

MOTROL

MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA

MOTORIZATION AND POWER INDUSTRY IN AGRICULTURE

COMMISSION OF MOTORIZATION AND POWER INDUSTRY IN AGRICULTURE
NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE IN
KIEV
MYKOLAYIV STATE AGRARIAN UNIVERSITY
NATIONAL ACADEMY OF NATURE PROTECTION AND RESORT BUILDING
IN SIMFEROPOL
UNIVERSITY OF ENGINEERING AND ECONOMICS IN RZESZÓW

MOTROL

MOTORIZATION AND POWER INDUSTRY IN AGRICULTURE

Volume 13 C

LUBLIN 2011

KOMISJA MOTORYZACJI I ENERGETYKI ROLNICTWA PAN ODDZIAŁ W LUBLINIE
NARODOWY UNIWERSYTET BIOLOGICZNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII
I WYKORZYSTANIA PRZYRODY W KIJOWIE
PAŃSTWOWY UNIWERSYTET ROLNICZY W MYKOŁAJEWIE
NARODOWA AKADEMIA BUDOWNICTWA OBIEKTÓW SANATORYJNYCH
I OCHRONY PRZYRODY W SYMFEROPOLU
WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNA W RZESZOWIE

MOTROL

MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA

Tom 13 C

LUBLIN 2011

Redaktor naczelny: Eugeniusz Krasowski
Sekretarz redakcji: Wojciech Tanaś

Komitet Redakcyjny

*Zbigniew Burski, Jan Gliński, Karol Cupiał, Aleksandr Dashchenko, Valeriy Dubrovin, Sergiy Fedorkin,
Aleksandr Holubenko, Anatoliy Yakovenko, Janusz Laskowski, Ryszard Michalski, Leszek Mościcki
Aleksandr Morozow, Janusz Mysłowski, Ilia Nikolenko, Paweł Nosko, Marek Rozmus, Vyacheslav Shebanin
Wołodymyr Snitynskiy, Stanisław Sosnowski, Aleksandr Sydorczuk, Georgiy F. Tayanowski*

Komitet Programowy

<i>Andrzej Ambrozik, Kielce, Poland</i>	<i>Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland</i>
<i>Volodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine</i>	<i>Stanisław Niziński, Olsztyn, Poland</i>
<i>Valeriy Diadychev, Ługańsk, Ukraine</i>	<i>Janusz Nowak, Lublin, Poland</i>
<i>Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland</i>	<i>Jurij Osenin, Ługańsk, Ukraine</i>
<i>Bohdan Hevko, Ternopil, Ukraine</i>	<i>Sergiy Pastushenko, Nikolaev, Ukraine</i>
<i>Marek Idzior, Poznań, Poland</i>	<i>Józef Sawa, Lublin, Poland</i>
<i>L.P.B.M. Jonssen, Groningen, Holland</i>	<i>Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania</i>
<i>Elżbieta Kusińska, Lublin, Poland</i>	<i>Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania</i>
<i>Józef Kowalczyk, Lublin, Poland</i>	<i>Michail Sukach, Kiev, Ukraine</i>
<i>Stepan Kovalyshyn, Lwów, Ukraine</i>	<i>Henryk Tylicki, Bydgoszcz, Poland</i>
<i>Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland</i>	<i>Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia</i>
<i>Nikolaj Lubomirski, Symferopol, Krym, Ukraine</i>	<i>Dmytro Voytiuk, Kiev, Ukraine</i>
<i>Jerzy Merkisz, Poznań, Poland</i>	<i>Janusz Wojdalski, Warszawa, Poland</i>
<i>Leszek Mościcki, Lublin, Poland</i>	<i>Bogdan Żółtowski, Bydgoszcz, Poland</i>
<i>Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine</i>	<i>Oleg Zaitsev, Symferopol, Ukraine</i>
<i>Dariusz Andrejko, Lublin, Poland</i>	<i>Viktor Tarasenko, Symferopol, Krym, Ukraine</i>
<i>Dariusz Dziki, Lublin, Poland</i>	<i>Tadeusz Złoto, Częstochowa, Poland</i>
<i>Jerzy Grudziński, Lublin, Poland</i>	<i>Jarosław Strzyczek, Wrocław, Poland</i>
<i>Marian Panasiewicz, Lublin, Poland</i>	

@ Copyright by Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Polskiej Akademii Nauk
Oddział w Lublinie, Lublin 2011

ISSN 1730-8658

Opracowanie redakcyjne: Ilia Nikolenko.

Weryfikacja tekstów w języku angielskim: Elena Valkina

Obróbka komputerowa: Natalia Stepancova

Skład i łamanie: Robert Kryński, Hanna Krasowska-Kołodziej

Projekt okładki: Eugeniusz Krasowski

Fotografia na okładce: Igor Flis

Opracowanie plastyczne okładki: Barbara Jarosik

Adres redakcji: Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN Oddział w Lublinie

ul. Wielkopolska 62, 20-725 Lublin

tel./fax. (+48) 81 526 93 27

e-mail: eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl

Wydawca

KOMISJA MOTORYZACJI I ENERGETYKI ROLNICTWA PAN ODDZIAŁ W LUBLINIE
NARODOWY UNIWERSYTET BIOLOGICZNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII
I WYKORZYSTANIA PRZYRODY W KIJOWIE
PAŃSTWOWY UNIWERSYTET ROLNICZY W MYKOŁAJEWIE
NARODOWA AKADEMIA BUDOWNICTWA OBIEKTÓW SANATORYJNYCH
I OCHRONY PRZYRODY W SYMFEROPOLU
WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERYJNO-EKONOMICZNA W RZESZOWIE

DRUK: Firma N.A. Brażnikowa, Symferopol

Nakład 150 + 16 egz. Ark. druku 16.

SILICA FUME-BASED ADMIXTURE IN THE FORM OF AQUEOUS SLURRY FOR SELF-COMPACTING CONCRETE

Nikolay Zaichenko*, Al-Shamsi K. Ali Said**, Elena Sakhoshko*

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

**Aden University, Yemen

Summary. The article is devoted to the elaboration of resource-saving method provided a stable aqueous silica fume dispersion which contains 20 to 45% by weight of silica fume which is a by-product of ferrosilicon production (in aggregated form) and a stabilizing agent in a form of high range water reducing admixture (polynaphthalene sulfonate condensate) as well as sodium hydroxide. This composition has been found highly suitable as an admixture for cementitious compositions in particular for Self Compacting Concrete to enhance its fluidity, resistance to segregation as well as durability and strength characteristics.

Key words: Self Compacting Concrete, silica fume, aqueous slurry, superplasticizer, sodium hydroxide, bead mill.

INTRODUCTION

The development of Self-Compacting Concrete (SCC) has recently been one of the most important developments in the building industry. It is a kind of concrete that can flow through and fill gaps of reinforcement and corners of moulds without any need for vibration and compaction during the pouring process. Fluidity and resistance to segregation of SCC ensures high degree of homogeneity with minimal content of voids and uniform strength, high degree of surface quality and high durability [1, 3].

The major difference in composition of traditional and self-compacting concrete lies in higher proportion of fine parts by 30-40% by volume. Additives increase resistance to segregation, movability and homogeneity of mixture. Higher proportion of fine parts with larger specific surface also increases the need for mixing water to form required amount of mastic cement to cover all grains of aggregate. Selection of the kind of additive depends on several factors: economical point of view, applicability and availability [18].

THE STATEMENT OF THE PROBLEM

Silica fume and superplasticizer are complementary materials to manufacture selflevelling concretes with great cohesion of the fresh mix [3, 11, 18]. One of the greatest advantages of using silica fume in SCC results from its small size. The addition of silica fume widens the size distribution of the cementitious particles in concrete, allowing more efficient particle packing, densifying the interfacial transition zone and converting CH into C-S-H, thus increasing strength and durability [2-8, 13-17].

However silica fume is not available in large amounts and it is also the most expensive mineral additive [2, 4]. On the other hand small particle size and low bulk density of silica fume makes it difficult to transport, distribute and handle. So, commercial suppliers are obliged to process silica fume using different methods of compaction in order

to agglomerate the small individual particles into relatively large clumps containing millions of particles and measuring up to several millimeters in size (densified or pelletized) [5, 6, 13, 15, 19].

Besides it is well known that silica fume as produced powder can be converted into aqueous dispersions, so that its transportation, metering and general handling can be more readily accomplished [10]. For example, in Germany the silica fume is normally used in dry bulk form or as slurry [14]. Norway "Elkem" supplies microsilica as an aqueous suspension EMSAC®500 S (Slurry Product). The suspension has a solids content of 50 % by weight. It is easy to handle and pump, average bulk density is approximately $1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Addition of silica fume in a form of slurry is more straightforward. In a wet batch plant, SF slurry can be added directly into the pan mixer, preferably at the same time as the mixing water [7].

The problems with such dispersions are the poor economics associated with transporting large volumes of water when the dispersion has low concentrations (about 45 % or less) of solids or the poor stability resulting in gelling and solidification of dispersions which have a high solid concentration (greater than about 45 %). So, different types of stabilizing agent selected for phosphoric acid, citric acid, sodium or potassium salts of these acids [16] as well as amino alcohols [17] were patented. These methods are suitable to prepare aqueous slurries on the base of silica fume as produced powder. However, when silica fume is used in aggregated form (densified or pelletized) the problem of dispersing relatively large clumps into the small individual particles is added.

This problem is especially significant when aggregation of ultra fine particles of silica fume takes place during the drying process in sludge collectors (when silica fume slurry is disposed in landfills and its water content is drastically reduced). It is stipulated by gelling and the condensation polymerization accompanied with the formation of siloxane linkages [10]. Thus, aged agglomerated aqueous suspensions need to be redispersed before use in concrete. Nevertheless, the difficulty of redispersion of agglomerated silica fume, for example fine milling in a ball-and-tube mill, is stipulated due to the high interparticle forces (forces of the electrostatic charging, Van-der-Waal's forces and forces due moisture) [19].

So, the aim of this investigation is to develop an effective method of utilizing high-volume wastes of Ferro-alloy works in a form of agglomerated aged silica fume slurries as a mineral additive for self-compacting concretes.

MATERIALS AND METHODS

Ordinary Portland cement CEM I 42.5 N (OPC) and two types of silica fume were used as raw materials. Silica fume SF-1 is undensified (as produced powder) while silica fume SF-2 is aggregated during the drying process of aqueous slurry (wet method of gas cleaning in a Ferro-alloy production) (Fig. 1). The chemical composition and physical properties of raw materials are given in Table 1.

Dispersion of aggregates of microsilica was carried out in the bead mill, used to produce ultrafine products in a liquid medium by grinding the slurry material by solid balls – glassy beads. Bead mill is a cylindrical vessel with a mixing rotor, providing different modes of mixing and circulation of beads. The mill is filled with the beads for 70-80 % of the volume. The beads are moved by rotation of the mill rotor thereby fine grinding agglomerates of silica fume (duration of grinding – 10 minutes).



Fig. 1. Silica Fume images: SF-1 undensified form (left); SF-2 aggregated form (right)

Table 1. Chemical composition and properties of the materials used

Composition (%) Properties	OPC	SF-1	SF-2
SiO ₂	21.4	91.8	81.8
Al ₂ O ₃	5.8	1.1	1.6
Fe ₂ O ₃	3.4	0.65	3.0
CaO	61.5	2.4	1.1
MgO	1,7	0.05	0.2
K ₂ O	0.7	0.1	0.6
SO ₃	2.5	0.35	3.6
Loss on ignition	1.2	3.6	7.2
Bulk density (kg·m ⁻³)	1310	215	655
Fineness (m ² ·kg ⁻¹)	365 (Blaine)	18600 (BET)	0.14-20 mm

In this paper we have studied the effect of the type of a dispersion medium on the efficiency of fine grinding aggregated microsilica in a laboratory bead mill. Tap water, sodium hydroxide solution (pH=12, concentration of 1.5% in terms of Na₂O) and the solution of superplasticizer (pH=6.5, C=2.5 %) on the base of polynaphthalene sulfonate condensate (PNS) were used as the dispersion medium.

RESULTS AND DISCUSSION

Dispersing ability of liquids (dispersion medium) was estimated by the kinetics of sedimentation (settlement) of aqueous silica fume slurries prepared by fine grinding in the bead mill (concentration of solids is 45 %). It has been found that the highest sedimentation rate of particles is in the case of using tap water as the liquid medium (Fig. 2). In a solution of sodium hydroxide the rate of sedimentation decreases. This is due to the fact that in an alkaline environment along with the dispersion of aggregates of microsilica is its dissolution. According to [9] the solubility of amorphous silica increases rapidly under alkaline conditions at pH above 9. In the presence of alkali silica passes into solution as silicate ion, with further reaction with water it forms soluble monosilicic acid. When the amount of alkali is small monosilicic acid can be polymerized forming stable colloidal particles. During the formation of soluble sodium silicate there is an additional dispersion of amorphous silica to a highly concentrated state of lyosol – nanodispersed system [12].

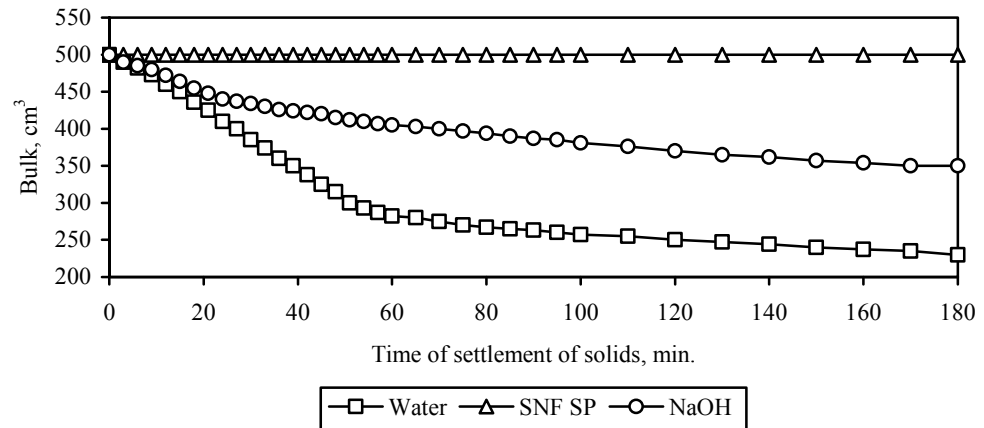


Fig. 2. The kinetics of sedimentation of aqueous silica fume slurries

When microsilica is dispersed in a solution of superplasticizer on the base of polynaphthalene sulfonate condensate (Mapei N 200) a stabilized with a surfactant colloidal system, which preserves sedimentation stability over 10 days, is formed. The volume of sediment after 7 days was only 15-20 ml.

