchenko E.P., Bondar N.A.** (*DonSTU, Alchevsk, LPR*)

**INFLUENCE OF HAMMERS FASTENING TECHNIQUE TO ROTOR AXIS ON THE LIME FEED RATE MOVING TO THE IMPACT PLATE IN THE IMPACT CRUSHER**

*Based on the law of kinetic energy conservation and the law of impulses conservation for hammers of impact centrifugal crusher and a material grain coming into the crushing working zone, the investigation results of limestone after-collision rate towards the impact plate are given. Investigation results have shown the increase of material rate after hammering at combined method of hammers fastening to the rotor axis relative to the hinge.*

**Key words:** *material rate in the working zone, hammer crusher, hammers, hammer fastening methods, impact plate.*

УДК 622.647.2

Долгих В. П.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, [linercos@mail.ru](mailto:linercos@mail.ru))

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВИЖЕНИЮ ТЯГОВОГО ОРГАНА УЧАСТКОВОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

На основании результатов компьютерного моделирования сопротивлений движению тягового органа в программном комплексе ANSYS Workbench была разработана уточненная методика тягового расчета участкового ленточного конвейера. Полученная модель позволила учесть физико-механические свойства элементов системы «груз–лента–роlikоопора», конструктивные и режимные параметры конвейера. Выполнено сравнение предлагаемой методики с типовой методикой тягового расчета. Показано, что в результате применения модели элементов системы «груз–лента–роlikоопора» в программном комплексе ANSYS Workbench, отражающей напряженно-деформированные состояния представленных элементов, удалось повысить качество расчетов потребляемой приводом мощности и суммарного тягового усилия.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, лента, роlikоопора, тяговый расчет, компьютерная модель, ANSYS Workbench, сопротивление движению, натяжение.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Важнейшим резервом повышения эффективности шахтных конвейеров является снижение сопротивлений движению тягового органа (ТО) с грузом на линейной части конвейерного става, например, путем рационализации конструктивных и эксплуатационных параметров конвейера, регулирования скорости и первоначального натяжения ленты. Обоснование диапазона регулирования режимных параметров позволит приблизиться к решению вопросов повышения надежности, снижения энергопотребления и материалоемкости конвейеров.

Главной составляющей мероприятий, касающихся совершенствования конвейера или режимов его эксплуатации, является тяговый расчет. В настоящее время повсеместно используется типовая методика тягового расчета шахтных ленточных конвейеров [1], основанная на экспериментально полученных интегральных коэффициентах сопротивления движению ленты. Проводимые по данной методике расчеты не позволяют оценить эффективность регулирования, так как не отражают на прямую влияние на сопротивление движению ленты с грузом многих факторов, в

том числе уровня натяжений и скорости тягового органа.

Чтобы исследовать сложные нелинейные процессы в системе «груз–лента–роlikоопора» (ГЛР) ленточных конвейеров, рядом ученых были задействованы мощные пакеты программ, позволяющие оценить влияние конструктивных и режимных факторов на сопротивление движению тягового органа. Известна, например, методика тягового расчета трубчатых ленточных конвейеров, основанная на методах компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS [2].

Существует потребность в подобной методике тягового расчета для шахтных ленточных конвейеров, которая учитывала бы взаимодействия элементов системы «груз–лента–роlikоопора», конструктивные и режимные параметры конвейера, условия эксплуатации и пр. и служила инструментом для создания доказательной базы мероприятий по совершенствованию конвейеров и выбору режимов их работы.

**Постановка задачи.** Задачей компьютерных исследований является разработка уточненной методики тягового расчета участкового ленточного конвейера, полученная на основании моделирования сопротивлений

движению ленты в программном комплексе ANSYS Workbench.

**Изложение материала и его результаты.** Отличительным признаком предлагаемой методики тягового расчета ленточного конвейера является то, что вместо экспериментально полученных интегральных коэффициентов сопротивления движению ТО, выбор которых зачастую ничем не обоснован, сопротивления движению любого участка ТО представляются в виде суммы локальных сопротивлений, возникающих в зонах контакта ленты с роlikоопорами.

В соответствии с уточненной методикой сила сопротивления движению ленты с грузом на каждой  $i$ -й трехроlikовой опоре конвейера с жестким ставом определяется по формуле:

$$W_i = W_{срi} + 2W_{би} + W_{врi}, \quad (1)$$

где  $W_{срi}$ ,  $W_{би}$  — силы сопротивления на среднем и боковых роliках  $i$ -й роlikоопоры от деформаций ленты и груза;  $W_{врi}$  — сила сопротивления вращению роliков  $i$ -й роlikоопоры, вызванная, в основном, сопротивлением вращению подшипников.

Составляющие  $W_{срi}$  и  $W_{би}$  сопротивления движению ленты  $W_i$  определяются в результате компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния элементов системы ГЛР.

Для расчета сопротивления движению ленты по роlikоопоре применяется метод, основывающийся на компьютерном моделировании напряженно-деформированного состояния (НДС) взаимодействующих элементов системы «груз-лента-роlikоопоры» (ГЛР) в программном комплексе ANSYS Workbench.

В соответствии с методом имитируется процесс измерения реакции роlikоопоры на воздействие ленты, аналогичный процессу измерения при проведении физического эксперимента [3].

Моделируется фрагмент линейной части конвейерного става с тремя трехроlikовыми опорами, на которых располагается натянутая с усилием  $S$  резинотканевая лента, например, ЕР-800/4-5+2, с насыпным грузом – углем (рис. 1).

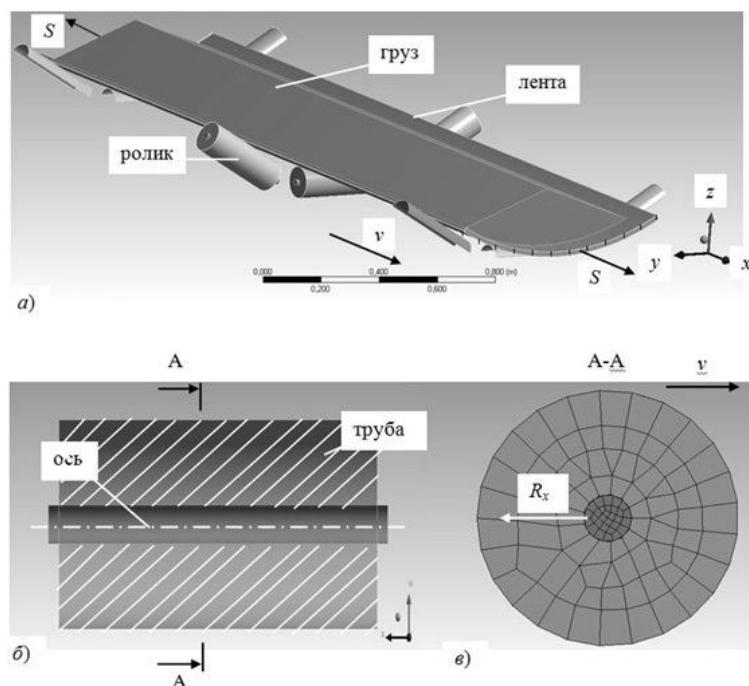


Рисунок 1 Компьютерная модель системы ГЛР  
(а), продольное (б) и поперечное (в) сечения роliка

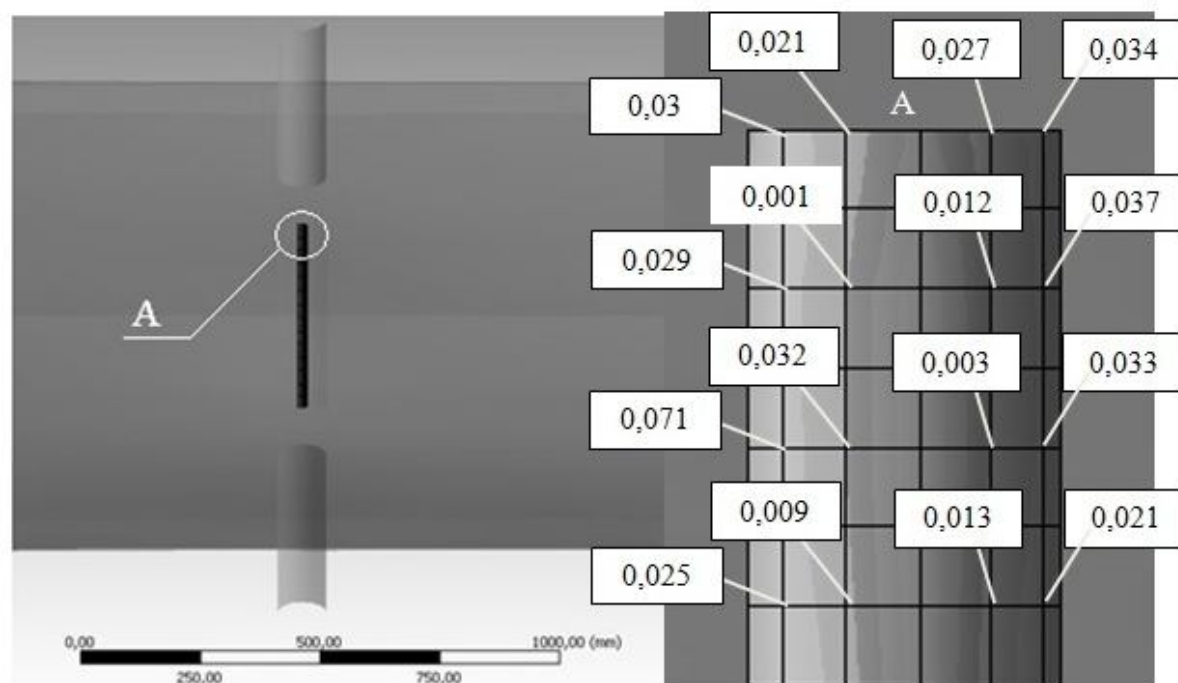


Рисунок 2 Картина распределения напряжений  $\sigma_x$  (МПа) на оси среднего ролика в зоне ее контакта с вращающейся частью

Лента представляется в виде композиции гиперупругих резиновых обкладок и сердечника, груз — в виде модели Drucker-Prager, ролики — в виде упругодеформируемой трубы, вращающейся на твердотельной неподвижной оси. Обоснование свойств резиновых обкладок приведено в работе [4]. Между контактирующими поверхностями ленты и трубы ролика, трубы и оси предполагается фрикционная связь; в первом случае коэффициент трения принимается равным 0,15 (резина по стали), а во втором случае — нулю.

Для определения общей силы сопротивления движению на роликоопоре были проведены специальные исследования на компьютерной модели системы ГЛР методом конечных элементов по определению реакций опоры — осей роликов.

При прохождении ленты с грузом или без него через роликоопору на внутренней поверхности обечайки роликов, которая в

модели непосредственно контактирует по всей своей длине с осью, возникают нормальные напряжения  $\sigma_x$  (рис. 2).

Сила сопротивления движению ленты от ее деформаций (вдавливания, изгибных нагрузок) равняется  $R_X$  — сумме проекций  $R_{Xi}$  (здесь  $i$  — номер ролика) на ось координат  $X$ , направленную в сторону движения ТО. «Измерение» реакции  $R_{Xi}$  оси каждого  $i$ -го ролика, осуществляемое в процессе моделирования, наглядно представлено на рисунке 3. Поскольку в основу комплекса ANSYS Workbench положен метод конечных элементов, то на определенном этапе моделирования поверхности труб и осей роликов приобретают граненую форму. Рассчитываются нормальные к каждой  $j$ -ой находящейся в контакте с осью грани внутренней поверхности трубы напряжения  $\sigma_{nij}$ , а затем — соответствующие им проекции  $\sigma_{Xij}$  на ось  $X$ -ов.

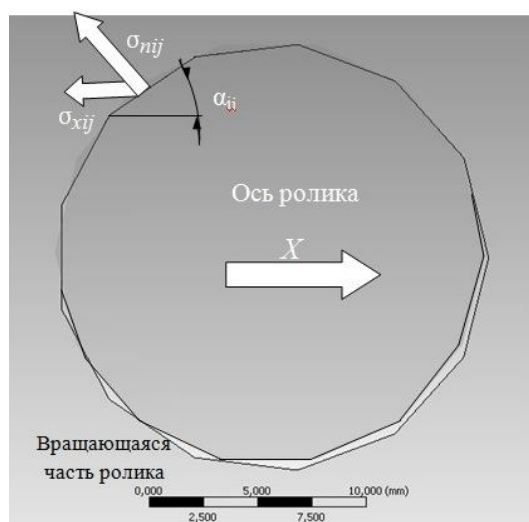


Рисунок 3 Распределение напряжений  $\sigma_x$  на оси  $X$  вращающейся части среднего ролика

Составляющая общей силы сопротивления движению на отдельной площадке, образуемой  $i$ -м элементом внутренней поверхности обечайки ролика, определяется по формуле:

$$R_{Xi} = \sum_{j=1}^{i_{\max}} \sigma_{Xij} \Omega_{ij}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{Xij}$  — проекция на ось  $x$  напряжения  $\sigma_{xnj}$ , нормального к поверхности  $i$ -й площадки;  $\Omega_{ij}$  — площадь  $j$ -ой грани  $i$ -ой оси.

Так как исследуется трехроlikовая модель роlikоопоры, окончательная формула для определения силы сопротивления примет вид:

$$R_X = \sum_{i=1}^3 R_{Xi}. \quad (3)$$

Проекция  $\sigma_{Xij}$  подставляется в формулу (2) со знаком «+», если направление  $\sigma_x$  совпадает с направлением оси  $x$ , т. е. с направлением движения ленты, в противном случае — со знаком «−».

Нормальная площадь контакта определяется по формуле:

$$\Omega_{ij} = l_{\text{гр}ij} b_{\text{кэ}ij} \sin \alpha_{ij}, \quad (4)$$

где  $l_{\text{гр}i}$  — длина внутренней грани вращающейся части ролика;  $b_{\text{кэ}i}$  — ширина  $i$ -й площадки (в данном случае  $b_{\text{кэ}i} = 0,01$  м);  $\alpha_i$  — угол между осью  $x$  и  $i$ -й площадкой.

Сопротивление  $W_i$ , так же как  $W_{\text{ср}i}$  и  $W_{\text{б}i}$ , является функцией натяжения ленты перед  $i$ -й роlikоопорой  $S_i$ , скорости движения ленты  $v$  и погонной массы груза  $q$  (при расчете сопротивлений грузовой ветви). Поскольку натяжения, в свою очередь, зависят от сопротивлений движению, то  $W_i$  и  $S_i$  определяются в результате решения системы рекуррентных уравнений:

$$\begin{cases} W_i(S_i) = W_{\text{ср}i}(S_i) + 2W_{\text{б}i}(S_i) + W_{\text{вр}i}; \\ S_{i+1} = S_i + W_i(S_i) + W_{y,i,i+1}, \end{cases}$$

где  $W_{y,i,i+1}$  — сила сопротивления движению ТО от уклона на участке става между  $i$ -й и  $i+1$ -й роlikоопорами.

При расчетах по типовой методике, как известно, вначале определяются сопротивления движению отдельных участков ТО, которые предполагаются инвариантными к скорости конвейера и уровню натяжений ТО, затем тяговое усилие привода  $W_0$  и на его основании, исходя из логических условий нормального функционирования конвейера, — усилие натяжения  $S_0$  на сбегавшей с привода ветви ТО.

При расчете по предлагаемой методике, как видно из выражения (5), для определения  $W_i$  и  $S_{i+1}$  необходимо предварительно провести расчет сопротивлений движению на всех роlikоопорах с номерами  $j = 1, 2, \dots, i - 1$  последовательно, начиная с  $j = 1$ . Также, в результате суммирования всех локальных сопротивлений  $W_i$ , определяется тяговое усилие  $W_0$  на приводных барабанах. При всем этом необходимо знать исходное натяжение  $S_0$ , которое должно удовлетворять ряду логических условий и рассчитываться на основании  $W_0$ . Такая взаимообусловленность  $W_0$  и  $S_0$  предполагает для их определения решение системы алгебраических уравнений высокого порядка, что сопряжено с трудностями вычислительного харак-



тера. Проблема разрешается в результате применения метода последовательных приближений (метода итераций). При этом исходное значение  $S_0$  рекомендуется определять по типовой методике, хотя оно может задаваться произвольным образом. После первого шага расчета, который заканчивается определением  $W_{0,1}$  и  $S_{i,1}$  (индекс 1 обозначает первую итерацию), на основании полученных расчетных значений определяется новое, более точное значение  $S_{0,1}$ , удовлетворяющее условиям допустимого провеса ленты и отсутствия пробуксовки. В случае значительной погрешности проводится второй шаг расчета и т. д. Расчет прекращается при достижении заданной точности  $\varepsilon$ , т. е. при выполнении условия

$$\frac{|S_{i,k} - S_{i,k-1}|}{S_{i,k-1}} \leq \varepsilon,$$

где  $k$  — номер итерации.

Для получения зависимости натяжения грузовой ветви  $S(x)$ , где  $x$  — координатная ось (рис. 4), начало которой (точка  $O$ ) находится в точке 3 тягового контура, необходимо составить дифференциальное уравнение равновесия элементарного участка ТО с грузом  $dx$ , на который вдоль оси  $x$  действуют силы натяжения  $S$  и  $S + dS$ , сила  $dW_y$  от уклона и сила сопротивления движению  $dW$ , определяемые по формулам:

$$dW_y = (q_l + q_r + q'_p)g \sin \beta dx; \quad (5)$$

$$dW = (q_l + q_r + q'_p)gw(x) \cos \beta dx, \quad (6)$$

где  $q_l$ ,  $q'_p$  — погонная масса ленты и приведенная погонная масса вращающихся частей роликов;  $g$  — ускорение свободного падения;  $\beta$  — угол установки конвейера;  $w(x)$  — коэффициент сопротивления движению ленты с грузом:

$$w(x) = w(S(x), v, q) + w_{вр}, \quad (7)$$

где  $w(S(x), v, q)$  — коэффициент сопротивления движению от деформаций ленты и груза, являющийся функцией натяжения ленты, скорости и погонной массы груза;  $w_{вр}$  — коэффициент сопротивления движению, возникающего при вращении роликов.

Уравнение статического равновесия элементарного участка  $dx$  представляется в виде:  $S + dS - S - dW - dW_y = 0$ .