When the complex solution (PNS + NaOH) is used as a liquid medium of the bead mill, the finer dispersion of aggregated microsilica is provided, as evidenced by the stable state of the microsilica suspension within 10-14 days. So, this method provides a stable aqueous silica fume dispersion which contains 20 to 45% by weight of silica fume which is a by-product of ferrosilicon production and a stabilizing agent in a form of high range water reducing admixture (polynaphthalene sulfonate condensate) as well as sodium hydroxide. The composition described herein has been found highly suitable as an admixture for cementitious compositions in particular for Self Compacting Concrete to enhance its fluidity, resistance to segregation as well as durability and strength characteristics.

It should be noted also that the presence of sodium hydroxide in the composition of above mentioned complex admixture makes it possible to use milled granulated blast furnace slag (GBFS) as a partial replacement of Portland cement in the formulation of concrete mixtures. The results obtained by [20] have showed a high effectiveness of the composition of silica fume with alkali admixture as an activator for the binding systems based on the combination of Portland cement, silica fume and slag.

The composition of the self compacting concrete mixture SCC-1 with the addition of silica fume-based aqueous slurry containing stabilizing agent (PNS + NaOH) is presented in Table 2. The properties of SCC-2 with addition of silica fume as a source of dry powder (SF-1) are investigated for comparison.

The slump-flow and T_{350} time was a test to assess the flowability and the flow rate of self-compacting concrete based on the slump test with the help of mini cone (Fig. 3). The properties of fresh concrete mixtures as well as mechanical and deformation properties of concretes are given in Table 3.

Table 2. The composition of SCC

Mixes	Content of ingredients, kg·m ⁻³								
	OPC	Fine aggregate	Coarse aggregate	SF-1	SF-2	GBFS	PNS	NaOH	W/B
SCC-1	287	885	796	-	24.5	155	5.53	6.65	0.48
SCC-2	442	885	796	24.5	-	-	6.64	-	0.48

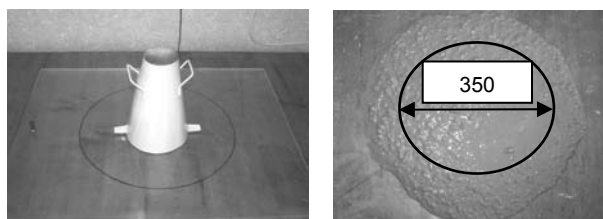
Fig. 3. The measurement of slump-flow and T_{350} time of SCC

Table 3. The properties of SCC

Mixes	Properties						
	Slump-flow, mm	T_{350} time, s	Compressive strength, MPa			Young's modulus (90 days), GPa	Shrinkage, $\epsilon_b \cdot 10^{-3}$
			3 days	28 days	90 days		
SCC-1	445	3	11.5	35.0	58.5	40.2	0.64
SCC-2	495	2	31.0	55.4	67.5	42.3	0.58

CONCLUSION

The resource-saving method provided a stable aqueous silica fume dispersion which contains 20 to 45% by weight of silica fume which is a by-product of ferrosilicon production (in aggregated form) was developed. This dispersion is highly suitable as an admixture for cementitious compositions in particular for Self Compacting Concrete.

REFERENCES

1. Brouwers H.J.H., Radix H.J., 2005: Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study. *Cem. Concr. Res.* 35(11), p. 2116-2136.
2. Collepardi M. [et al], 2007: Beneficiated Fly Ash Versus Normal Fly Ash or Silica Fume. *Proc. of 9th CANMET/ACI Intern. Conf.: Warsaw*, p. 1-8.
3. Collepardi M., 2001: Main Ingredients and Basic Principles for SCC Production. *Proc. of CUC Conf. on Self Compacting Concrete for Tunnel Linings: Switzerland*, p. 1-14.
4. Collepardi M. [et al], 2004: Optimization of Silica Fume, Fly Ash and Amorphous Nano-Silica in Superplasticized High-Performance Concretes. *Proc. of Eighth CANMET/ACI Intern. Conf.: Las Vegas*, p. 495-506.
5. Diamond S., Sahu S., 2006: Densified silica fume: particle size and dispersion in concrete. *J. Materials and Structures.* 39(9), p. 849-859.

6. Diamond S., Sahu S., Thaulow N., 2004: Reaction products of densified silica fume on agglomerates in concrete. *Cem. Concr. Res.* 34(9), p. 1625-1632.
7. Dunster A., 2009: Silica Fume in Concrete: Information Paper. IP 5/09. IHS BRE Press, Watford, p. 1-12.
8. Holland T.C., 1998: High-Performance Concrete: As High as It Gets. *The Concrete Producer.* 16(7), p. 501-505.
9. Iler R.K., 1979. The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry. New York: Wiley, 866 p.
10. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., 1995: The new method of production of fluidized concentrated suspensions of microsilica. *Concrete and reinforced concrete.* 6, p. 2-6 (in Russian).
11. Korpa A., Kowald T., Trettin R., 2008: Hydration behavior, structure and morphology of hydration phases in advanced cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives. *Cem. Concr. Res.* 38(7), p. 955-962.
12. Lotov V.A., 2006: Nanodispersed systems in the technology of buildings materials and products. *Building materials.* 8, p. 5-7 (in Russian).
13. Maas A.J., Ideker J.H., Juenger M.C., 2007: Alkali silica reactivity of agglomerated silica fume. *Cem. Concr. Res.* 37(2), p. 166-174.
14. Marchuk V., 2004: Dispersibility of the silica fume slurry in cement paste and mortar. *Betontechnische Berichte (Concrete Technology Reports) 2001-2003: Düsseldorf: VBT, Verl. Bau und Technik.* 29, p. 125-132.
15. Moranville-Regourd M., 1999: Portland Cement – based Binders – Cements for the next millennium. *Proc. of the Intern. Conf. "Creating with Concrete": Dundee,* p. 87-99.
16. Rosenberg, Gaidis A.M., Kindt J.M., Joseph L., 1988: Silica fume slurry. *European Patent Application EP0263606.*
17. Scheiner P., Mass M., 1993: Stabilized microsilica slurries and cement compositions containing the same. *Patent US, No5,176,752.*
18. Sliwinski J. [et al], 2010. *New Generation Cement Concretes. Ideas, Design, Technology and Applications 3. LLP – Erasmus: 9203-0574/IP/Košice 03/REN: 189 p.*
19. Yajun J., Cahyadi J.H., 2003: Effects of densified silica fume on microstructure and compressive strength of blended cement pastes. *Cem. Concr. Res.* 33(10), p. 1543-1548.
20. Živica V., 2006: Effectiveness of new silica fume alkali activator. *Cem. Concr. Compos.* 28 (1), p. 21-25.

ДОБАВКА НА ОСНОВЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА В ВИДЕ ВОДНОГО ШЛАМА ДЛЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Аннотация. Статья посвящена разработке ресурсосберегающего способа получения стабильной водной дисперсии микрокремнезема, содержащей 20-45 % по массе микрокремнезема – побочного продукта производства ферросплавов (в агрегированной форме) и стабилизатора в форме суперпластификатора (конденсат полиметиленафталинсульфоната) и гидроксида натрия. Этот состав показал высокую эффективность как добавка для вяжущих систем, в частности для самоуплотняющегося бетона, повышающая текучесть и устойчивость к сегрегации смесей, а также прочность и долговечность бетона.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, водный шлам, суперпластификатор, гидроксид натрия, бисерная мельница.

RESOURCE-AND ENERGY-SAVING METHOD FORMANUFACTURING CONCRETE PRODUCTS

Lyudmila Zaichenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

Summary. The article is devoted to the elaboration of resource-and-energy saving method for manufacturing concrete products based on electromagnetic activation of concrete mixtures, which contains the mineral additives with magnetic properties. It is demonstrated that class F fly-ash and smelting flue dust, containing the iron oxides, in an external magnetic field are magnetized as typical ferromagnetic. An oscillating magnetic field affects the processes of structure formation of cement pastes. At the optimum concrete mixtures compositions and treatment parameters the compressive strength of concrete increases on 25...32 %.

Key words: oscillating magnetic field, ferromagnetic properties, fly-ash, smelting fuel dust, concrete, technology.

INTRODUCTION

Concrete, the most widely used construction material, is evolving. Modern concrete is more than simply a mixture of cement, water and aggregates; modern concrete contains more and more often mineral components, chemical admixtures, fibres, etc [1]. Problems of increasing the quality of concrete, as well as energy and resource saving are the main directions of development of the technology of new generation concretes [10]. The variety of elementary acts that occur during hydration and hardening of Portland cement provides ample opportunities to address the problems associated with developing ways to intensify the rate of concrete strength, to improve physical-mechanical and performance properties of concrete and reinforced concrete products. The most common among these are the methods of heat treatment as well as the use of chemical admixtures (accelerators of hardening). To a much lesser extent the various electrical effects in particular electromagnetic activation are used.

In concrete technology the energy of electromagnetic fields is realized mainly in two directions. The first one is associated with prolonged exposure of the electromagnetic fields on the hardening systems when electrical energy is converted into a heat and is used to accelerate the process of concrete hardening. In the second case the electromagnetic fields create the conditions which intensify the processes of hydration and hardening of cement at short-term external exposure.

THE STATEMENT OF THE PROBLEM

The serial devices which operate on the principle of the creating of the vortex band by oscillating magnetic field – dry particle coaters, reactors, mixers, extractors, activators

etc are well known [3, 9; 19]. Regardless of the functional purpose of such apparatuses their basic units are: the collar coil which generates the oscillating magnetic field, the chamber and ferromagnetic particles. High-speed abrasive wear of the chamber walls as well as the frequent renewal of a given volume of ferromagnetic particles are the main disadvantages of such devices. So, from this point of view the electromagnetic treatment of mixed compositions, which contain the ingredients with ferromagnetic properties, is more promising.

With regard to the components of concrete mixtures a brownmillerite (C_4AF) – the mineral of Portland cement clinker is a ferromagnetic substance. However its percent content in terms of 1 m^3 of concrete mixture does not exceed 1.5 vol. %. The enhancement of the effects of electromagnetic processing can be achieved with the addition of components with high magnetic susceptibility into the concrete mixture. These are the iron-barium cements, iron-containing wastes of mining-and-processing works [13]. On the other hand, dispersed mineral wastes used in concrete as pozzolanic additives, in particular class F fly-ash contain a fairly high amount of iron oxides (hematite Fe_2O_3 and magnetite Fe_3O_4) [12, 17].

Scientists from the United States developed a new line of fly-ash as an additive in concrete, used for shielding of electromagnetic radiation [2, 4]. These studies are based on the premise that the iron oxides presented in the fly-ash, in particular Fe_3O_4 (magnetite), are strong ferromagnetic substances. However, the magnetic properties of fly-ashes as a whole and its impact on the efficiency of electromagnetic processing of concrete mixtures are studied not sufficiently.

It should be also noted that during the electromagnetic treatment of concrete mixture the structure and properties of mixing water are modified. For instance, the Chinese scientists demonstrated [15, 16, 20] that treatment of mixing water flowing through the installation, created a magnetic induction 0.8-1.35 T, provides a stable increasing the strength of concrete in the range of 15-20%. In this case there is a slight plasticization of concrete mixture also.

Researches conducted in recent years have demonstrated that the characteristics of water are altered as a result of exposure to strong and permanent magnetic fields. Of all of the results emerging concerning the changes to the physical characteristics of water, one which merits particular attention and can be termed revolutionary is the reduction of surface tension [5, 6, 8].

Based on this body of knowledge the Danish company "VISKON alpha" has developed a physics-based installation [18]. Using high performance permanent magnets and without any energy consumption or recourse to chemical admixtures the system ensures that the surface tension of the water is substantially reduced. The treated water forms a significantly thinner film with both cement and aggregate, improved binding with the cement particle and reduces the internal friction in ready-mix concrete. Voids are better filled that result in an increased density. Due to the reduction in the amount of water required to envelop the cement and aggregate particles more water remains available for the effective improvement of handling characteristics (plasticization effect).

When ferromagnetic compounds are added into the mixing water the effectiveness of magnetic treatment is enhanced greatly [14]. According to [8] adding the ferromagnetic powder (Fe_3O_4) into the mixing water in the amount of 0.5-2 % (by weight of cement) resulted in increasing concrete strength by 6-8 % versus the strength of concrete prepared with magnetized water without any additives. The positive effect of iron

salts (chlorides and sulfates) on the efficiency of magnetization of water and on the properties of concrete mixtures and concretes have been discovered also [5-7, 11].

So, the investigation of the magnetic properties of fly-ash used as a mineral additive to cement concrete as well as the development of the resource-and energy-saving technology based on the electromagnetic activation for manufacturing concrete products is the purpose of this work.

MATERIALS

Two types of mineral additives – class F fly-ash (FA) and smelting flue dust (SFD), Ordinary Portland Cement (OPC) CEM I 42.5 N and tap water were used in this investigation. The Blaine fineness of dispersed powders is 345 (OPC), 280 (FA) and 205 (SFD) $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$. The chemical composition of materials used is given in Table 1.