Отсюда после подстановки выражений (5) и (6) получим:

$$dS = [(q + q_l + q'_p)gw(x) \cos \beta + (q + q_l) \sin \beta] dx. \quad (8)$$

Выражение  $W(S, v)$  удобно применять при обосновании регулирования  $v$  или натяжений и  $v$ , а выражение  $W(S, q)$  — при обосновании регулирования натяжений.

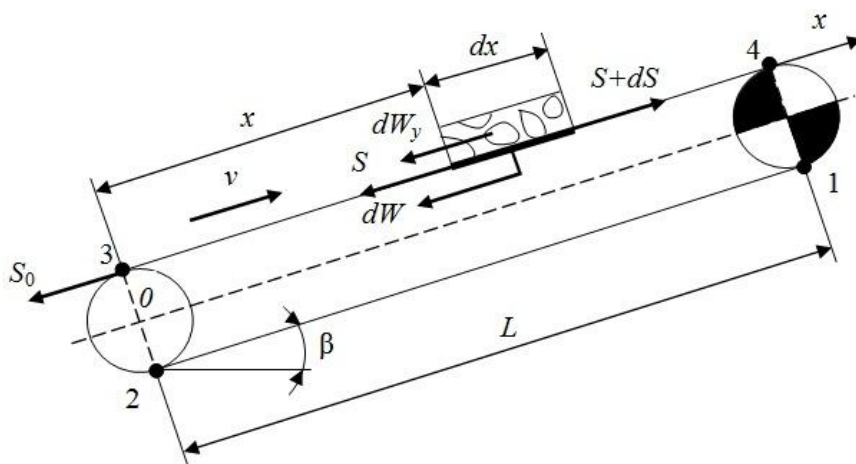


Рисунок 4 Схема конвейера для определения натяжений тягового органа

Значение коэффициента сопротивления движению  $w_{вр}$ , возникающего при вращении роликов, определяется по формулам, приведенным в работе [5].

Тяговый расчет участкового шахтного конвейера 1Л800Д проводится для следующих параметров: ширина ленты — 800 мм; диаметр роликов — 0,108 м; расстояние между роlikоопорами верхней ветви — 1,2 м.

Граничные значения приложенного к торцам ленты растягивающего усилия  $S$  — это определяемые в результате тягового расчета наименьшее натяжение грузовой ветви тягового органа порожнего конвейера и, соответственно, максимальное значение натяжения полностью загруженного конвейера. В данном случае для конвейера 1Л800Д длиной 600 м  $S_{\min} = 7,5$  кН;  $S_{\max} = 37,5$  кН.

Хотя исходные факторы  $S$ ,  $v$  и  $q$ , а также величина  $W$  при моделировании рассматриваются как детерминированные величины, для обработки исходных данных была применена известная программа STATISTICA, предназначенная для обработки статистических данных и планирования эксперимента с построением регрессионных зависимостей. Планирование двухфакторных компьютерных экспериментов осуществлялось в соответствии с ортогональным центральным композиционным планом второго порядка. При определении зависимостей  $W(S, v)$  и  $W(S, q)$  варьировались факторы  $S$ ,  $v$  и  $S$ ,  $q$  соответственно. Верхний и нижний уровни фактора  $S$  — 37,5 и 7,5 кН; фактора  $v$  — 2,5 и 0,5 м/с; фактора  $q$  — 70 и 14,58 кг/м.

В результате компьютерного эксперимента получены следующие аналитические зависимости:

при  $S = \text{var}$ ,  $v = \text{var}$  и  $q = 70$  кг/м

$$W(S, v) = 21,078 - 0,89S + 12,05v - 0,0047Sv + 0,016S^2 + 0,8v^2 \quad (9)$$

при  $S = \text{var}$ ,  $q = \text{var}$  и  $v = 2$  м/с

$$W(S, q) = 39,98 - 2,01S + 0,48q + 0,002Sq + 0,031S^2 - 0,004q^2. \quad (10)$$

Отсюда после деления на  $(q + q_{л} + q'_{п})gl \cos \beta$  получаются коэффициенты сопротивления движению  $w(S, v)$  и  $w(S, q)$ .

Выражение (8) с учетом формул (9) или (10), разделенных на  $(q + q_{л} + q'_{п})gl \cos \beta$ , представляется в виде:

$$dS = [A(S(x))^2 + BS(x) + C]dx, \quad (11)$$

где, например, при подстановке выражения (9)

$$A = 1,5 \cdot 10^{-6}(q + q_{л} + q'_{п})g \cos \beta;$$

$$B = (-0,93 \cdot 10^{-3}S - 6,6 \cdot 10^{-6}v) \times \\ \times (q + q_{л} + q'_{п})g \cos \beta$$

$$C = (0,01 + 1,2 \cdot 10^{-2}v + 0,7 \cdot 10^{-3}v^2 + w_{п}) \times \\ \times (q + q_{л} + q'_{п})g \cos \beta + (q + q_{л})g \sin \beta.$$

Решение дифференциального уравнения (12) методом разделения переменных имеет вид:

$$S(x) = \sqrt{\frac{4AC - B^2}{4A^2}} \operatorname{tg} \left[ A \sqrt{\frac{4AC - B^2}{4A^2}} \times \right. \\ \left. \times \left( x + \frac{1}{A \sqrt{\frac{4AC - B^2}{4A^2}}} \arctg \frac{S_0 + \frac{B}{2A}}{\sqrt{\frac{4AC - B^2}{4A^2}}} \right) \right] - \frac{B}{2A}. \quad (12)$$

В данном случае  $S_0$  — натяжение ТО в точке  $O$  (на рисунке 4 — точка 3 тягового контура).

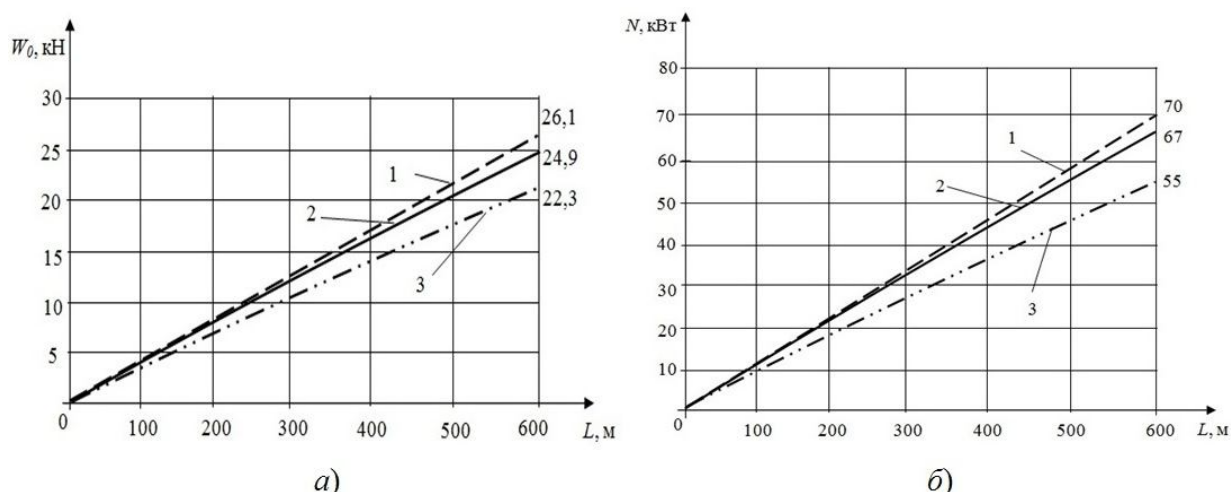


Рисунок 5 Графики зависимости  $W_0$  (а) и мощности привода  $N$  (б) от длины конвейера ( $L$ ):  
 1 – по типовой методике; 2 – по уточненной методике (формула (9));  
 3 – по уточненной методике (формула (10))

Как показывают расчеты, сопротивление движению порожней ветви ТО  $W_p$ , а затем и  $S_0$  с достаточной точностью могут быть определены по типовой методике.

На рисунке 5 показаны графические зависимости суммарного тягового усилия ( $W_0$ ), мощности привода ( $N$ ), рассчитанные по типовой и уточненной методикам, от длины шахтного ленточного конвейера 1Л800Д. Принимались следующие исходные данные:  $v = 0,5, 1$  и  $2$  м/с;  $q = 70$  кг/м;  $\beta = 0$ .

Из анализа зависимостей, полученных по двум методикам, видно, что по мере увеличения  $L$  темп возрастания  $S$  уменьшается, а, следовательно,  $W_0$  и  $N$  — возрастают, что соответствует представлениям о формировании сопротивлений движению на роликоопоре от изгибов ленты и груза.

Характер кривых подтверждает эффективность использования уточненной методики тягового расчета. Как известно, в типовой методике тягового расчета не предусмотрена корректировка расчетного алгоритма, который бы позволил уменьшить величину затрат, связанных с сопротивлением движению. В этом случае величина  $W_0$  задается на стадии проектирования и

больше не меняется. При использовании уточненной методики и регулирования скорости движения ТО удастся снизить максимальную величину  $W_0$  в пределах 4,6–14,5 %, а потребляемую приводом мощность — 4,2–21,4 %.

Если принять во внимание, что применяемый в типовой методике нормативный коэффициент сопротивления движению  $w$ , равный 0,04, при заданных расчетных данных обеспечивает достаточно высокую точность расчетов, то такое сравнительно небольшое расхождение расчетных величин, обусловленное нелинейным характером изменения  $S_i$ , указывает на адекватность принятой при разработке предлагаемой методики модели ГЛР и правильность расчетов по самой методике.