Table 1. Chemical composition of the materials used

Material	Oxide percent									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	LOI
OPC	23.84	4.55	6.27	-	62.12	0.25	0.18		2.55	0.42
FA	53.60	21.79	15.39	0.75	2.52	1.00	2.08	0.74	<0.01	1.27
SFD	13.69	1.54	41.64	9.73	10.70	1.27	-	-	0.32	20.72

RESULTS AND DISCUSSION

The specific saturation magnetization of mineral additives (class F fly-ash and smelting flue dust) was determined using magnetic balance. Dependence of the specific saturation magnetization of mineral additives on the strength of external magnetic field indicates that these materials behave as typical ferromagnetic (Fig. 1). A rapid increasing magnetization in the range of the strength of external magnetic field 0-240 $\text{kA}\cdot\text{m}^{-1}$ is occurred. When the strength of external magnetic field is as high as 700-720 $\text{kA}\cdot\text{m}^{-1}$ the magnetization of mineral additives reaches to saturation. So, the specific saturation magnetization of smelting flue dust and fly-ash is 12.5 and 7.7 $\text{Gs}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ ($12.5\cdot 10^{-7}$ and $7.7\cdot 10^{-7}$ $\text{T}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$) accordingly. It should be noted also that the amount of particles separated from the smelting flue dust and fly-ash by a permanent magnet is 50 % and 21.6 % of mass accordingly.

Activation of freshly prepared cement paste in an oscillating electromagnetic field enhances the reactivity of cement and intensifies the process of structure formation of cement paste. Amplification of these effects is achieved using a composition of cement paste with mineral additives with ferromagnetic properties, in particular pulverized fly-ash. According to the DTA and XRD data an increase of the cement hydration degree as well as intensification of pozzolanic reaction has been recorded. An increased amount of the low-basic calcium hydrosilicates among Portland cement hydration products is due to these effects.

More intensive hydration of Portland cement is displayed positively on the strength kinetics of concrete containing ferromagnetic mineral additives (the formulation of fine-grained concrete: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$: Portland cement – 600; crushed granite stone 5-10 mm – 1200; fly-ash – 300; W/C – 0.4). The strength increment of concrete activated in oscillating

electromagnetic field in comparison with the control concrete of the same composition at the age hardening of 7 and 28 days is 31 and 22 % respectively (Fig. 2).

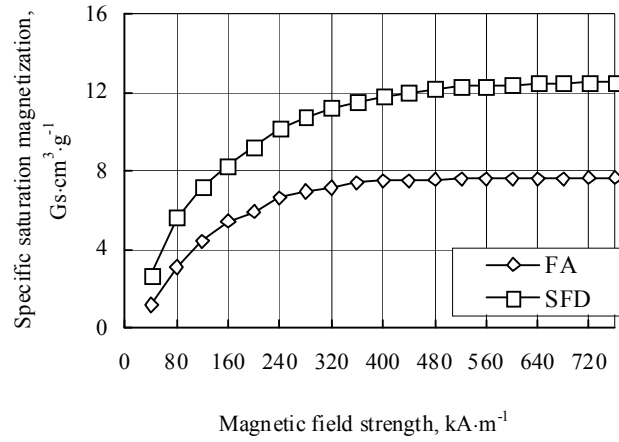


Fig. 1. The dependence of the specific saturation magnetization of mineral additives on the strength of external magnetic field

It was defined that due to impact of oscillating electromagnetic field the workability of concrete mixture increases by 10...15 %. It is associated with a change in the structure of mixing water – treated water forms a significantly thinner film with both cement and aggregate.

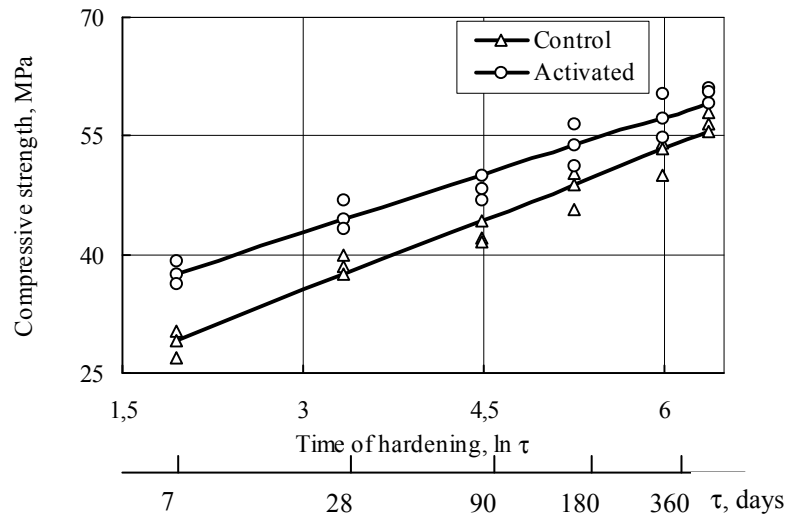


Fig. 2. The kinetic of concrete strength growth

It should be taken into account also the fact that ferromagnetic particles under the influence of electromagnetic field make complex movements, forming the vortex layer in a material volume (Fig. 3, left – the vortex layer of ferromagnetic particles in pulverized fly-ash is more dark). The mode of particles motions depends on many factors – the speed and intensity of the magnetic field generated by the collar coil, the mass, shape, size and magnetic properties of particles and the viscosity of the medium [9]. Needless to say, that the high viscosity of cement paste will sharply limit the ability of ferromagnetic particles to perform any movement. Nevertheless, micro vibrations of large number of such particles in cement paste will lead to a reduction of its viscosity (thixotropic liquefaction). As a result, on the surface of the treated cement paste the characteristic luster of liquid is appeared.

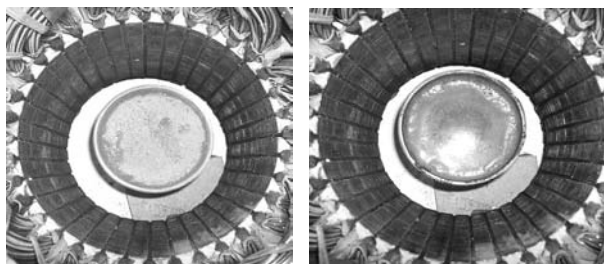


Fig. 3. The vortex layer of ferromagnetic particles in pulverized fly-ash (left) and thixotropic liquefaction of cement paste with addition of fly-ash under the impact of oscillating electromagnetic field (right)

Activation of concrete mixture in an oscillating electromagnetic field is the most advisable to carry out immediately after its placement in the mould and consolidation. It can be realized during the manufacturing concrete paving blocks formed in plastic moulds. In this case the electromagnetic energy is not expended on heating the material of moulds.

CONCLUSION

The developed method of activation of concrete mixtures in an oscillating electromagnetic field is carried out in accordance with modern tendencies in concrete technology – acceleration of concrete hardening, increasing the formwork turnaround, reduction of power consumption and natural resources and the increased using high-capacity mineral wastes.

REFERENCES

1. Aïtcin P-C., 2000: Review – Cement of yesterday and today. *Concrete of tomorrow*. *Cem. Concr. Res.* 30(9), p. 1349-1359.
2. Chiou J.-M., Zheng Q., Chung D.D.L., 1989: Electromagnetic interference shielding by carbon fiber reinforced cement. *Composites*. 20(4), p. 379-381.
3. Dave R., Chen W. [et al], 2003: Numerical simulation of dry particle coating processes by the discrete element method. *Advanced Powder Technol.* 14(4), p. 449– 470.
4. Jingyao C., Chung D.D.L., 2004: Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding. *Cem. and Concr. Res.* 34(10), p. 1889-1892.

5. Klassen V.I., 1973: Water and magnet. – Moscow: “Nauka”, 110 p.
6. Kruglitskiy N.N., 1976. Physical-chemical mechanics of dispersed structures in magnetic fields. – Kiev: “Naukova dumka”, 194 p. (in Russian).
7. Kul'skiy L.A, Dahl V., Lenchina L.G., 2004: Water is a familiar and mysterious. Water and wastewater treatment technologies. 3, p. 109-110 (in Russian).
8. Lazarenko L.N., Reznichenko I.P., 1987: Magnetic treatment of water in concrete production. Building materials and Structures. 4, p. 34-35 (in Russian).
9. Logvinenko D.D., Shelyakov O.P., 1976: The intensification of the technological processes in the devices with vortex band. – Kiev: “Technika”, 144 p. (in Russian).
10. Malinina L.G., Batrakov V.G., 2003: The science of concrete: present and future. Concrete and Reinforced Concrete. 1, p. 2-6 (in Russian).
11. Minenko B.I., 1970: Magnetic treatment of water-dispersed systems. – Kiev: “Technika”, 167p.
12. Ramachandran V.S. [et al], 2006: Concrete admixtures handbook. Properties, Science, and Technology. – Moscow: “Stroyizdat”, 575 p. (in Russian).
13. Sichkaryova A.Y., Sazonova V.F., 1993: The effectiveness of using magnetic field during agitation of concrete mixture. Intern. Conf.: Belgorod. – p. 37 (in Russian).
14. Strokova V.V., Lesovik R.V. [et al], 2006: An activation of concrete by magnetic field. Concrete and Reinforced Concrete in the Ukraine. 2, p.7-9 (in Russian).
15. Su N., Wu C-F., 2003: Effect of magnetic field treated water on mortar and concrete containing fly ash. Cem. and Concr. Comp. 25(7), p. 681-688.
16. Su N., Wu Y-H, Mar C-Y., 2000: Effect of magnetic water on the engineering properties of concrete containing granulated blast-furnace slag. Cem. and Concr. Res. 30, p. 599-605.
17. Taylor H.F.W., 1996: Cement Chemistry. –Moscow: “Mir”.; 560 p. (in Russian).
18. The new formula in concrete technology – Viskon α LPHA. – Aqua Correct Water Technique. Denmark: www.aqua-correct.com.
19. Yang J., Sliva A., Banerjee A. [et al], 2005: Dry particle coating for improving the flowability of cohesive powders. Powder Technology. 158(1-3), p. 21–33.
20. Yu Q., Sugita S., Sawayama K., Isoijma Y., 1998: Effect of electron water curing and electron charge curing on concrete strength. Cem. and Concr. Res. 28, p. 1201-1208.

РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Статья посвящена разработке ресурсо- и энергосберегающего способа производства бетонных изделий, который основан на электромагнитной активации бетонных смесей, содержащих в своем составе минеральные добавки с ферромагнитными свойствами. Показано, что кремнеземистая зола-унос и металлургическая колошниковая пыль, содержащие оксиды железа, во внешнем магнитном поле намагничиваются как типичные ферромагнетики. Вращающееся магнитное поле оказывает влияние на процессы структурообразования цементных паст. При оптимальных составе бетонной смеси и параметрах активации прочность бетона повышается на 25...32 %.

Ключевые слова: вращающееся магнитное поле, ферромагнитные свойства, зола-унос, металлургическая колошниковая пыль, бетон, технология.

НОВАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ

Виктор Нездойминов, Валентин Чернышев

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Аннотация. Рассмотрены процессы глубокой аэробной минерализации осадков городских сточных вод, представлена конструкция и показатели работы производственного минерализатора.

Ключевые слова: минерализатор, осадки, активный ил.

ВВЕДЕНИЕ

Для большинства станций биологической очистки сточных вод существует острая проблема обработки и размещения осадков [9]. Из-за сложного экономического положения не внедряются эффективные технологии и оборудования для утилизации осадков сточных вод. Повсеместно осадки накапливаются на иловых площадках, оказывая пагубное влияние не только на экологическую и санитарную ситуацию, но и на эффективную работу сооружений очистки сточных вод. Данная обстановка не может продолжаться бесконечно, так как новые территории, выделяемые для иловых площадок, ограничены [10, 11].

Особую напряженность испытывают промышленные районы страны, к числу которых относится Донбасс. Например, на территориях очистных канализационных комплексов, подведомственных КП «Компания «Вода Донбасса» предприятий водопроводно-канализационного хозяйства, накоплено около 2 млн. т осадков по сухому веществу, которые занимают площадь более 200 га. С учётом крупных промышленных городов Донецкой области количество осадков естественной влажности на территории региона уже превышает 100 млн. т. Эти осадки занимают суммарную площадь более 500 га плодородных земель [1, 2].

В целом на территории Украины количество накопленных осадков превышает 50 млн. т [3]. Это отнимает из хозяйственного оборота страны более 10 тыс. га земли – только в Донецкой области более 500 га.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Наиболее экологически приемлемым способом утилизации осадков является использование их в качестве органоминеральных удобрений, учитывая то, что по своему составу они характеризуются высоким уровнем содержания биогенных элементов – азота, фосфора и калия [11, 12]. Это наименее затратный способ утилизации осадков, возвращающий в природу необходимые для растений

питательные вещества. Внедрение в производство данного метода сдерживается присутствием в осадках токсичных органических веществ и ионов тяжелых металлов.

Известные методы обезвреживания осадков [13, 14, 15], содержащего тяжелые металлы (термическая и/или термохимическая обработка), несмотря на внешнюю привлекательность, экологически не безопасны, поскольку в той или иной мере происходит загрязнение атмосферы, требуются сложные системы очистки газовых выбросов от загрязняющих веществ, очистки вторичных сточных вод.

На наш взгляд с экологической и экономической точки зрения наиболее оправданным способом утилизации осадков является технология глубокой аэробной минерализации осадков с илоотделением во взвешенном слое.

Целью исследований является научное обоснование и разработка технологии глубокой минерализации осадков сточных вод.

Сущность нового метода заключается в аэробной обработке смеси избыточного активного ила и сырого осадка разнообразными группами микроорганизмов, способных к окислению органических веществ и биологическому удалению соединений азота. Неотъемлемой частью технологии является фракционное отделение минерализованного ила во взвешенном слое. При глубокой минерализации достигается разрушение беззольной части осадка до 90...95 %.

Отсюда возникает резонный вопрос, за счет чего достигается глубокий распад органического вещества. Это достигается за счет формирования и удержания в сооружении специфического биоценоза микроорганизмов активного ила с постоянным отделением и выведением из сооружения высокоминерализованных частиц осадка.