### Выводы и направление дальнейших исследований.

Таким образом, к достоинствам предлагаемой методики следует отнести возможность учитывать влияние режимных параметров, что делает ее эффективным инструментом для обоснования режимов управления натяжением и скоростью конвейера ТО, например, по критерию потребления приводом электрической энергии.

## Библіографічний список

1. Основные положения по проектированию подземного транспорта для новых и действующих шахт [Текст]. — М. : Минуглепром СССР, 1986. — 356 с.
2. Дмитриев, В. Г. Методика тягового расчета ленточного трубчатого конвейера [Текст] / В. Г. Дмитриев, Н. В. Сергеева // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М., 2011. — Вып. 7. — С. 218–228.
3. Долгих, В. П. Моделирование системы «груз–конвейерная лента–роlikоопоры» в программном комплексе ANSYS Workbench [Текст] / В. П. Долгих // Форум горняков 2014: материалы междунар. конф. — Днепропетровск: НГУ, 2014. — С. 121–128.
4. Корнеев, С. В. Коэффициенты модели Муни-Ривлина в пакете программ ANSYS, полученные для обкладочной резины шахтных конвейерных лент [Текст] / С. В. Корнеев, В. П. Долгих // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2014. — Вып. 42. — С. 45–49.
5. Корнеев, С. В. Анализ факторов, определяющих силу сопротивления вращению роликов ленточных конвейеров [Текст] / С. В. Корнеев, В. П. Долгих // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2013. — Вып. 41. — С. 33–36.

© Долгих В. П.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяновским В. Н., к.т.н., зав. каф. ГЭМиТС СУНИГОТ ЛГУ им. Даля Петровым А. Г.**

Статья поступила в редакцию 09.01.17.

**Долгих В. П.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

# МОДЕЛЮВАННЯ ОПОРІВ РУХУ ТЯГОВОГО ОРГАНУ ДІЛЬНИЧНОГО СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

На підставі результатів комп'ютерного моделювання опорів руху тягового органу в програмному комплексі ANSYS Workbench була розроблена уточнена методика тягового розрахунку дільничного стрічкового конвеєра. Отримана модель дозволила врахувати фізико-механічні властивості елементів системи «вантаж–стрічка–роlikоопори», конструктивні та режимні параметри конвеєра. Показано, що в результаті застосування моделі елементів системи «вантаж–стрічка–роlikоопори» в програмному комплексі ANSYS Workbench, що відображає напружено-деформовані стани представлених елементів, вдалося підвищити якість розрахунків споживаної приводом потужності та сумарного тягового зусилля.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, стрічка, роlikоопора, тяговий розрахунок, комп'ютерна модель, ANSYS Workbench, опір руху, натяг.

**Dolgikh V. P.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

# MODELLING OF RUNNING RESISTANCE OF A TRACTIVE CHAIN OF A LOCAL BELT CONVEYOR

The amended method for tractive calculation of a local belt conveyor has been developed basing on the results of computer modelling the running resistance of a tractive chain using the software package ANSYS Workbench. The obtained model allowed taking into account the physical and mechanical properties of system elements «load-belt-roller carriage», design and regime factors of conveyor. It is proved that usage of partial model of system elements «load-belt-roller carriage» in the software package ANSYS Workbench illustrating the stress-strain state of given elements resulted in improving the quality of calculations for power drive supply and gross tractive effort.

**Key words:** belt conveyor, belt, roller carriage, draft calculations, computer model, ANSYS Workbench, running resistance, tension.

УДК 621.69

Челядина А. Л.  
(ЛГТУ, г. Липецк, Россия)

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОЭЖЕКТОРНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ СОЕДИНЕНИЯ

Рассматривается возможность создания сложных высоконапорных гидроэжекторных (гидроэлеваторных) систем, исследование, моделирование и анализ процесса переноса материала при последовательном, параллельном и комбинированном соединениях устройств.

**Ключевые слова:** гидроэжектор, гидроэлеватор, низконапорные системы, высоконапорные системы, гидропривод, гидроавтоматика.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Под гидроэжекторной (гидроэлеваторной) системой принято понимать систему, включающую центробежный насос и один или несколько эжекторов, соответствующим образом скомпонованных между собой. Система считается сложной, если число эжекторов в ней больше одного.

### Анализ исследований и публикаций.

Наибольшее применение получили простые непрерывные низконапорные системы. Эти системы малопроизводительны из-за своей цикличности. Поэтому наибольший интерес для исследования представляют сложные непрерывные высоконапорные системы, построенные на основе низконапорных эжекторов (гидроэлеваторов) [1, 2].

Для анализа работы гидроэжекторных систем необходимо использовать напорные характеристики вида  $\beta = f(\alpha)$ , выраженные в относительных единицах. В данном случае  $\alpha$  — коэффициент расхода,  $\beta$  — коэффициент напора. Такие характеристики подобны характеристикам, выраженным в натуральных единицах, но позволяют значительно проще выполнять анализ различных по типу гидроэжекторных систем. Для исследования работы гидроустройств использовался учебно-исследовательский стенд по гидроприводу и гидроавтоматике с ПО «Zetlab».

### Цель (задачи) исследований.

При анализе параллельной работы двух одинаковых эжекторов и моделировании процесса была определена суммарная характеристика, показывающая, что такая система имеет удвоенную производительность (рис. 1). При этом суммарный предельный напор (при  $\alpha = 0$ ) остается таким же, как и у любого из одиночных эжекторов [3].

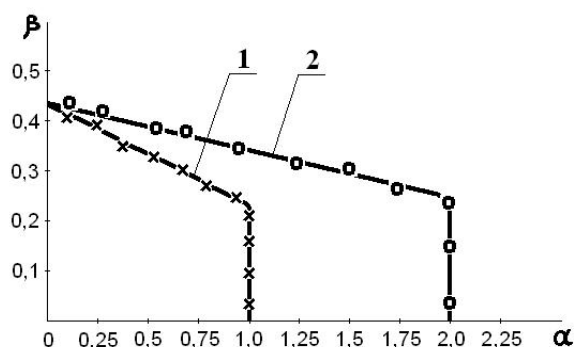


Рисунок 1 Безразмерные характеристики одного (1) и двух (2) эжекторов при их параллельной работе

Анализ последовательной работы двух одинаковых эжекторов и моделирование процесса показали, что напор, развиваемый системой, складывается при неизменной производительности (рис. 2). Это подтверждает возможности практического использования различных вариантов последовательного соединения аппаратов при создании высоконапорных гидроэжекторных систем.

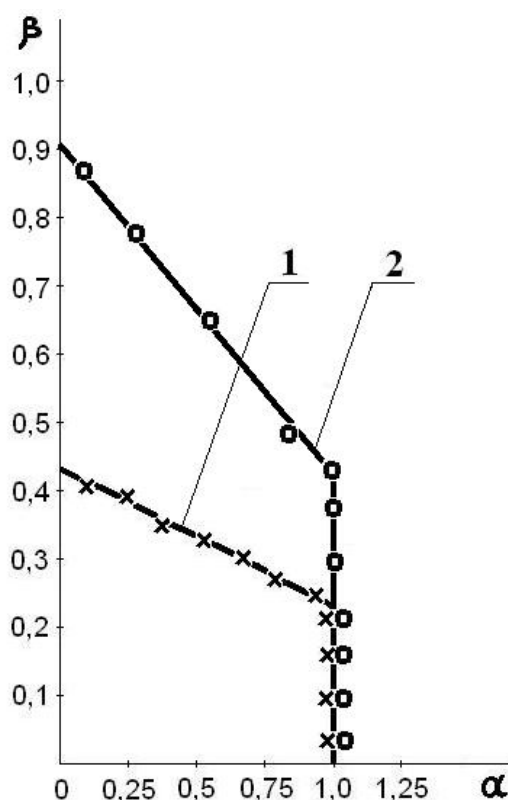


Рисунок 2 Безразмерные характеристики одного (1) и двух (2) эжекторов при их последовательной работе

Это подтверждает возможности практического использования различных вариантов последовательного соединения аппаратов при создании высоконапорных гидроэжекторных систем.

#### Изложение материалов исследований.

При моделировании процесса работы сложных гидроэжекторных систем были заданы параметры: максимально возможный кпд и высота поднятия материала [4, 5]. Оценка выполнялась для трех вариантов схем: параллельной, последовательной и последовательно-зависимой (комбинированной) работы эжекторов. При этом были сделаны допущения:

- минимальное количество эжекторов в системе, при этом производительность и рабочий напор остаются одинаковыми для любой из исследуемых схем;

- все эжекторы, входящие в систему, работают в оптимальном режиме ( $\alpha = 1$ ,  $\beta = 0,25$ );
- коэффициент скорости насадки эжектора  $\varphi_0 = 1$ ;
- суммарный коэффициент внутреннего сопротивления эжектора  $\xi = 0$ ;
- система работает на чистой воде

Особенностью последовательно-зависимой (комбинированной) схемы работы гидроэжекторов (рис. 3) является использование суммарного потока предыдущего аппарата как рабочего для последующего. Такая схема может применяться в случаях, когда при минимальном расходе рабочего потока необходимо обеспечить максимальную производительность транспортирования материала на малое расстояние. При моделировании для оптимального режима было определено, что производительность системы увеличивается в три раза, а напор уменьшается почти в четыре раза по сравнению с напором первого эжектора ( $\alpha = 3$ ,  $\beta = 0,0625$ ,  $\eta = 0,1875$ ). При этом кпд системы оказывается меньше, чем у одного устройства.