Исследования ряда авторов [4, 5], а также собственные показали, что при длительной аэрации активного ила или его смеси с сырым осадком на смену микроорганизмам, потребляющим относительно высокие концентрации легко биоразлагаемой органики, приходят микроорганизмы, потребляющие высокомолекулярные органические вещества с достаточно низкими скоростями. Но поскольку скорости разбавления микроорганизмов при традиционной аэробной стабилизации обычно превышают удельные скорости их роста, то эта технология не позволяет сохранить и создать условия для дальнейшего развития, установившегося к концу стабилизации биоценоза, способного обеспечить более глубокую минерализацию осадка.

Замена традиционного гравитационного илоуплотнения на илоотделение за счет осветления во взвешенном слое позволяет отделить от основного количества осадка его высокоминерализованную мелкодисперсную часть, а основную часть, содержащую сформировавшийся специфический биоценоз, способный к биоразложению высокомолекулярных соединений, вернуть в аэробный минерализатор.

Использование в минерализаторе затопленной эрлифтной системы аэрации обеспечивает совмещение процессов одновременной нитрификации и денитрификации, а также поддержание активного ила во взвешенном состоянии [16]. Наличие процессов денитрификации не позволяет накапливаться нитратам сверх допустимых концентраций, которые тормозят процесс распада органической части осадка [19, 20].

Отличительная особенность затопленного эрлифта от традиционного подъемного заключается в том, что верхний срез эрлифта расположен ниже поверхности воды и газожидкостная смесь не выбрасывается выше уровня жидкости в сооружении, а исключительно вовлекается в замкнутую циркуляцию [17, 18].

В объеме емкостного сооружения размещается водоподъемное устройство (циркуляционная колонна), несущие элементы, которого собраны из металлического профиля, а боковые поверхности обтянуты синтетической лавсановой тканью. Низ колонны приподнят над днищем, а верх опущен ниже уровня жидкости. Внутри эрлифта на определенной глубине размещается система диспергирования воздуха.

При работе затопленного эрлифта образуются три характерных зоны с различными гидродинамическими структурами потоков: верхняя – интенсивная турбулентность, средняя – область стабилизации потока и нижняя – зона взмучивания придонного слоя активного ила.

При введении воздуха под слой жидкости возникает эрлифтный эффект, который приводит к образованию основной замкнутой циркуляции потока: восходящий внутри водоподъемного устройства эрлифта и нисходящий за водоподъемной трубой. В восходящем потоке скорость движения пузырей складывается из скорости движения жидкости и собственной скорости пузырей относительно жидкости.

В верхней зоне дополнительно образуется локальный циркуляционный поток жидкости, который увлекает за собой часть пузырьков воздуха, увеличивая время их контакта с жидкостью. Таким образом, в сооружении создается пространственное турбулентное течение, значительно более сложное, чем при барботажной аэрации. Кроме того, в водоподъемной трубе эрлифта и в верхней зоне происходит интенсивное дробление хлопков ила, что увеличивает приток субстрата и кислорода к поверхности хлопка и отток продуктов метаболизма.

Интенсивность затягивания пузырьков воздуха зависит от заглубления верха эрлифта, диаметра пузырьков воздуха, соотношения площадей эрлифта и биореактора, а также от скорости нисходящего потока.

В средней зоне наблюдается стабилизация нисходящего потока. В этой зоне интенсивность турбулизации потока снижается, что способствует соединению отдельных клонов и увеличению размеров флоккул хлопков.

Таким образом, новая технология глубокой минерализации осадка дает возможность отказаться от сложной и достаточно затратной технологии его обезвоживания благодаря практически полному биологическому окислению его органической части. Полученные нами ранее результаты исследований на экспериментальных установках [6, 7, 8] позволили выполнить проект и смонтировать полномасштабную производственную установку глубокой минерализации на действующих канализационных сооружениях г. Макеевки на базе радиального отстойника диаметром 18 м.

Аэробный минерализатор оборудован встроенным илоотделителем в состав, которого входит эрлифтная система откачки уплотненного взвешенного ила, пульсатор, а также дырчатая система сборных трубопроводов для отвода осветленной воды. Эрлифтная система откачки ила служит для корректировки высоты взвешенного слоя осадка в илоотделителе в зависимости от илового индекса. Производительность эрлифта напрямую связана с иловым индексом. Кроме того, постоянный возврат уплотненного осадка из илоотделителя в минерализатор

исключает вынос специфического биоценоза микроорганизмов, имеющего большой возраст. Пульсатор представляет собой систему труб герметичную в верхней части, а в нижней открытые торцы. Внутри установлено устройство сифонного типа для впуска небольшого количества воздуха, обеспечивающее периодическое выталкивание и затягивание жидкости в пульсатор с определенной частотой колебания.

Пульсатор обеспечивает постоянную пульсацию уровня воды в илоотделителе с амплитудой 20-50 мм, которая исключает залегание осадка, а также вынос газообразных продуктов метаболизма микробиологических процессов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Работу минерализатора оценивали по следующим показателям: содержание взвешенных веществ, их зольность, аммонийный азот, нитриты и нитраты, величина рН среды. Кроме того, периодически замерялся иловый индекс поступающего осадка и иловой смеси минерализатора, температура, определялась величина ХПК иловой воды. В пусконаладочный период, который длился почти четыре месяца, наблюдался нестабильный распад беззольного вещества, что приводило к повышенному выносу взвешенных веществ в иловой воде минерализатора. Очевидно, в этот период формировался новый биоценоз ила минерализатора.

В результате автоселекции в минерализаторе сформировался активный ил коричневого цвета, который имел компактную и округлую форму с высокими скоростями оседания и с низкими значениями илового индекса при возрасте ила 60-90 суток.

Постепенно распад беззольного вещества в минерализаторе стабилизировался, показатели работы минерализатора в этих условиях приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты работы производственного минерализатора

Table 1. The results of working industrial mineralizer

Показатели работы минерализатора	Место отбора проб		
	Усреднитель	Минерализатор	Отвод воды
Взвешенные вещества, г/дм ³	6-10	10-12	0,07-0,25
Зольность, %	32-36	41-45	46-60
рН	7-8	5,95-7,0	6,05-7,15
Аммиачный азот, мг/дм ³	22-50	0,2-1,0	0,2-1,0
Нитриты, мг/дм ³	0,07-0,3	0,08-0,31	0,08-0,1
Нитраты, мг/дм ³	-	420-543	390-502
ХПК иловой воды, мг/дм ³	-	-	94-173

Иловый индекс поступающего в минерализатор осадка колебался в пределах 85-100 см³/г, иловой смеси минерализатора 60-85 см³/г, что свидетельствует о некотором улучшении седиментационных свойств осадка при его минерализации. Температура иловой смеси в минерализаторе в период испытаний колебалась в пределах 8-24°С. Удельная скорость распада беззольного вещества осадка при минерализации вычислялась из следующих средних показателей:

- подача осадка в минерализатор $q = 3,5 \text{ м}^3/\text{час}$;
- концентрация взвешенных веществ в поступающем на минерализацию осадке $C_{oc} = 8 \text{ г/дм}^3$, зольность $S_{oc} = 33\%$;
- концентрация взвешенных веществ в иловой воде, выходящей из илоотделителя $C_{и.в.} = 0,2 \text{ г/дм}^3$, зольность $S_{и.в.} = 50\%$;
- концентрация взвешенных веществ в минерализаторе $C_{мин} = 11 \text{ г/дм}^3$;
- зольность взвешенных веществ в минерализаторе $S_{мин} = 43\%$;
- объем минерализатора $W = 900 \text{ м}^3$.

По указанным данным величина удельной скорости составила:

$$\rho = \frac{q \cdot [C_{oc} (1 - S_{oc}) - C_{и.в.} (1 - S_{и.в.})] \cdot 1000}{W \cdot C_{мин} \cdot (1 - S_{мин})} =$$

$$= \frac{3,5 \cdot [8 \cdot (1 - 0,33) - 0,2 \cdot (1 - 0,5)] \cdot 1000}{900 \cdot 11 \cdot (1 - 0,43)} = 3,26 \text{ мг / (г} \cdot \text{час)}.$$
 (1)

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих технологии обработки осадка показал, что на сегодняшний день существует острая проблема по глубокой переработке и утилизации осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточных вод.

2. Разработана новая экологически безопасная биотехнология утилизации осадков, позволяющая перерабатывать органическую часть осадков до 95 %. Удельная скорость распада осадка по беззольному веществу составляет в среднем 3,26 мг на 1 г активного ила минерализатора в час.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н.: Техничко-экономические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод, 2001.
2. Нездойминов В.И., Чернышова О.А. Миграция ионов тяжелых металлов при использовании осадков городских сточных вод в качестве удобрения // Вестник ДонНАСА. – Вып. 2010-2(82).
3. Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н.: Осадки сточных вод как удобрение для сельского хозяйства // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – №12. – С. 33-35.

4. Яковлев С.В., Карюхина Е.А.: Биохимические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.
5. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.: Химия воды и микробиология. - М.: Стройиздат, 1974. - 223 с.
6. Чернышев В.Н., Куликов Н.И., Чернышева Е.Н.: Интенсификация аэробной стабилизации осадков городских сточных вод. // "Микробиологические методы борьбы с загрязнением окружающей среды". Тез. Докл. - Пущино. - 1988. – 187 с.
7. Чернышев В.Н., Куликов Н.И., Чернышева Е.Н. : Технология стабилизации осадков сточных вод. // Донецкий ЦНТИ. Информационный листок №067-89, серия 40. - Донецк, 1989.
8. Чернышев В.Н., Чернышева Е.Н. : Аэробная стабилизация активного ила в биореакторах с ершовой насадкой. // "Технология обработки осадков природных и сточных вод и пути их утилизации". - Тезисы докл. научн. техн. семинара. - Московский дом научно-техн. пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского. - Москва, 1990. - С. 16-20.
9. Яковлев С.В., Скирдов И.В., Швецов В.Н. и др. : Биологическая очистка сточных вод: Процессы, аппараты и сооружения. - М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
10. Муравьева Н.В. Теоретические предпосылки снижения избыточного активного ила в аэрационных сооружениях.
11. Долобовская А.С., Невзоров М.И. : Об аэробном окислении активного ила. Сб. "Очистка сточных вод и обработка осадков". - Вып. VII, Труды Харьковского отделения водного хозяйства ВНИИ ВОДГЕО. – Харьков, 1977. - 172 с.
12. Экологическая биотехнология. – Под. ред. К.Ф.Форстер. Пер. с англ. – Л.: Химия, 1990.
13. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. : Подготовка и использование осадков сточных вод в качестве удобрения. // Водоснабжение и сан. техника. - № 1. - 2003. - С. 25-29.
14. Котюк Ф.А., Штонда Ю.И. : Разработка методов удаления тяжёлых металлов из осадков городских сточных вод // Науч.-техн. сб. "Коммунальное хозяйство". – 2004. - №72. – С. 165-169.
15. Костюк Ф.А. : Разработка экологически безопасного метода обработки осадка городских сточных вод // Науч.-техн. сб. "Коммунальное хозяйство". – 2006. - №74. – С. 95-99.
16. Данилович Д.А., Аджиенко В.Е. : Способ обработки осадков сточных вод с удалением тяжёлых металлов // Патент России. – 1996.
17. Нездойминов В.И., Бескровная М.В., Белоусов В.В. Влияние концентрации растворенного кислорода на процессы одновременной нитри- и денитрификации // Вестник Донецкого ун-та. – 2006. - № 2. – С. 333-336.
18. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко. – Донецк, 1995. – 592 с.
19. Goronszy M.C., Demoulin G., Newland M. : Aerated denitrification in full-scale activated sludge facilities // Water Science and Technology. – 1996. – 34. - P. 487-491.

20. Hanze M. : Capabilities of Biological Nitrogen Removal Processes from Wastewater // Sci. Technol. - 23 (4-6), 669-679 (1991).
21. Яковлев С.В., Свердников А.А. : Технология глубокой биологической очистки сточных вод от соединений азота в модульных комбинированных колонных и коридорных биореакторах. // Междун. конгресс «Вода: экология и технология» - М., 17-21 сентября 96, С. 396-397.

THE NEW ENVIRONMENTALLY SAFE DISPOSAL TECHNOLOGY

Abstract. The processes of deep aerobic mineralization of sewage sludge, shows design and performance of industrial mineralizer.

Key words: mineralizer, precipitation, activated sludge.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРОРОЗПОДІЛУ ВЗАЄМОДІЄЮ ЗУСТРІЧНИХ НЕСПІВВІСНИХ СТРУМИН

Орест Возняк, Христина Миронюк, Ірина Сухолова

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. У цій статті представлені результати експериментальних досліджень використання у вентиляційній техніці зустрічних неспіввісних струмин для створення рівномірного результуючого повітряного потоку, за якими зроблені висновки щодо створення діючих конструкцій повітророзподільвачів та застосування повітророзподілу взаємодією зустрічних неспіввісних струмин.

Ключові слова: повітророзподіл, взаємодія струмин, зустрічні неспіввісні повітряні струмини, швидкість руху, надлишкова температура.

ВСТУП

Сучасний розвиток суспільства пов'язаний з потребами покращення санітарно-гігієнічних умов у виробничих та невиробничих приміщеннях, а також економії матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів. Сьогодні в Україні успішно розвиваються такі галузі промисловості як текстильне виробництво, мікроелектроніка, комп'ютерні технології, виробництво нових матеріалів, інструментів, ювелірне виробництво тощо у виробничих приміщеннях яких підтримання нормованих параметрів повітря в обслуговуваній зоні у значній мірі залежить від організації повітророзподілу. Умови праці, ефективність та надійність роботи устаткування значною мірою залежить від умов повітряного середовища виробничо-технологічних приміщень, які повинні забезпечуватися системами вентиляції [3,17,18].