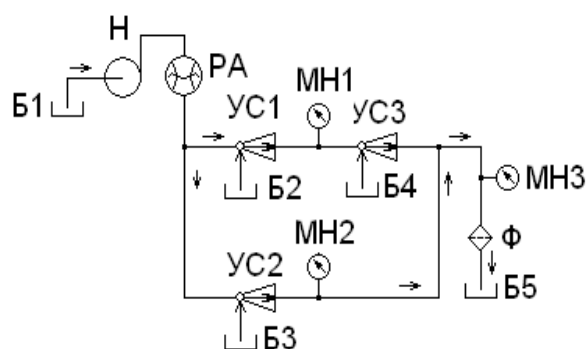


Рисунок 3 Схема последовательно-зависимой (комбинированной) работы эжекторов

При моделировании комбинированной работы эжекторов (рис. 4) в оптимальном режиме было определено, что производительность системы снижается, но при этом увеличивается напор ( $\alpha = 0,33$ ,  $\beta = 0,5$ ,  $\eta = 0,165$ ).



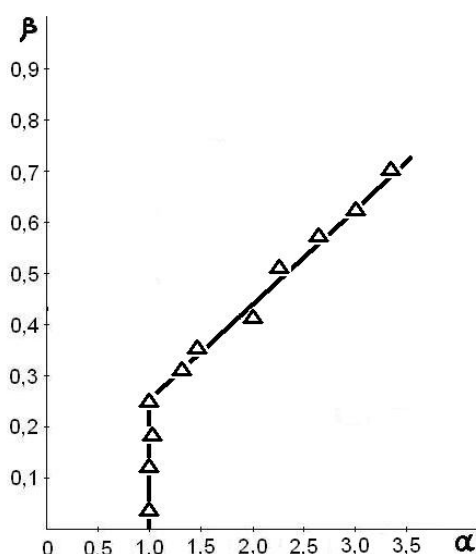


Рисунок 4 Безразмерные характеристики работы двух эжекторов при их комбинированной работе

При суммировании полученных данных получают следующие характеристики:

- параллельная система —  $\alpha = 0,73$ ,  $\beta = 0,31$ ,  $\eta = 0,2$ ;

- последовательная система —  $\alpha = 0,33$ ,  $\beta = 0,5$ ,  $\eta = 0,165$ ;

- комбинированная система —  $\alpha = 3,0$ ,  $\beta = 0,0625$ ,  $\eta = 0,1875$ .

#### Выводы.

Из анализа полученных данных видно, что по высоте подъема материала наиболее перспективной является схема последовательной работы устройств, обеспечивающая максимальный напор. Комбинированная система по своим параметрам не может быть использована для создания высоконапорных систем.

#### Библиографический список

1. Челядина, А. Л. Перспективы использования гидро- и пневмоэлеваторов в промышленности [Текст] / А. Л. Челядина // Наука и производство Урала : межрегиональный сборник научных трудов. — Новотроицк : НФ МИСиС, 2008. — С. 99–100.
2. Цупров, А. Н. Основы металлургического гидропривода [Текст]: учеб. пособие для вузов / А. Н. Цупров, А. П. Жильцов, Н. А. Чиченев. — Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2008. — 308 с.
3. Кунанбаев, А. К. Разработка гидроэлеваторных систем для транспортирования пульпы в условиях шахт Джезканганского горно-металлургического комбината [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. К. Кунанбаев. — Караганда : КарПИ, 1985. — 27 с.
4. Фридман, Б. Э. Гидроэлеваторы [Текст] / Б. Э. Фридман. — М. : Машиз, 1960. — 323 с.
5. Безуглов, Н. Н. Метод расчета гидроэлеваторов. Механизация и автоматизация горных работ [Текст] / Н. Н. Безуглов. — М. : Металлургия, 1967. — С. 422 – 427.

© Челядина А. Л.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СИиИГ ЛГУ им. Даля Харламовым Ю. А., к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.

Статья поступила в редакцию 27.01.17.

Челядина А. Л. (ЛДТУ, м. Липецк, Росія)

#### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОЕЖЕКТОРНИХ СИСТЕМ ПРИ РІЗНИХ СХЕМАХ З'ЄДНАННЯ

Розглядається можливість створення складних високонапірних гідроежекторних (гідроелеваторних) систем, дослідження, моделювання і аналіз процесу перенесення матеріалу при послідовному, паралельному і комбінованому з'єднаннях пристроїв.

**Ключові слова:** гідроежектор, гідроелеватор, низьконапірні системи, високонапірні системи, гідропривід, гідроавтоматика.



**Cheliadina A. L.** (*Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation*)

**INVESTIGATION THE HYDRO EJECTOR SYSTEM OPERATION IN VARIOUS CONNECTING CIRCUITS**

*Possibility to develop sophisticated high-pressure hydro ejector (hydro elevator) systems has been examined as well as its investigation, modeling and the analysis of material transfer process at consequent, parallel and combined units connections.*

**Key words:** *hydro ejector, hydro elevator, low-pressure systems, high-pressure systems, hydraulic drive, hydro automatic system.*

**ТРЕБОВАНИЯ**  
**к рукописям научных статей в сборник научных трудов**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**  
**ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**  
**«ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Научные статьи, предоставляемые в редакцию, должны соответствовать требованиям ВАК МОН ДНР (Приложение 1 к правилам формирования в уведомительном порядке перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора (п.4)) и базовым издательским стандартам по оформлению статей по ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания».

Сборник научных трудов издается 1-4 раза в год. Сборник формирует информационный отдел: 94204, г. Алчевск, пр. Ленина, 16, ДонГТУ, тел/факс (06442) 2-68-87, e-mail: [info@dstu.education](mailto:info@dstu.education) (тема: для редакции сборника научных трудов ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ»), секретарь редакционной коллегии Скомская Светлана Анатольевна.

Сборник содержит следующие разделы: «Науки о земле», «Металлургия и материаловедение», «Машиностроение и машиноведение», «Строительство и архитектура», «Экономические науки».

Содержание статей должно отвечать новым достижениям науки и техники, их практическому значению, соответствовать технической направленности сборника и представлять интерес для широкого круга специалистов.

В статье должно быть кратко изложено то новое и оригинальное, что разработано авторами, показано преимущество перед аналогами предлагаемых разработок, описаны их особенности и практическая значимость. Результаты работы не должны предоставляться в виде тезисов.

Ответственность за нарушение авторских прав, несоблюдение действующих стандартов и за недостоверность приведенных в статье данных полностью несут авторы статьи.

Статья должна сопровождаться:

- подписью корректора издательско-полиграфического центра (каб. 2115);
- внутренней и внешней рецензиями (на усмотрение автора, рекомендовано два вида рецензий: рецензия в произвольном изложении; международная форма рецензирования статьи);
- лицензионным договором с автором(и);

Авторы сторонних организаций дополнительно сопровождают статью рекомендательным письмом.

Текст статьи предоставляется на электронном носителе и в печатном виде, сопроводительная документация только в печатном виде.

Рекомендуемое количество авторов статьи до 3-х человек. При необходимости, по решению редколлегии, количество авторов может быть увеличено до 5-ти.

Языки предоставления статей: русский, английский, украинский.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Текст рукописи статьи от 5 до 10 страниц в книжной ориентации, на белой бумаге формата А4 (210х297 мм), с полями: верхнее, нижнее — 27 мм; левое — 23 мм, правое — 25 мм. Различать колонтитулы четных и нечетных страниц: от края до верхнего колонтитула — 2 см.; от края до нижнего колонтитула — 2 см. Страницы не нумеруются. Рукопись статьи оформляется с применением редактора MS Word (не ниже версии 6.0 и не старше версии 11(2003)) шрифтом Times New Roman, размером 12 пт, одинарным интервалом, выравниванием по ширине, абзацным отступом 0,5 см. Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть активирована. Весь материал подается в черно-белом оформлении (без градиентов серого или цветовой палитры). Не допускается использование списков (маркированных и нумерованных) и элементов «Надпись». Запрещается вставлять в рукопись сканированные рисунки (графики, диаграммы) и другие неизменяемые объекты (формулы).

### **Оформление статей**

Статья подается отдельным файлом «Статья.doc».

УДК проставляется вверху, выравнивание по левому краю, шрифт полужирный, без абзацного отступа.

Через один интервал — ученая степень, фамилия, инициалы, разделенные пробелом. С новой строки в круглых скобках — название организации, название города, страны, e-mail автора, через запятую. Шрифт полужирный, курсив, выравнивание по правому краю, без абзацного отступа.

С новой строки — название статьи, выравнивание по центру, шрифт Ariel, полужирный, видоизменение: все прописными, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца — 12 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. Не допускается набор всего названия заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация на языке публикации, курсивом, размером 11 пт.

После аннотации с новой строки — ключевые слова (6–8 слов на языке статьи), курсивом, размером 11 пт, интервал после абзаца — (Авто). Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

С новой строки — текст статьи в две колонки, интервал между колонками 0.5 см.