Метою роботи є наукове обґрунтування і розробка повітророзподільника, з якого витікає потік, утворений взаємодією зустрічними неспіввісними струминами для забезпечення інтенсивного затухання параметрів результуючого потоку повітря у виробничо-технологічних приміщеннях невеликого об'єму.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У приміщеннях невеликого об'єму з розосередженими джерелами шкідливостей, незначними тепловими надлишками і фіксованими робочими місцями, де визначальний вплив на формування внутрішнього мікроклімату мають припливні струмини, вирішення цієї задачі ускладнюється через обмежені відстані до робочої зони при подачі повітря вертикальними струминами і можливого переносу шкідливостей горизонтальними припливними потоками. У зв'язку з цим виникає

необхідність розроблення нових конструктивних вирішень повітророзподілення, які забезпечили б одночасно створення необхідного мікроклімату та економію матеріальних і енергетичних ресурсів. Недостатньо вивченим і, як наслідок, мало застосовуваним є питання інтенсифікації затухання параметрів повітряного потоку завдяки взаємодії зустрічних струмин .

Для подачі припливного повітря безпосередньо в робочу зону можуть використовуватися повітророзподільники, що забезпечують при витіканні параметри повітря, що подається, близькі до нормованих, або такі, що створюють припливні струмини, у яких швидкості і температури досягають нормованих значень поблизу від місця випуску [1,8,9,10].

Залежно від вибраної схеми повітророзподілу підбираються відповідні конструкції повітророзподільних пристроїв. Певна конструкція повинна забезпечувати ті чи інші характеристики припливної струмини, що утворюються при витіканні з даного повітророзподільника. При вирішенні завдання організації повітророзподілу у великих приміщеннях з використанням схем роздачі припливного повітря доцільною є якнайбільша далекобійність припливних струмин. При випуску повітря безпосередньо в робочу зону потрібно забезпечити якнайшвидше погасання припливних струмин. Зменшення швидкості та різниці температур у припливних струминах можна оцінити за допомогою коефіцієнтів погасання m і n [7,16,19,20].

Далекобійність струмини, яка розвивається в обмеженому просторі, є в квадратичній залежності від коефіцієнту затухання швидкості m :

$$X_{\max} = 0,3m^2H_n \quad (1)$$

де: m — коефіцієнт затухання швидкості; H_n – висота приміщення, м.

Таким чином, в приміщеннях невеликої висоти необхідно використовувати повітророзподільники з низьким m [14,19].

При взаємодії зустрічних потоків в утвореній струмині спостерігається швидке зниження швидкості і далекобійності. У результуючій струмині є три ділянки: початкова, формування і основна. Довжина початкової ділянки залежить від відстані між насадками і кутом зустрічної струмини. Ділянка формування починається з місця з'єднання зустрічних струмин, інтенсивність турбулентності тут вища в 6...10 разів, ніж в початковій. Цим пояснюється підвищення кута розширення і зменшення далекобійності результуючої струмини в порівнянні з одиночною.

Розроблено конструкцію повітророзподільника з використанням взаємодії зустрічних плоских струмин, який складається з вертикального підвідного повітропровода, двох розподільних повітропроводів та горизонтального з'єднувального повітропровода, встановленого між двома вертикальними розподільними повітропроводами, а на протилежній стороні - з'єднувальну стінку між розподільними повітропроводами, ущільнювач, який встановлений з тильної сторони повітророзподільника по його периметру, елементи кріплення навісного повітророзподільника, причому вертикальний підвідний повітропровід приєднаний в центральній частині з'єднувального горизонтального повітропроводу, а розподільні повітропроводи виконані у вигляді повітропроводів рівномірної витрати із неспіввіднесеними опозитними плоскими щілинами при співвідношенні відстані між осями опозитних щілин до їх ширини $\geq 1,5$ (рис. 1) [12,13].

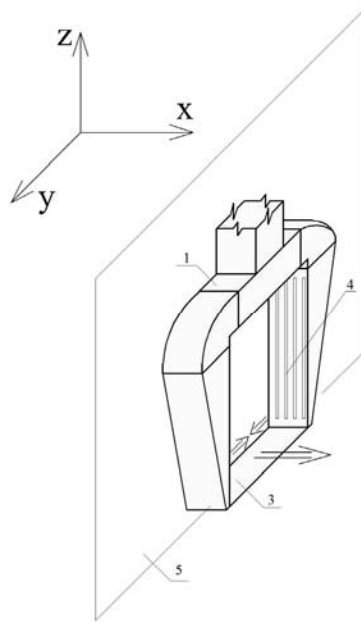


Рис. 1. Повіторозподільник із взаємодією зустрічних

1 – повітропровід; 2 – конструктивна частина повіторозподільника; 3 – конструктивна частина повіторозподільника; 4 – припливні щілини $b_0=20$ мм; 5 – основа неспіввісних плоских струмін

Fig.1. Basic air distribution device with interaction of opposed non-coaxial flat air jets

1 - duct, 2 - a constructive part of the Air, and 3-constructive part of the air
4 - tidal cracks $b_0 = 20$ mm, 5 - basis

Встановлення припливних зустрічних неспіввісних насадків у вигляді плоских щілин забезпечує інтенсивне затухання параметрів повітряного потоку, що витікає з цих насадків у робочий об'єм повіторозподільника. Це відбувається за рахунок розповсюдження обмежених паралельних зустрічних струмін, їх взаємного підживлення, часткового співударяння, в тому числі і до протилежних стінок розподільних повітропроводів і вимушеного одностороннього напрямку руху результуючого потоку повітря із повіторозподільника.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Експериментальні дослідження проводились на установці, схема якої представлена на рис.2 при таких умовах та спрощеннях:

- приплив і насадки – щілини з коефіцієнтом погасання швидкості $m = 2,5$;
- їхня ширина не змінювалася і становила $b_0 = 20$ мм;
- лінійний розмір повітропроводів не змінювався і становив $H = 1,5$ м;

- повітропроводи виконані у вигляді повітропроводів рівномірної витрати;
- відстань між осями насадків l_0 була змінною і становила: $l_{01} = 40\text{мм} = 2 b_0$; $l_{02} = 60\text{мм} = 3 b_0$; $l_{03} = 80\text{мм} = 4 b_0$;
- довжини струмин $X_{п}$, що взаємодіють, були змінними і становили: $X_{п1} = 0,6\text{м} = 30 b_0$; $X_{п2} = 0,8\text{м} = 40 b_0$; $X_{п3} = 1,0\text{м} = 50 b_0$; $X_{п4} = 1,2\text{м} = 60 b_0$;
- співвідношення витрат повітряних потоків $\bar{L} = L_g/L_{г0}$, що взаємодіють, змінювалось і становило: $\bar{L}_1 = 1,0$; $\bar{L}_2 = 2,0$; $\bar{L}_3 = 3,0$.
- струмини слабоізотермічні;
- початкова швидкість повітря в припливних насадках знаходилася в межах: $v_0 = 5 - 15 \text{ м/с}$.

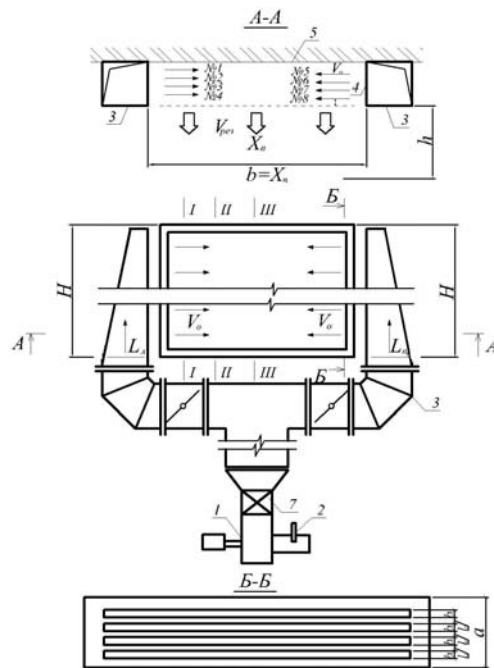


Рис. 2. Схема експериментальної установки
 1 - вентиляційний агрегат; 2 - заслінка; 3 - повітропровід розміром $a \times b = 350 \times 350 \text{ мм}$;
 4 - припливні насадки шириною $b_0 = 20 \text{ мм}$; 5 - основа; 6 - конструктивна частина повітророзподільника; h - відстань до характерної площини полів швидкостей;
 7 - повітрянагрівач

Fig.2. Scheme of experimental setup

1 - ventilation system, 2 - valve, 3 - duct size $a \times b = 350 \times 350 \text{ мм}$;
 4 - tidal nozzle width $b_0 = 20 \text{ мм}$, 5 - base, 6 - constructive part of the air;
 h - the distance to the characteristic plane velocity fields; 7 - stove

Заміри швидкості руху повітря V здійснювалися термоелектроанемометром TESTO 405-V1 із використанням координатника із сіткою точок 5 x 5 см у перерізах: I-I; II-II; III-III; IV-IV; V-V [2,15].

Повітря за допомогою вентилятора 1 (електродвигун постійного струму) нагніталось через повітропроводи 3 ($a \times b = 350 \times 350$ мм), і через припливні плоскі щілини $b_0 = 20$ мм нагніталось в конструктивну частину повітророзподільника 6 [11,15].

На підставі результатів експериментальних досліджень [4,5,6,7,11] розроблено методику розрахунку та вибору повітророзподільників і ряд допоміжних графіків. На рис.3 зображено графік падіння осьової швидкості плоскої та круглої струмин залежно від координати. Для відчутності ефекту взаємодії струмин приймаємо припущення, що величина відносної граничної швидкості складає $\bar{v} = 0,15 - 0,2$. Відтак визначимо граничну відносну відстань – так звану граничну далекобійність 0,4 – 0,6 (відстань до області взаємодії струмин). Перехідна область є граничною відносною відстанню і являє собою поріг відчутності ефекту взаємодії неспіввісних струмин. Графік описує параметри однієї з струмин, що взаємодіють. Оскільки параметри другої струмини описуються аналогічно, то відстань між розподільними повітропроводами X_f (гранична ширина приміщення) визначається як подвоєна величина відстані до перехідної області: $X_f = 2\bar{X} \cdot X_{\max}$.

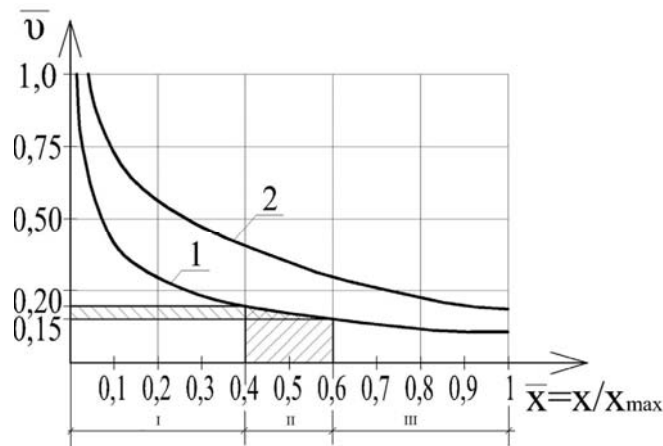


Рис. 3. Визначення далекобійності струмин

1 – для плоских струмин; 2 – для круглих струмин, де \bar{X} – відносна координата, X_{\max} – далекобійність струмини, м, X – біжуча координата, м; \bar{v} – відносна швидкість струмини.

Fig.3. Determination of airflow reach

1 - for flat strumyn 2 - for round strumyn

where - relative coordinate, - carry strumyny, m, X - a running coordinate, m - relative velocity strumyny

I - $\bar{X} = 0 - 0,4$ - область доцільності використання ефекту взаємодії

II - $\bar{X} = 0,4 - 0,6$ - перехідна область

III - $\bar{X} = 0,6 - 1,0$ - область недоцільності використання ефекту взаємодії

Рис. 4 відображає номограму для визначення конструктивних особливостей повітророзподільного пристрою при заданій витраті повітря L і необхідній початковій швидкості U_0 у повітропроводах.

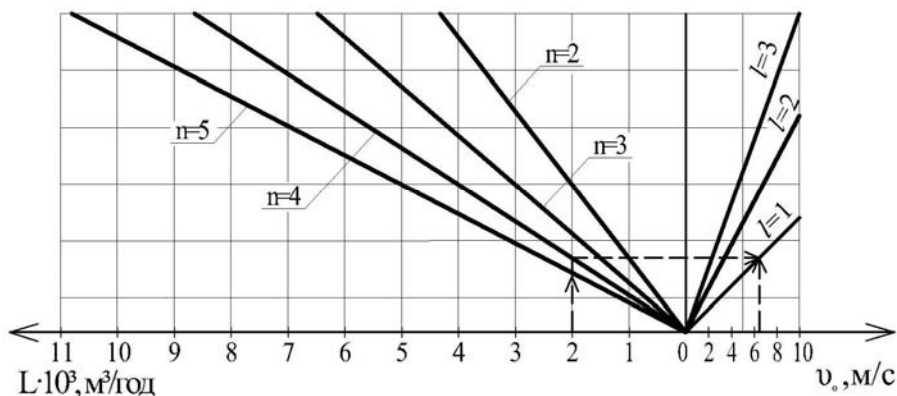


Рис. 4. Номограма для визначення конструктивних особливостей повітророзподільного пристрою при заданій витраті повітря L і необхідній початковій швидкості U_0 у повітропроводах

Fig.4. Nomogram for determining of the structural features of the air distribution device at a given air flow L the necessary initial velocity U_0 in the air ducts

Таблица 1. Типоряд повітророзподільників ПВЗНКС та ПВЗНПС

Table 1. A series of the air distributors ADDINCRAJ and ADDINCFJAJ

№ з/п	Тип	Ширина повітровипускної площини, м	Повітро-продуктивність, м ³ /год
1	ПВЗНКС-1*	1; 1.2; 1.5; 2	254 – 678
2	ПВЗНКС-1,2	1; 1.2; 1.5; 2	254 – 848
3	ПВЗНКС-1,5	1; 1.2; 1.5; 2	339 – 1017
4	ПВЗНКС-2	1; 1.2; 1.5; 2	424 – 1187
5	ПВЗНПС-1	1; 1.2; 1.5; 2	828 – 3318
6	ПВЗНПС-1,2	1; 1.2; 1.5; 2	1002 – 4009
7	ПВЗНПС-1,5	1; 1.2; 1.5; 2	1261 – 5046
8	ПВЗНПС-2	1; 1.2; 1.5; 2	1693 – 6774

* Примітка: цифрою позначена довжина повітровипускної площини, м.

Використання повітророзподілу зустрічними неспіввісними струминами у верхній зоні приміщення дозволяє просто здійснювати значні повітрообміни у приміщенні при дотриманні заданих швидкостей руху повітря.

Розроблений на підставі виконаних досліджень типоряд повітророзподільників із взаємодією зустрічних неспіввісних круглих (ПВЗНКС) та плоских (ПВЗНПС) струмин, створено інженерну методику їх підбору і розрахунку.

ВИСНОВКИ

Отже, на підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена методика розрахунку та підбору повітророзподільників ПВЗНКС та ПВЗНПС, яка дозволяє проектувати ефективні системи повітророзподілення, що забезпечують нормативні швидкості та температури в робочій зоні виробничо-технологічних приміщень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамович Г.Н. : Турбулентное смешение газовых струй. - М.: Наука, 1974. – 272 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. : Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., Наука, 1976. – 279 с.
3. Банхиди Л. : Тепловой микроклимат помещений. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.
4. Возняк О.: Динамічний клімат і енергоощадність. // Вісник Національного Університету “Львівська політехніка” № 460 “Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація”, 2002 р., - с.157 – 161.
5. Возняк О.Т., Желих В.М. : Основы научных исследований у будiвництвi: Навч. посiбник для студ. вищих навч. закл. // Національний ун-т „Львівська політехніка”. – Л.: видавництво Національного ун-ту „Львівська політехніка”, 2003. – 176 с.
6. Возняк О.Т., Ковальчук А.О.: Повiтророзподiл зустрічними неспіввісними струминами // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Науково-технічний збiрник. – Вип.6. – К.: КНУБА, 2003. – 104 с. - С.5-10.
7. Возняк О., Сухолова І., Миронюк Х. : Пiдвищення ефективностi повiтророзподiлу у примiщеннi при використаннi закручених струмин. // MOTROL , 2010, Volume 12С. – С.210-214.
8. Гримитлин М.И. : Распределение воздуха в помещениях. – М., Стройиздат 1982, – 163 с.
9. Кокорин О.Я. : Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2003. – 272 с.
10. Ловцов В.В., Хомуцкий Ю.Н. Системы кондиционирования динамического мькроклимата помещений. -Л.,1991-с.150.
11. Миронюк Х.В. : Спрощена модель повiтророзподiлу неспіввісними опозитними плоскими щiлинами. Др. Вісник Національного Університету „Львівська Політехніка” - 2007, № 600, „Теорія і практика будiвництва”.- с.236-241.
12. Патент № 16828 UA 7 F24F 13/06. Повiтророзподiльник Возняк О.Т., Ковальчук А.О., Миронюк Х.В. // Промислова власність. – 2006. - №8. Кн. 1 – С. 779.

13. Патент № 40842 UA 7 F24F 13/06. Повітророзподільник / Возняк О.Т., Миронюк Х.В. // Промислова власність. – 2009. - №8.
14. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. /В.Н. Богословский, И.А.Шепелев, В.М.Эльтерман и др. Под. ред. И.Г.Старовойта. 3-е изд., перераб.и доп. М., Стройиздат, 1978.-502с.
15. Статистические методы обработки эмпирических данных. Рекомендации. М.: Издательство стандартов, 1978. – 232 с.
16. Талиев В. Н. : Аэродинамика вентиляции. – М., Стройиздат 1978, – 274 с.
17. Фангер О. : качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. – 2003. - №4. – с.12-18.
18. Хомуцкий Ю.Н. : Повышение эффективности эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования воздуха и управление охраной труда. // Повышение энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Л., 1983С. 89-93.
19. Шепелев И.А. : Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стройиздат, 1978. – 145 с.
20. Шлихтинг Г. : Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.

THE USE OF AIR DISTRIBUTION WITH COORDINATION OF OPPOSING NON-AXIAL AIRFLOWS

Annotation. In this article are presented the results of experimental research on the use of the venting method of opposing non-axial airflow for creation of evenly balanced resulting airflows. According to the above research the conclusions were made in relation to creation of operating designs of air distributors and the use of air distribution with coordination of opposing non-axial airflows.

Key words: air distribution, interaction of air jets, opposed non-coaxial air jets, air velocity, exceed temperature.

РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ

Вікторія Батлук, Віктор Макарчук, Надія Параняк

Національний університет “Львівська політехніка”

Анотація. Стаття присвячена питанням забезпечення вискооефективними апаратами очистки повітря від пилу різних галузей виробництва з метою доведення шкідливих викидів їх до санітарно-гігієнічних норм. У статті наводяться нові напрямки створення апаратів пилоочищення, які базуються на використанні дії відцентрово-інерційних сил і завдяки яким вдалося значно збільшити ефективність пиловловлення.

Ключеві слова: апарати очистки повітря, шкідливі викиди, пил, ефективність.

ВСТУП

Надзвичайно важливим чинником, що істотно впливає на територіальну організацію усього соціально-економічного життя і ефективність виробництва, є екологічна обстановка. У останні десятиліття в Україні вона істотно погіршала. Одним з основних чинників, що вплинули на екологічну обстановку, є розвиток промисловості при застарілих технологіях і пов'язана з цим надмірна урбанізація багатьох районів. Основоположні постулати концепції сталого розвитку людства ґрунтуються на розумінні тісного взаємозв'язку екологічних, економічних і соціальних проблем. Це, в свою чергу, змушує до об'єднання наукових доробків провідних фахівців академічних інститутів, зокрема проблем ринку та економіко-екологічних досліджень. Так, з огляду на проблеми сьогодення, подібна задача є як вкрай необхідною, так і надважкою, оскільки:

- по-перше, Україна на даному етапі свого розвитку перебуває в умовах важкопрогнозованого перебігу трансформаційних процесів та реформування економіки;

- по-друге, первинні наукові підходи до розв'язання посталих проблем повинні володіти як структурною різноплановістю, так і багатогранністю наукових прийомів, що в свою чергу гарантуватиме комплексний підхід до розв'язання складних еколого-економічних проблем у всіх сферах життя суспільства – від визначення методологічних засад забезпечення ефективної еколого-економічної політики держави до формування конкретних важелів та інструментів екологізації суспільного розвитку і раціонального природокористування на загальнодержавному, регіональному та секторальному рівнях.

Щоправда, і це підтверджується щодень реальною дійсністю, їхньому втіленню у життя має передувати реформування національної екології на інноваційних засадах і внесення суттєвих коректив у систему еколого-економічної політики. Це принципове положення зумовлює необхідність радикальної перебудови адміністративно-управлінського, економічного та техніко-технологічного базису розвитку країни на засадах екоінноваційного підходу.

Таким чином ідеться не тільки й не стільки про новий напрямок в екологічній науці, а про новий напрямок у загальній системі світосприйняття і осмислення новітніх проблем взаємодії людини й природи, визнання місця людини й суспільства в природі, їх збалансованого розвитку.

Техногенне навантаження в Україні характеризується виключно високим рівнем і різноманітністю впливу на навколишнє природне середовище. Має місце недостатність уваги з боку суб'єктів господарської діяльності до проблем техногенної та екологічної безпеки. Випадки загибелі та травмування людей під час аварій трапляються у 5-8 разів частіше, ніж в розвинутих європейських країнах. Тому єдиним шляхом покращення стану техногенної та екологічної безпеки вбачається тотальна екологізація суспільства та удосконалення алгоритмів дій з ліквідації надзвичайних ситуацій з використанням міжнародних стандартів зі сфери управління, в першу чергу стандартів ISO 14001 та ISO 9000.

За останні 20 років від стихійного лиха, техногенних аварій і надзвичайних ситуацій постраждали більш ніж 1 млрд. людей, у тому числі 5 млн. загинуло, а спричинені матеріальні збитки обчислюються трільйонами доларів США.

В Україні щорічно виникає понад 60 тис. надзвичайних подій техногенного характеру, у яких гине й травмується понад 6 тис. осіб. Державі наносяться збитки більше як на 1 млрд. гривень.

Займаючи лише 2,7 % території колишнього СРСР, на якій проживало 18 % населення, Українська РСР виробляла понад 17 % промислової та близько 22 % сільськогосподарської продукції, що зумовило в свою чергу велику концентрацію техногенно-небезпечних підприємств різноманітних напрямків господарської діяльності на одиницю площі території.

Техногенне навантаження в Україні характеризується не тільки високим рівнем, але і різноманітністю впливу на навколишнє середовище. Промислове виробництво в Україні нараховує понад 1,8 тис. хімічно небезпечних об'єктів, які зберігають, виробляють або використовують близько 300 тис. тонн різних небезпечних хімічних речовин, у тому числі понад – 9,0 тис. тонн хлору, 200 тис. тонн аміаку та близько 100 тис. тонн інших небезпечних хімічних речовин. В Україні діє понад 1,5 тис. вибухо- та пожежонебезпечних об'єктів, де зосереджено понад 13 млн. тонн твердих і рідких вибухо- і пожежонебезпечних речовин.

У зонах можливого хімічного ураження цих об'єктів мешкає понад 17 млн. осіб, або 35 % населення країни. Більше 400 адміністративно-територіальних одиниць мають ступінь хімічної небезпеки. Із них понад 90 адміністративно-територіальних одиниць віднесено до I ступеня хімічної небезпеки (у зоні хімічного ураження знаходиться понад 50 % мешканців), більше 20 – до II ступеня хімічної небезпеки (від 30 до 50 % мешканців), більше 70 (від 10 до 30 % мешканців) - до III ступеня, 245 (до 10 % мешканців) - до IV ступеня.

Одночасно має місце ситуація, коли суб'єкти господарської діяльності створюють і розташовують свої технологічні комплекси у густонаселених місцях, не зважаючи на небезпеку, яку створюють ці підприємства.

Випадки загибелі людей та їх травмування під час аварій і надзвичайних ситуацій техногенного характеру в Україні трапляються у 5-8 разів частіше, ніж в інших промислово розвинутих європейських країнах, що свідчить про серйозні недоліки та резерви розвитку державної системи забезпечення екологічної та техногенної безпеки. І одне з найбільш актуальних проблем сьогодні є зменшення

кількості пилу в повітрі, вирішення якої змогло би значно знизити техногенне навантаження на довкілля.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

При всіх існуючих методах очистки повітря від пилу прекрасні результати досягаються при вловленні великодисперсних частинок, а дрібнодисперсні частинки аерозолію при цьому неможливо вивести з пилоповітряного потоку, а їх частка в загальному об'ємі колосальна. Зважаючи на це, сьогодні найважливішим є створення пиловловлювачів, які здатні високоефективно вловлювати дрібнодисперсний пил. В апаратах одноступеневої дії досягти необхідного ефекту неможливо, тому в даний час створена ціла серія двоступневих апаратів відцентрово-інерційної дії, які суміщають в одному корпусі ефект відцентрового виділення великодисперсних частинок аерозолію і ефект інерційного розділення при проходженні через жалюзі відокремлювача певної конструкції, встановленого коаксійно корпусу апарата. Вдосконаленню апаратів такого типу і присвячена представлена робота, в якій ставиться завдання підвищити ефективність і зменшити енерго- та металоємність відцентрово-інерційних пиловловлювачів і досягти в них можливості однаково ефективно вловлювати пил з різними фізичними, хімічними та морфометричними якостями. В основу роботи поставлено завдання створення пиловловлювача полідисперсного пилу, в якому підвищення ефективності роботи досягається шляхом механічного підбору оптимального кута атаки конкретно для кожного типу, розміру, якостей пилу і режимів роботи установки зміною кута повороту жалюзі відокремлювача.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Існуючі на сьогоднішній день апарати для очистки повітря від пилу не в змозі виділити з потоку його дрібнодисперсні фракції. Кращі з них відцентрово-інерційні пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем мають суттєвий недолік - неможливість регулювання кута повороту його жалюзі в залежності від типу, розміру і якостей пилу та технологічних режимів роботи установки (зокрема, розходу і швидкості руху повітря), тобто для всіх типів пилу жалюзі відокремлювача мають одне, точно зафіксоване положення, що робить його малоефективним при вловленні полідисперсного пилу (наприклад при шліфуванні, метало - деревообробці тощо).

Ми поставили перед собою завдання створити пиловловлювач для полідисперсного пилу, в якому підвищення ефективності роботи досягається виготовленням пиловловлювача багатосекційним зі змінює кута атаки та кількості жалюзі в кожній з них для забезпечення для даного типу, розміру, якостей пилу і режимів роботи установки мінімального кута атаки (кута між напрямком руху потоку і площиною кожної жалюзі).

Базуючись на створеній нами математичній моделі відцентрово-інерційних пиловловлювачів зі ступеневим відокремлювачем, нами розроблені принципово нові типи пиловловлювачів, які суміщають в одному корпусі два ступеня очищення: перший – циклонний – на половині оберту потоку після входу в апарат під дією відцентрової сили та другий – інерційний - при проходженні потоку через щілини

між жалюзі відокремлювача, який встановлений коаксійно корпусу, причому жалюзійний відокремлювач складається з декількох секцій.

Взявши за основу дослідження, проведені Азарським К.І., ми зупинилися на циліндрично-конічній формі корпусу, довжина якого дорівнює для пилу з медіанним діаметром: 8мкм - $925 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 32мкм - $825 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 50мкм - $725 \cdot 10^{-3} \text{ м}$., а кут при вершині конуса дорівнює 15о.

Дослідження прозорої моделі наведеної вище конструкції відцентрово-інерційного пиловловлювача в аеродинамічній трубці довели, що значного підвищення ефективності їх роботи вдається отримати при дотриманні умови постійності швидкості руху пилогазової суміші, як в корпусі апарату, так і при проходженні через щілини між жалюзі відокремлювача, що і було нами використано при конструюванні принципово нових апаратів.