Слова «рисунок» и «таблица» в упоминаниях по тексту пишутся полностью (Пример: «... на рисунке 2 ...»), а в ссылках в конце предложения пишется сокращенно в скобках (Примеры: «... схема инвертора (рис. 2).», «... получены экспериментальные данные (табл. 4).»).

После текста статьи полужирным шрифтом размером 11 пт, располагается заголовок «Библиографический список», интервал перед абзацем — 12 пт, после абзаца — 8 пт, выравнивание по левому краю.

Библиографический список оформляется согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» размером 11 пт, курсивом и должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки. Рекомендованное количество ссылок — не более восьми источников с датой их издания не ранее чем 20 лет назад.

Через один интервал — ученая степень, фамилия, инициалы, полное название организации, название статьи, аннотации и ключевые слова приводятся на оставшемся языке из двух (русский, украинский), размером шрифта 11 пт.

Ученая степень, фамилия, инициалы оформляются полужирным шрифтом, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. В круглых скобках, курсивом, через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора.

С новой строки, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю — название статьи заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация, курсивом.

С новой строки — ключевые слова, курсивом. Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

### **Оформление аннотаций отдельным файлом**

Аннотация и ключевые слова дополнительно подаются на двух языках (русский, украинский) отдельным файлом «*Аннотация.doc*», размером шрифта 11 пт.

Ученая степень, фамилия, инициалы оформляются полужирным шрифтом, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. В круглых скобках, курсивом через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора. С новой строки, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю — название статьи заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация, курсивом.

С новой строки — ключевые слова, курсивом. Фраза «Ключевые слова» выделяется полужирным начертанием.

Не допускается внедрение в текст аннотации объектов (формул, рисунков, и т. д.).

### **Оформление рефератов отдельным файлом**

Реферат подаётся на двух языках (русский, украинский) отдельным файлом «*Реферат.doc*», размером шрифта 11 пт, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть выключена.

Фамилия, имя, отчество оформляются полужирным шрифтом.

С новой строки — ученая степень, должность.

С новой строки — название подразделения.

С новой строки через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора.

Через интервал повторить данные для каждого автора.

Через интервал — название статьи (полужирным начертанием).

Через интервал — реферат. Реферат объемом от 200 до 300 слов исключительно общепринятой терминологии должен быть структурированным и содержать следующие элементы: цель, методика, результаты, научная новизна, практическая значимость. Фразы «Цель.», «Методика.», «Результаты.», «Научная новизна.», «Практическая значимость.» (на русском языке), «Мета.», «Методика.», «Результати.», «Наукова новизна.», «Практична значущість.» (на украинском языке), «Aim.», «Technique.», «Results.», «Scientific novelty.», «Practical significance.» (на английском языке) размещаются с новой строки и выделяются полужирным начертанием. Реферат не должен повторять название статьи.

Не допускается внедрение в текст реферата объектов (формул, рисунков, и т. д.).

### **Рисунки**

Рисунки вставляются в текст единым объектом и могут быть представлены:

– *растровыми форматами* — gif, tiff, jpg, bmp и им подобными (качество 300 dpi);

– *векторными форматами* — emf, wmf.

Рисунки, выполненные в программах Corel, CAD, Word и др., переводятся в один из описанных выше форматов, предпочтительно векторные.

Графический материал следует располагать непосредственно после текста, в котором он упоминается впервые или на следующей странице. Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте и нанесены слева направо, сверху вниз. Перед рисунком интервал 12 пт. Выравнивание по центру, ширина в одну колонку (большие рисунки располагают на ширину страницы, вверху или внизу страницы). Рисунки размещают в тексте (не в таблицах), обтекание рисунка — «в тексте». Все рисунки подаются дополнительно отдельными файлами.

Допускается размещение пояснительных данных под иллюстрацией (подрисуночный текст) с выравниванием по центру без абзацного отступа, размером 10 пт.

Под каждым рисунком (подрисуночным текстом) располагается надпись в формате «Рисунок № Название» с выравниванием по центру без абзацного отступа, интервалом перед и после абзаца — (Авто), размером 11 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. Статья не должна заканчиваться рисунком. Рекомендуется, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла не более 25% общего объема.

### **Формулы**

Абзац, содержащий формулы, должен иметь следующие параметры: выравнивание по левому краю, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца 6 пт, позиции табуляции — 3,75 см по центру (для расположения формулы) и 7,85 см по правому краю (для расположения номера формулы). Формулы целиком (включая размерности) выполняются с помощью редактора формул Microsoft Equation 3 математическим стилем, обычное начертание шрифта (нормальный), со следующими размерами:

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс) .....	9 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс) .....	7 pt
Symbol (крупный символ).....	14 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	12 pt
Формат .....	по центру
Междустрочный интервал .....	200%

Недопустимо масштабирование формул и размещение формул в табличном формате. В одном блоке формулы, попадающем на границу колонок, допускается только одна строка (многострочные формулы разбиваются на блоки). Упоминание элементов формул по тексту статьи также выполняется в редакторе формул.

### **Таблицы**

Все таблицы располагаются после упоминания в тексте и должны иметь нумерационный заголовок и название, размер шрифта 11 пт. Нумерационный заголовок (*Таблица 1*) выравнивается по правому краю над таблицей, курсив, интервал перед абзацем — 12 пт. С новой строки помещают название выравниванием по центру, без абзацного отступа, интервал после абзаца — 6 пт с запретом автоматического переноса слов в абзаце.

Таблица выравнивается по центру контейнера, в книжной ориентации, шириной в 1 колонку (большие таблицы располагаются на ширину страницы, вверху или внизу страницы). Текст в таблице оформляется размером шрифта 11 пт или 12 пт, без абзацного отступа. Не допускается заливка ячеек таблицы цветом. Запрещается располагать таблицу в альбомной ориентации. После таблицы отступается один интервал.

## СОДЕРЖАНИЕ

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<b>Литвинский Г. Г.</b> БУДУЩИЕ ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ .....	5
<b>Корнеев С. В., Зотов В. А.</b> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ НАТЯЖНЫМ УСТРОЙСТВОМ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА.....	11
<b>Паламарчук Н. В., Паламарчук Т. Н.</b> ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЯД МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ШАХТНОГО И РУДНИЧНОГО ВОДООТЛИВА.....	19
<b>Шульгин П. Н.</b> АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.....	24
<b>Давиденко В. А., Ноженко А. А.</b> ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕОБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....	31
<b>Лиман С. А.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ НИВЕЛИРОВАНИЯ.....	37

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<b>Еронько С. П., Ошовская Е. В., Стародубцев Б. И., Цыхмистро Е. С.</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МИНИ-КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ.....	45
<b>Кухарев А. Л., Корсунов К. А., Сергиенко С. Н.</b> РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В ЭЛЕКТРОПЕЧНЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ И ФЕРРОСПЛАВОВ.....	52
<b>Еронько С. П., Ющенко М. В., Мечик С. В., Антонов А. Ю., Якуша В. Н.</b> РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДОЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ СЛЯБОВЫХ МНЛЗ.....	58
<b>Левченко Э. П., Рутковский А. Ю., Крыжановский К. Г., Долотина А. В.</b> ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВ.....	63
<b>Пасечник С. Ю., Пасечник А. Ю.</b> СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ.....	69
<b>Мороз В. В., Левченко Э. П., Зинченко А. М., Левченко О. А.</b> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ КРУПНОСТИ ГОТОВОГО АГЛОМЕРАТА В ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКЕ .....	74
<b>Левченко Э. П., Тумин А. Н., Онищенко Н. Э.</b> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА В ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛКАХ .....	81
<b>Павлиненко О. И., Левченко Э. П., Левченко О. А., Бондарь Н. А.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАСКАЛЫВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ.....	86
<b>Левченко Э. П., Тумин А. Н., Алферов Н. Г.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСКОВЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ .....	92

**Ткачев М. Ю., Ошовская Е. В.**

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДА ПЕРЕТАЛКИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ БЫСТРОЙ СМЕНЫ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ СЛЯБОВОЙ МНЛЗ.....	97
---	----

#### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

**Дрозд Г. Я.**

РАЗВИТИЕ СЕКТОРА ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНЕ — НАСТОЯТЕЛЬНАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ.....	105
--	-----

**Будзило Е. Е., Усенко В. Н., Горовая Н. А., Николаева Е. К.**

К ВОПРОСУ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ.....	113
--	-----

**Емец Е. В., Карапетян С. Х., Никишина И. А.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ НА РАБОТУ РАМНЫХ СИСТЕМ.....	118
---	-----

#### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

**Алимов В. И., Георгиаду М. В., Генкузина В. О., Георгиадис Т.**

РАЗМЕРНОЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ....	125
---	-----

**Гахов П. Ф., Харитоненко А. А.**

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЫЧАЖНО-ЭКСЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ШАГАЮЩИХ БАЛОК ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 200 Т.....	131
--	-----

**Бочаров А. В.**

ЗНАЧЕНИЕ ЦЕНТРОВКИ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	139
---	-----

**Чебан В. Г.**

МЕТОД РАСЧЕТА ШАРОВОГО ОЧИСТИТЕЛЯ.....	146
--	-----

**Зинченко А. М., Кучма С. Н., Стародубов С. Ю.**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКОМ .....	153
--	-----