Авторами запропоновані чотири конструкції пиловловлювачів з оптимальним співвідношенням діаметрів секцій відокремлювача, в яких залишаючи незмінною відстань між жалюзі в кожній секції відокремлювача, досягаємо постійної швидкості руху пилоповітряної суміші через отвори між жалюзі відокремлювача зменшенням втому ж напрямку діаметрів секцій відокремлювача, кількість і відстань між жалюзі відокремлювача.

Оптимальним є апарат, відношення діаметрів секцій жалюзійного відокремлювача якого зверху вниз зменшується і складає $4/3$ і $3/2$. Тобто відношення діаметра жалюзійного відокремлювача секції 6 до діаметра жалюзійного відокремлювача секції 7 дорівнює $4/3$, а відношення діаметра жалюзійного відокремлювача секції 7 до діаметра жалюзійного відокремлювача секції 8 дорівнює $3/2$, а це - четверта модель, яка забезпечує постійну швидкість проходження пилоповітряної суміші через щілини між жалюзі відокремлювача всіх трьох секцій його (рис.1).

Пояснюється така величина оптимального співвідношення діаметрів секцій відокремлювача тим, що тільки в такому варіанті ми, залишаючи незмінною відстань між жалюзі в кожній секції відокремлювача, досягаємо постійної швидкості руху пилоповітряної суміші через отвори між жалюзі відокремлювача зменшенням втому ж напрямку діаметрів секцій відокремлювача.

Відношення діаметра корпусу до діаметра бункера, яка дорівнює 0,45 та дозволяє отримати максимальну ефективність очистки повітря від пилу, що пояснюється вибором оптимального розміру руху потоку в апараті і бункері з мінімальною турбулізацією потоку.

Максимальну ефективність вловлення пилу ми отримали при відношенні висот корпусу і бункера, яка дорівнює 0,8, що пояснюється знову ж заспокоєнням потоку, зниженням швидкості його руху, а тим самим збільшенням пиловиділення. Визначені оптимальні конструктивні розміри бункера дозволили не тільки збільшити ефективність роботи апарату, але і знизити гідравлічний опір його в 1.2 рази.

Пояснюється це положення тим, що тільки в такому варіанті ми, залишаючи незмінною відстань між жалюзі в кожній секції відокремлювача, досягаємо постійної швидкості руху пило повітряної суміші через отвори між жалюзі відокремлювача зменшенням в тому ж напрямку діаметрів секцій відокремлювача.

Всі виділені з такого потоку великодисперсні частинки пилу опускаються донизу вздовж циліндричної, а потім вздовж конічної частини корпусу апарата, а

дрібніші частинки пилу, які відбиті жалюзі відокремлювача також опускаються донизу вздовж відокремлювача в бункер. Експериментальні дослідження довели, що оптимальними умовами роботи апарату є: висота бункера складає 1,25 висоти корпусу апарата; відношення діаметра корпусу до діаметра бункера дорівнює 0,45; форма бункера – циліндрично-конічна.

Таблиця 1. Визначення висоти бункера циліндрично-конічних пиловловлювачів

Table 1. The height of cylindrical-conical hopper dust collectors

Витрати повітря м ³ /год	Розмір пилу, 10 ⁻⁶ м	Відношення діаметрів корпусу і бункера	Висота корпусу, 10 ⁻³ м	Висота бункера, м	Відношення висот корпусу і бункера	Ефективність вловлення пилу, %
3000	32	0,45	800	1	0,8	98,7
3000	32	0,45	800	0,9	0,89	98,5
3000	32	0,45	800	0,8	1	98,1
3000	32	0,45	800	0,7	1,14	97,6
3000	32	0,45	800	0,6	1,33	97,1

Нами проведені дослідження на стандартному експериментальному стенді чотирьох типів запропонованих автором відцентрово-інерційних пиловловлювачів в порівнянні з циклоном ЦН – 11 і еталоном при витратах повітря 3000м³/год і на кварцовому піску з медіанним діаметром ($\delta_{50} - 50 \cdot 10^{-6}$ м), які встановили, що в кожній конструкції апарата зберігається загальна тенденція: значне підвищення ефективності пиловловлення зі збільшенням: медіанного діаметра пилу; витрат повітря; з переходом від циклона ЦН – 11 до еталону, до апарата зі змінною кількістю жалюзі, до апарата зі зміною кута атаки жалюзі, до апарату з бункером і до апарата із ступеневим відокремлювачем і бункером; зменшення гідравлічного опору зі збільшенням витрат повітря.

Все це можна пояснити наступним чином. Інженерна думка прямувала по шляху удосконалення конструкції найкращого з існуючих у даний час апаратів сухого обезпилювання повітря циклона ЦН – 11, детально проаналізувавши недоліки його роботи, в результаті чого була запропонована конструкція апарата в подальшому звана - еталон, яка відрізняється наявністю в корпусі апарата коаксійно йому встановленого жалюзійного відокремлювача, тобто додається друга ступінь очищення. Неможливість забезпечити вимоги ГДК для дрібнодисперсного пилу при вела до думки вдосконалення конструкції жалюзійного відокремлювача таким чином, щоб забезпечити швидкість проходження потоку через жалюзі його постійною, тому то і була запропонована конструкція апарата зі змінною кількістю жалюзі, дослідження якої довели переваги її перед циклоном ЦН-11 і еталоном, але цього виявилось недостатнім для досягнення вимог ГДК для дрібнодисперсного пилу знов через неможливість забезпечити постійність швидкості руху пилоповітряного потоку не тільки через отвори між жалюзі відокремлювача, а і в корпусі апарата. Нами була запропонована конструкція апарата зі зміною кута атаки жалюзі, яка

дозволила забезпечити постійні швидкості руху пилоповітряного потоку, як в корпусі апарата, так і при проходженні через жалюзійний відокремлювач, і ця конструкція показала кращі показники ніж у попередній конструкції. При дослідженні цієї конструкції пиловловлювача, нам вдалося довести, що провівши вдосконалення в бункері апарата, ми зможемо ще підняти параметри роботи апарата, тому нами була розроблена конструкція апарата попередніми пиловловлювачами, що значно розширило перспективи її впровадження в різних галузях виробництва. Обєднавши конструкцію апарата з бункером з апаратами зі змінною кількістю жалюзі та зі зміною кута атаки жалюзі в одному корпусі нам нарешті вдалося значно підвищити ефективність уловлення дрібнодисперсного пилу, знизивши при цьому енерго та металоємності.

ВИСНОВКИ

Шляхом створення цілого ряду пиловловлювачів нам вдалося досягти значного збільшення (6 – 8%) ефективності вловлення дрібнодисперсного пилу (8 і 16) 10-6м у порівнянні з еталоном – циклоном ЦН-11 при зменшенні їх гідравлічного опору і витрат металу (менші габаритні розміри). Апарат першого типу, в якому вдалося досягти невеликого збільшення показників роботи, всеодно на 1-2% перевищує ефективність роботи еталона.

Створивши цілий ряд апаратів пиловловлення, нам вдалося задовольнити (по вимогам дотримання норм ГДК) цілий ряд галузей промисловості, тому що в залежності від типу пилу та технологічних умов виробництва можна вибрати найбільш придатний до цих вимог тип пиловловлювача, для якого нами створена автоматизована система (за допомогою ЕОМ) такого вибору.

В даний час йде впровадження цілого ряду запропонованих пиловловлювачів при обробці деревини, переробці відходів гуми, виробництві цементу.

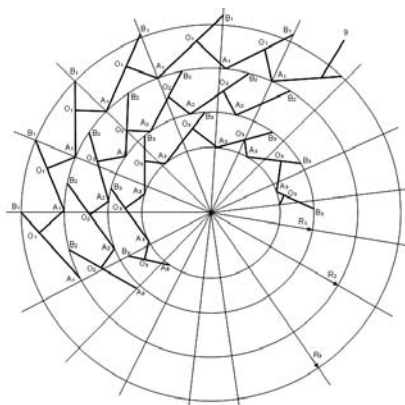


Рис. 1. Жалюзійний відокремлювач пиловловлювача з ступеневим відокремлювачем і бункером

Fig 1. Jalousie separator dust collector separator and the degree of the bunker

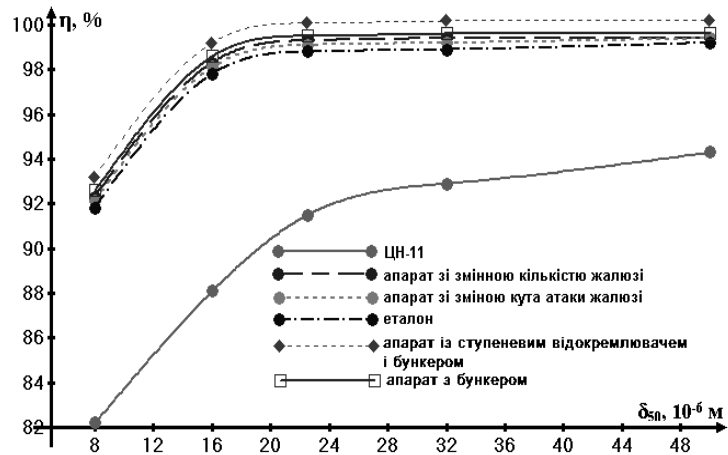


Рис. 2. Порівняльні дослідження залежності ефективності (η) запропонованих апаратів з дном та циклона ЦН-11 від медіанного діаметра пилу (δ_{50})

Fig 2. Comparative study of efficiency dependence (η) of the proposed devices with bottom and cyclone details for-11 from the median diameter of dust (d_{50})

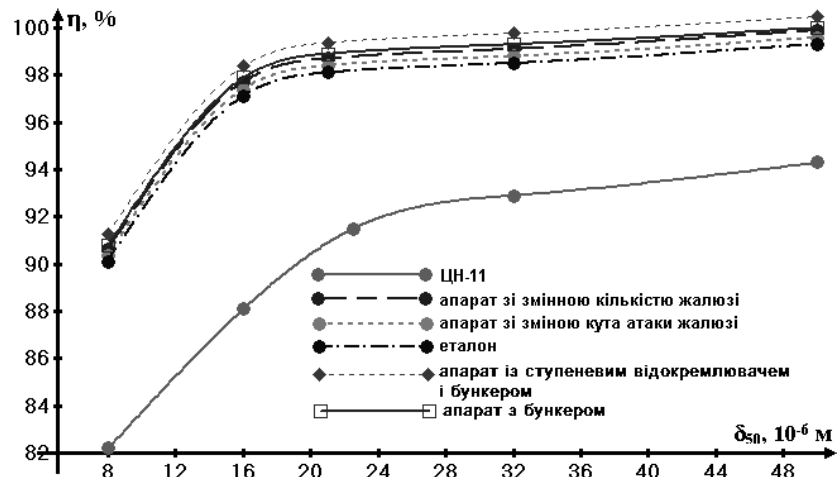


Рис.3 Порівняльні дослідження залежності ефективності (η) запропонованих апаратів без дна та циклона ЦН-11 від медіанного діаметра пилу (δ_{50})

Fig 3. Porivnyalni research depends efficiency (η) of the proposed devices and no bottom cyclone details for-11 from the median diameter of dust (d_{50})

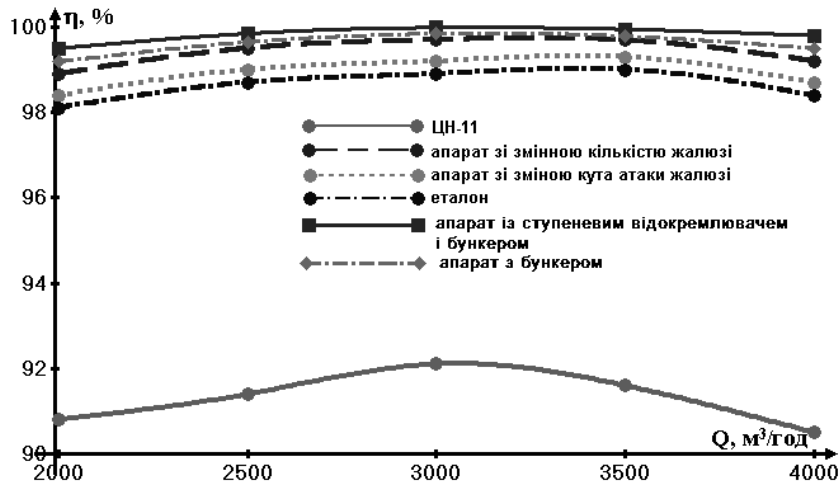


Рис. 4. Порівняльні дослідження залежності ефективності (η) запропонованих апаратів з дном та циклона ЦН-11 від витрат повітря (Q)

Fig. 4. Comparative study of efficiency dependence (η) of the proposed devices with bottom and cyclone details for-11 from the air flow (Q)

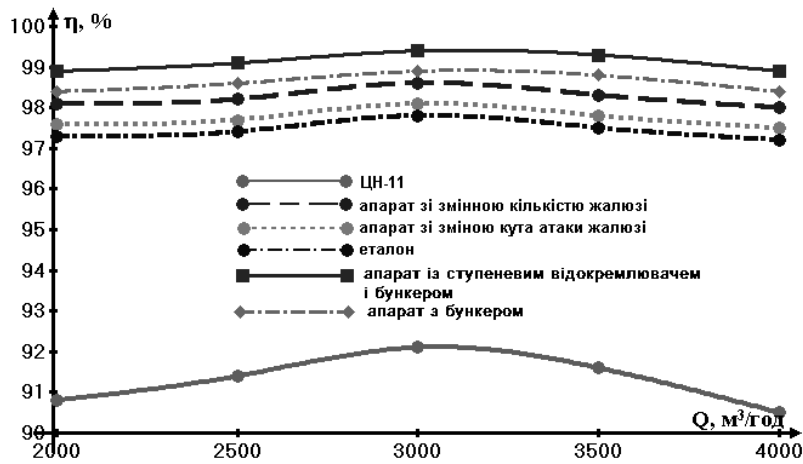


Рис. 5. Порівняльні дослідження залежності ефективності (η) запропонованих апаратів без дна та циклона ЦН-11 від витрат повітря (Q)