**Вишневский Д. А., Коробов Р. Ю.**

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С ПОЛНЫМ ЦИКЛОМ.....	161
--	-----

**Сотников А. Л., Щербина С. В.**

СБОРКА КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ПРИЛОЖЕНИЯ ОСЕВЫХ СИЛ.....	167
--	-----

**Чебан В. Г., Тумин А. Н.**

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛОННОГО УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО МОДУЛЯ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ.....	175
--	-----

**Власенко Д. А., Левченко Э. П., Бондарь Н. А.**

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ МОЛОТКОВ НА ОСИ РОТОРА НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА К ОТБОЙНОЙ ПЛИТЕ В УДАРНОЙ ДРОБИЛКЕ .....	180
---	-----

**Долгих В. П.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВИЖЕНИЮ ТЯГОВОГО ОРГАНА УЧАСТКОВОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА .....	185
--	-----

**Челядина А. Л.**

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГИДРОЭЖЕКТОРНЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ СОЕДИНЕНИЯ .....	193
---	-----



## ЗМІСТ

## НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

<b>Литвинський Г. Г.</b> МАЙБУТНІ ГІРНИЧІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ.....	5
<b>Корнєєв С. В., Зотов В. О., Доброногова В. Ю.</b> ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАТЯЖНИМ ПРИСТРОЄМ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА.....	11
<b>Паламарчук М. В., Паламарчук Т. Н.</b> ПАРАМЕТРИЧНИЙ РЯД МОДЕРНІЗОВАНИХ НАСОСІВ ДЛЯ ШАХТНОГО ТА РУДНИЧНОГО ВОДОВІДЛИВУ.....	19
<b>Шульгін П. М.</b> АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КОНТУРНОГО ПІДРИВАННЯ ДЛЯ СПОРУДЖЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК.....	24
<b>Давиденко В. А., Ноженко О. О.</b> ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РОБОЧИХ РІДИН ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПИЛОУТВОРЮЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ .....	31
<b>Ліман С. А.</b> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ НІВЕЛЮВАННЯ.....	37

## МЕТАЛУРГІЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<b>Єронько С. П., Ошовська О. В., Стародубцев Б. І., Цихмістро О. С.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ МІНІ-КОНВЕРТЕРА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПОБУТОВИХ І ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ МЕТАЛ .....	45
<b>Кухарєв О. Л., Корсунів К. А., Сергієнко С. М.</b> РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ В ЕЛЕКТРОПІЧНИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ ТА ФЕРОСПЛАВІВ.....	52
<b>Єронько С. П., Ющенко М. В., Мечік С. В., Антонов А. Ю., Якуша В. М.</b> РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ДОЗОВАНОЇ ПОДАЧІ ІШЛАКОУТВОРЮВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ У КРИСТАЛІЗАТОРИ СЛЯБОВИХ МБЛЗ.....	58
<b>Левченко Е. П., Рутковський О. Ю., Крижановський К. Г., Долотіна Г. В.</b> ДОПОМІЖНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНЕПИЛЕННЯ ПОВІТРЯ В УМОВАХ КОКСОХІМІЧНОГО ТА МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА .....	63
<b>Пасечник С. Ю., Пасечник А. Ю.</b> СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОДОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ.....	69
<b>Мороз В. В., Левченко Е. П., Зинченко А. М., Левченко О. О.</b> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗНИЖЕННЯ КРУПНОСТІ ГОТОВОГО АГЛОМЕРАТУ В ОДНОВАЛКОВІЙ ЗУБЧАСТІЙ ДРОБАРЦІ.....	74
<b>Левченко Е. П., Тумін О. М., Онищенко М. Е.</b> ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОПРИВОДУ У ЩОКОВИХ ДРОБАРКАХ.....	81
<b>Павлиненко О. І., Левченко Е. П., Левченко О. О., Бондарь Н. А.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗКОЛЮВАННЯ СТАЛЬНОГО ДРОБУ У КУЛЬКОВОМУ МЛИНІ.....	86
<b>Левченко Е. П., Тумін О. М., Алфьоров М. Г.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ.....	92

<b>Ткачов М. Ю., Ошовська О. В.</b> АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПРИВОДУ ПЕРЕШТОВХУЮЧОГО ПРИСТРОЮ СИСТЕМИ ШВИДКОЇ ЗАМІНИ ЗАНУРЮВАЛЬНИХ СТАКАНІВ СЛЯБОВИХ МБЛЗ .....	97
---	----

#### БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

<b>Дрозд Г. Я.</b> РОЗВИТОК СЕКТОРА ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ НА ЛУГАНЩИНІ – НАГАЛЬНА НЕОБХІДНІСТЬ.....	105
<b>Будзило О. Є., Усенко В. М., Горова Н. А., Ніколаєва О. К.</b> ДО ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЛИВОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ.....	113
<b>Ємець О. В., Карапетян С. Х., Нікішина І. О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОДАТЛИВОСТІ ОСНОВИ НА РОБОТУ РАМНИХ СИСТЕМ.....	118

#### МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАШИНОЗНАВСТВО

<b>Алімов В. І., Георгіаду М. В., Генкузіна В. О., Георгіадіс Т.</b> РОЗМІРНЕ ХІМІКО-ТЕРМІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТУ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ.....	125
<b>Гахов П. Ф., Харитоненко А. А.</b> МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВАЖИЛЬНО-ЕКСЦЕНТРИКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ КРОКУЮЧИХ БАЛОК ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 200 Т.....	131
<b>Бочаров А. В.</b> ЗНАЧЕННЯ ЦЕНТРУВАННЯ РОТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ СУЧАСНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	139
<b>Чебан В. Г.</b> МЕТОД РОЗРАХУНКУ КУЛЬОВОГО ОЧИСНИКА.....	146
<b>Зинченко А. М., Кучма С. М., Стародубов С. Ю.</b> ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАСТРОЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НАРІЗАННІ РІЗЬБИ МІТЧИКОМ .....	153
<b>Вишневський Д. О., Коробов Р. Ю.</b> АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА РЕМОНТУ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ З ПОВНИМ ЦИКЛОМ.....	161
<b>Сотніков О. Л., Шербина С. В.</b> ЗБИРАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ МЕТОДОМ ПРИКЛАДАННЯ ОСЬОВИХ СИЛ .....	167
<b>Чебан В. Г., Тумін О. М.</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЛОННОГО УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНОГО МОДУЛЯ ЗА РАХУНОК ЗМІНИ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ .....	175
<b>Власенко Д. О., Левченко Е. П., Бондар Н. О.</b> ВПЛИВ СПОСОБУ КРІПЛЕННЯ МОЛОТКІВ НА ОСІ РОТОРА НА ШВИДКІСТЬ РУХУ ВАПНЯКУ ДО ВІДБІЙНОЇ ПЛИТИ В УДАРНІЙ ДРОБАРЦІ.....	180
<b>Долгих В. П.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ОПОРІВ РУХУ ТЯГОВОГО ОРГАНУ ДІЛЬНИЧНОГО СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА .....	185
<b>Челядина А. Л.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОЕЖЕКТОРНИХ СИСТЕМ ПРИ РІЗНИХ СХЕМАХ З'ЄДНАННЯ .....	193

## CONTENT

### GEOSCIENCES

<b>Litvinsky Garry G.</b> MINING EQUIPMENT AND TECHNOLOGY OF THE FUTURE.....	5
<b>Korneiev S. V., Zotov V. A., Dobronogova V. Yu.</b> DESIGN PRINCIPLES FOR HYDRAULIC TIGHTENER AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DRAG BAR CONVEYOR.....	11
<b>Palamarchuk N. V., Palamarchuk T. N.</b> PARAMETRIC SERIES OF MODERNIZED PUMPS FOR MINE DRAINAGE.....	19
<b>Shulgin P. N.</b> ANALYSIS OF USING THE CONTOUR BLASTING FOR MINE WORKING ERECTION...	24
<b>Davidenko V. A., Nozhenko A. A.</b> JUSTIFICATION THE NEED OF USING ENVIRONMENTALLY SAFE WORKING LIQUIDS TO REDUCE THE DUST OCCURENCE IN COAL-BASED LAYERS .....	31
<b>Liman S. A.</b> ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF PROCESSING FACTORS ON ACCURACY OF THE LEVELING.....	37

### METALLURGY AND MATERIAL SCIENCES

<b>Yeronko S. P., Oshovskaya Ye. V., Starodubtsev B. I., Tsykhmistro Ye. S.</b> IMPROVEMENT OF MINI CONVERTER FOR PROCESSING OF HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL METAL-CONTAINING WASTES.....	45
<b>Kukharev A. L., Korsunov K. A., Sergienko S. N.</b> CALCULATION OF ELECTRIC ARC PARAMETERS IN ELECTRIC FURNACE STATIONS FOR STEEL AND FERROALLOY PRODUCTION .....	52
<b>Yeronko S. P., Yushchenko M. V., Mechik S. V., Antonov A. Yu., Yakusha V. N.</b> DEVELOPMENT OF EFFECTIVE SYSTEMS OF DOSING FEEDING OF SLAG-FORMING MIXTURES INTO CRYSTALIZERS OF SLAB CCMs.....	58
<b>Levchenko E. P., Ruykovskii A. Yu., Kryzhanovskii K. G., Dolotina A. V.</b> ADDITIONAL ENGINEERING SOLUTIONS ON PROVIDING AIR POLLUTION IN THE CONDITIONS OF COKE AND IRON-AND-STEEL PRODUCTION.....	63
<b>Pasechnik S. Yu., Pasechnik A. Yu.</b> METHOD OF MANUFACTURING THE ELECTRONIC ELECTRODES.....	69
<b>Moroz V. V., Levchenko E. P., Zinchenko A. M., Levchenko O. A.</b> ANALYSIS OF POSSIBILITIES FOR REDUCING THE SIZE OF FINISHED SINTER IN SINGLE-SPINDLE ROLL CRUSHER.....	74
<b>Levchenko E. P., Tumin A. N., Onischenko N. E.</b> PECULIARITIES OF APPLYING HYDRAULIC DRIVER IN JAW CRUSHERS.....	81
<b>Pavlinenko O. I., Levchenko E. P., Levchenko O. A., Bondar N. A.</b> INCREASING THE EFFICIENCY OF CRUSHING PROCESS IN A BALL MILL.....	86
<b>Levchenko E. P., Tumin A. N., Alferov N. G.</b> INCREASING THE EFFICIENCY OF DISK MILLS.....	92
<b>Tkachyov M. Yu., Oshovskaia A. V.</b> DESIGN FACTORS ANALYTICAL STUDIES FOR HYDRAULIC DRIVE IN TRANSPPOSITIONING DEVICE OF SUBMERGED NOZZLE QUICK CHANGE SYSTEM IN CONTINUOUS SLAB-CASTING MACHINE.....	97

## CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

<b>Drozd G. Ya.</b> DEVELOPMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE SECTOR IN LUGANSCHINA IS AN EMERGENT NECESSITY.....	105
<b>Budzilo E. E., Usenko V. N., Gorovaia N. A., Nikolaieva E. K.</b> THE MATTER OF EXPLOITATION THE STORMWATER DRAINAGE.....	113
<b>Yemets E. V., Karapetyan S. Kh., Nikishina I. A.</b> INVESTIGATING THE INFLUENCE OF BASEMENT PLIABILITY ON FRAME SYSTEM BEHAVIOR .....	118

## MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

<b>Alimov V. I., Georgiadu M. V., Genkuzina V. O., Georgiadis T.</b> DIMENSIONAL CHEMICAL-THERMAL RECOVERY OF HANDLING EQUIPMENT PARTS AND HIGH ACCURACY TOOLS .....	125
<b>Gakhov P. F., Kharitonenko A. A.</b> DESIGN TECHNIQUE FOR THE LEVER-ECCENTRIC MECHANISM OF THE WALKING BEAMS LIFTING WITH 200 T CARRYING CAPACITY.....	131
<b>Bocharov A. V.</b> IMPORTANCE OF ROTATING EQUIPMENT ALIGNMENT FOR PRESENT-DAY METALLURGICAL INDUSTRY.....	139
<b>Cheban V. G.</b> CALCULATION METHOD FOR BALL PURIFIER .....	146
<b>Zinchenko A. M., Kuchma S. N., Starodubov S. Y.</b> SIMULATION MODELLING OF DYNAMIC RELOCATION OF TECHNOLOGICAL SYS- TEM AT THREAD TAPPING.....	153
<b>Vishnevskii D. A., Korobov R. Yu.</b> ANALYSIS OF EXPERT SYSTEMS APPLICATION FOR DIAGNOSING AND REPAIRING AT METALLURGICAL FACTORIES WITH FULL CYCLE .....	161
<b>Sotnikov A. L., Shcherbina S. V.</b> ASSEMBLY OF LARGE-SIZE SCREWED JOINTS BY AXIAL FORCES APPLICATION METHOD.....	167
<b>Cheban V. G., Tumin A. N.</b> IMPROVING THE OPERATION CHARACTERISTICS OF ROLLED ULTRAFILTRATION MODULE BY CHANGING ITS DESIGN .....	175
<b>Vlasenko D. A., Levchenko E. P., Bondar N. A.</b> INFLUENCE OF HAMMERS FASTENING TECHNIQUE TO ROTOR AXIS ON THE LIME FEED RATE MOVING TO THE IMPACT PLATE IN THE IMPACT CRUSHER.....	180
<b>Dolgikh V. P.</b> MODELLING OF RUNNING RESISTANCE OF A TRACTIVE CHAIN OF A LOCAL BELT CONVEYOR.....	185
<b>Cheliadina A. L.</b> INVESTIGATION THE HYDRO EJECTOR SYSTEM OPERATION IN VARIOUS CONNECTING CIRCUITS.....	193

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 +  
621.3 + 33 + 621.37 + 1

**Збірник наукових праць  
Донбаського державного  
технічного університету**

**Збірник**

Випуск 5 (48) 2017

**Засновник:**  
**Донбаський державний технічний  
університет**

---

*Свідоцтво Міністерства інформації,  
друку і масових комунікацій ЛНР про  
державну реєстрацію засобу масової  
інформації МІ-СГР ПІ 000003  
від 05.02.2016*

*Рекомендовано вченою радою  
ДСУВПО ЛНР «ДонДТУ»  
(Протокол № 6 від 03.03.2017)*

*Включений до наукометричної бази  
даних РИНЦ*

---

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Ум. друк. арк. 24,2  
Зам. № 78  
Наклад 100 пр.

Видавництво не несе відповідальності за  
зміст матеріалу, наданого автором до  
друку.

Адреса редакції, видавця  
та виготовлювача:  
ДСУВПО ЛНР  
«Донбаський державний технічний  
університет»  
пр. Леніна, 16, м. Алчевськ, ЛНР, 94204.  
E-mail: [info@dstu.education](mailto:info@dstu.education)  
Web-site: <http://www.dstu.education>

ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИЙ  
ЦЕНТР,  
ауд. 2113, т / факс 2-58-59  
Свідоцтво про державну реєстрацію  
видавця, виготовлювача  
і розповсюджувача засобу масової  
інформації  
МІ-СГР ВД 000055 від 05.02.2016.

**Головний редактор**

Зінченко А. М. — к.е.н., в.о. ректора

**Заступник головного редактора**

Новохатський А. М. — д.т.н., проф.

**Редакційна колегія:**

Литвинський Г. Г. — д.т.н., проф.  
Фінкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнєєв С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. О. — к.т.н., доц.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницький В. Н. — к.т.н., проф.

Зелінський А. М. — к.т.н., проф.

Куберський С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. М. — к.т.н., доц.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух М. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н., доц.

Псюк В. В. — к.т.н., доц.

Скомська С. А. — секретар редакційної колегії.

Для наукових співробітників, аспірантів,  
студентів вищих навчальних закладів

**Мова видання:**

російська, українська та англійська

Ісмаїлова Л. М. — коректор

© ДСУВПО ЛНР «ДонДТУ», 2017  
© Чернишова Н. В., художнє  
оформлення обкладинки, 2017

UDK 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 +  
621.3 + 33 + 621.37 + 1

**Collection of scientific papers  
of Donbass State Technical  
University**

**Collection**

Issue 5 (48) 2017

**Establisher: Donbass  
State Technical  
University**

---

*Certificate of Ministry of Information,  
Press and Mass Communication of LPR  
for mass media registration  
MI-SGR PI 000003  
dated 05.02.2016*

*Recommended by academic council of  
DonSTU  
(Record № 6 dated 03.03.2017)*

*Added to scientometrical data base of  
RSCI*

---

Format 60×84½.  
Conventional printed sheet 24,2  
Order № 78

Circulation 100 copies  
Publishing office is not responsible for  
material content giving by author for  
publishing.

Address of editorial office, publishing and  
establishing: Donbass State Technical  
University  
Lenin avenue, 16, Alchevsk, LPR  
94204

E-mail: [info@dstu.education](mailto:info@dstu.education)  
Web-site: <http://www.dstu.education>

**PUBLISHING AND PRINTING  
CENTER,**

Room 2113, tel/fax 2-58-59  
Certificate of State registration for mass  
media publisher, owner and distributor  
MI-SGR ID 0000055 dated 05.02.2016

**Editor-in-chief**

Zinchenko A. M. — PhD in Engineering, acting rector

**Deputy chief editor**

Novohatskyi A. M. — Doctor of tech. sc., prof.

**Editorial board:**

Litvynskyi G. G. — Doctor of tech. sc., prof.

Finkelstein Z. L. — Doctor of tech. sc., prof.

Korneiev S. V. — Doctor of tech. sc., prof.

Leonov A. A. — PhD in Engineering

Kharlamov Yu. A. — Doctor of tech. sc., prof.

Uliianitskyi V. N. — PhD in Engineering,

prof. Zelinskyi A. N. — PhD in Engineering

Kuberskyi S. V. — PhD in Engineering, prof.

Denisschenko P. N. — PhD in Engineering

Drozd G. Ya. — Doctor of tech. sc., prof.

Sholukh N. V. — Doctor of arch., prof.

Bondarchuk V. V. — PhD in Engineering

Psjuk V. V. — PhD in Engineering

Skomskaia S. A. — Secretary to the editorial board.

For research scientists, PhD seekers, students of  
higher educational institutions.

**Issue language:**

Russian, Ukrainian, English

Ismailova L. M. — proofreader

© SEIHPE «DonSTU», 2017  
© Chernyshova N.V., graphic  
cover design, 2017