Fig. 5. Comparative study of efficiency dependence (η) of the proposed devices and no bottom cyclone details for-11 from the air flow (Q)

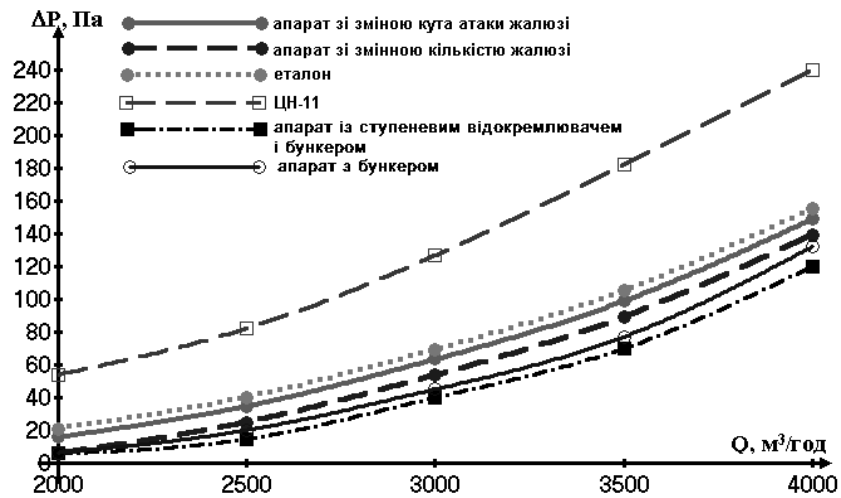


Рис. 6. Порівняльні дослідження залежності гідравлічного опору (ΔP) запропонованих апаратів з дном та циклона ЦН-11 від витрат повітря (Q)

Fig. 6. Porivnyalni research of a hydraulic resistance (ΔP) devices with a proposed bottom and cyclone details for-11 from the air flow(Q)

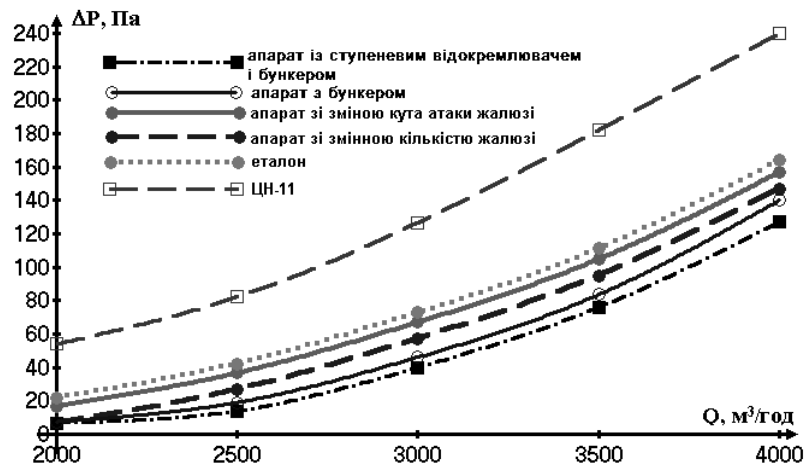


Рис. 7. Порівняльні дослідження залежності гідравлічного опору (ΔP) запропонованих апаратів без дна та циклона ЦН-11 від витрат повітря (Q)

Fig. 7. Comparative research of a hydraulic resistance (ΔP) devices without the proposed bed and cyclone details for-11 from the air flow(Q)

ЛІТЕРАТУРА

1. Батлук В.А., Батлук В.В., Макарчук В.Г. : A mathematical model of vacuum cleaners, taking into account the motion of particles near the wall part of the dust collector; Motrol motoryzacja i energetyc rolnictwa motorization and power industry in Agriculture 12/ 2010, Lublin, P. 97 – 105.
2. Батлук В.А., Макарчук В.Г. Сукач Р.Ю., Проскуріна І.В. : Зниження концентрації дрібнодисперсного пилю, як метод усунення пожежо-вибухонебезпечних якостей пилю; Українська академія друкарства. Науково-технічний збірник "Наукові записки" №2 (52)/2010. С. 164 – 172.
3. Батлук В.А., Макарчук В.Г. Сукач Р.Ю. : Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика» № 4(30), Вінниця, 2010; С.39-46.
4. Пиловловлювач із ступеневим відокремлювачем з бункером; Деклараційний патент на винахід № 4258a200901592 від 24.02.09.Опубл.10.12.2009. Бюл . №23.
5. Секційний пиловловлювач; Патент на корисну модель № 50404 Заявка № 200912036 В01Д45/00 від 23.11.2009. Опубл 10.06..2010. Бюл. №11 .
6. Батлук В.А., Батлук В.В, Проскуріна І.В., Стець Р.Є. : Створення санітарно-гігієнічних умов праці в коксохімічному виробництві. // Збірник матеріалів Міжнародної наукової конференції «Охорона праці та соціальний захист працівників». – 2008. – С. 24 – 28.
7. Батлук В.А., Проскуріна І.В., Ступницька Н.В., Мота Я.В., Романцов Е.В., Макарчук В.Г., Мельников О.В. : Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилю. // Наукові вісті, Інститут менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2008. – № 13 (1). – С. 115-124.
8. Batluk V.A., Batluk V.V, Paranyak N.M. :The Problem of Highly Effective Cleaning of air from dust/ Modern problems of radio engineering, telecommunicataions and computer science. Proceedings of the International Conference TCSET 2006, Lviv-Slavsko, Ukraine. P.46-48.
9. Батлук В.А. : Наукові основи створення високоефективного пиловловлюючого обладнання / Дис. д-ра техн. наук: 05.05.02. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2001. – 370 с.
10. Батлук В.А., Романцов Е.В. Пиловловлювач із водяною сорочкою/ Патент на корисну модель № 50556 Заявка № и200914006В01Д45/00 від 31.12.2009. Опубл 10.06.2010, Бюл. №11 2010 р.
11. Батлук В.А. : Математические модели процессов разделения гетерогенных систем при пылеочистке //Міжнар. наук. практ. конф. «Нові машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій, сучасні будівельні технології». -Полтава.-2000.-С.87-91.
12. Батлук В.А., Василюк Р.М. : Математичне моделювання процесів пиловловлення в процесах виготовлення машин та обладнання // Тези доповідей УІІ Міжнародної конференції «Прогресивна техніка і технологія – 2007», Київ-Севастополь, 2007, С.8.
13. Батлук В.А., Параняк Н.М.: Один із шляхів зниження концентрації пилю// Збірник наукових праць спец.випуск до V науково-практичної конференції «Сучасні проблеми збалансованого природокористування» Подільський державний аграрно-технічний університет, Кам'янець-Подільський, 2010 р. –с.167 – 170.

14. Батлук В.А., Параняк Н.М. : Патент на корисну модель № 20786В01Д45/12 від 31.07.06; Циклон із горизонтальним віддільником №И200608582 Оpubл. 15.02.2007. Бюл. № 2, 2007.
15. Батлук В.А., Шелюх Ю.С. : The problem of highly effective air purification from dust/ International symposia celebrating conference: People and Practice, Dandy. – Scotland, 2003. – P.101-106.
16. Батлук В.А., Параняк Н.М. : Пиловловлювач із попередньою очисткою, патент на корисну модель № 50126 Заявка №и 200912660В01Д45/00 від 7.12.2009. Оpubл 25.05.2010, Бюл. №10 2010 р.
17. Батлук В.А., Батлук В.К., Черненко М.М. : „Ступеневий пиловловлювач з відокремлювачемзі зміною кута атаки жалюзі" (декларацийний патент на корисну модель, заявлено 06.05.2004,опубл. 15.12.2004 бюл. №12).
18. Батлук В.А., Романцов Е.В., Параняк Н.М. : Рівень забруднення атмосферного повітря та його вплив на стан здоров'я населення України// Збірник наукових праць. Строительство, материаловедение, машиностроение” № 52, Серія «Безопасность жизнедеятельности», Днепропетровск, 2010 р. – с.205-210.
19. Батлук В.А., Батлук В.В., Мельников О.В. : Один из путей решения проблем устранения промышленной опасности, создаваемой мелкодисперсной пылью //Юбилейные научные чтения «Белые ночи-2008» /Материалы Международных научных чтений Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Часть 2.-Изд-во МАНЭБ, СПб, 2008-491с., с.327-332.
20. Батлук В.А., Параняк Н.М. Дадак Ю.Р. : Зумовленість та стан екологічної безпеки України / Наукові вісті інституту менеджменту та економіки « Галицька академія».

DEVELOPMENT OF HIGH VEHICLESFOR CLEANING AIR FROM DUST

Summaru. The article is sacred to the questions of providing of cleaning of air high - efficiency vehicles from the dust of different industries of production with the purpose of leading to of harmful extrass them to the sanitary - hygenic norms. New directions of creation of vehicles of dust catching are pointed in the article, which are based on the use of action of centrifugal - inertia forces and due to which it was succeeded considerably to increase efficiency of dust catching.

Key words: air cleaning devices, emissions, dust, efficiency.

EFFECT OF DEEP EXCAVATIONS WITH FILLER CONSTRUCTIONS ON THE GROUNDWATER FILTRATION PROCESSES

Dmitriy Prusov, Valeriy Badakh

National Aviation University

Summary. The influence of deep pits with filler walling on the filtration of groundwater has been considered also approximate numerical methods of mathematical modeling and solving of nonlinear equations of groundwater filtration in built-up areas in finding deep pits.

Keywords: filler walling constructions, deep excavations, groundwater filtration

INTRODUCTION

Possible effects of flooding and suffosion in urban environment requires a clear knowledge of the dynamics of the forecast level of groundwater and identification of methods of control levels and gradients by applying different designs drainages. Regulation of groundwater level and changes in its levels and gradients during the construction and maintenance of buildings and structures influence the choice: the type of foundations, their sizes, depth of location, types of drainage and water-protection measures and others. At rising ground water level can vary the strength and deformation properties of clay soil beddings, or swelling occur subsidence of soil, increase the degree of frosty loop and others. When lowering the groundwater level may occur as additional compaction of clay and sandy soils. Positioning of ground water level and the ability to change soil moisture during construction works take the results of geological surveys and forecasts are based on special investigations or calculations [6, 8].

PROBLEM STATEMENT

Analysis of water filtration in conditions of intensive technogenic impact indicates that the suffosion processes significantly influence the formation of porous structure, filtration and mechanical properties of soils [11]. Thus, sustainable development of suffosion processes accompanied by weighing, transfer and leaching of fine particles from the soil skeleton can lead to a significant increase soil permeability and the loss of its strength and stability. Such phenomena lead to subsidence and even failures of the land within the existing building, which can cause accidents and even complete destruction of houses and various engineering structures with severe environmental consequences [2, 7].

Mathematical models and calculation methods in view of change properties of soil and artificial porous materials due to suffosion by ecological forecasting in recent years received significant development in the works [10, 16].

However, filtration modeling methods built-up areas in residential areas of cities in zones of deep foundation ditches influence in view of change properties of soils due to suffosion and colmatation processes have been developed not sufficiently.

BASIC PART

To establish the influence of deep foundation ditches on the dynamics of groundwater and the possibility of suffosion processes development some mathematical models have been considered.

The basis for developing mathematical models of filtration of groundwater in built-up areas within the influence of deep foundation ditches, taking into account various factors and processes of suffosion is the equation of motion and continuity of fluid, convective diffusion, suspended particles and mass transfer, and experimental ratios that express the law of resistance (in the case of linear filtering - a Darcy's law) and filtration coefficient dependence on the concentration of sediment [5, 20].

In the case of linear filtering one-component fluids, these equations can be written in the following general form:

$$\mu_e \frac{\partial H}{\partial t} = \text{div}(k(\sigma) \text{grad } H), \quad (1)$$

$$\frac{\partial(nC)}{\partial t} = \text{div}(D \text{grad}C - \bar{V}C) - \frac{\partial\sigma}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\bar{V} = -k(\sigma) \text{grad}H; \quad \frac{\partial\sigma}{\partial t} = f(C, \sigma, C_{\max}, \sigma_{\max}, \eta_1, \dots, \eta_N),$$

where: t is time, $H=H(x,y,z,t)$ is hydrodynamic pressure, $C=C(x,y,z,t)$ is mass concentration of fine suspended impurities, $\sigma = \sigma(x, y, z, t)$ is mass concentration of sediment, \bar{V} is vector filtration rate, μ_e is coefficient of elastic capacity of the layer, n is soil porosity, $k(\sigma)$ is filtration coefficient, which depends on the concentration of sediment, C_{\max}, σ_{\max} are maximum concentrations of contaminants in pore solution and solid phase, D is convective diffusion coefficient, η_1, \dots, η_N are experimental factors.

Kinetic equation (2) describes different cases of mass transfer of suspended impurities from the material porous medium, and the literature has indicated that to describe the physical (mechanical) soil suffosion and soil colmatation commonly used are given below the characteristic equation:

1. The equation of sorption kinetics of irreversible physical:

$$\frac{\partial\sigma}{\partial t} = \alpha C. \quad (3)$$

Recorded the equation used to describe the initial period of mass transfer in porous media at low concentration of suspended impurities, low filtration rate and high sorption capacity of porous medium.

2. The equation of not equilibrium reversible physical adsorption and desorption (colmatation and suffosion). The linear equation:

$$\frac{\partial\sigma}{\partial t} = \alpha C - \beta\sigma. \quad (4)$$

Equation (3-4) used in the research in the solution of equations of mass transfer and mass exchange analytical methods [9].

The linear equation:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \alpha^* (\sigma_{\max} - \sigma) C - \beta \sigma, \quad (5)$$

approximates more closely the experimental results. In the equations (3-5) α , α^* are velocity of particles sticking coefficients, β is coefficient of velocity separation. Linearization of equation (5) leads it to (4), if $\alpha = \alpha^* (\sigma_{\max} - \sigma_s)$, where σ_s is averaged concentration of sediment. Equations (4) and (5) are widely used in modelling of the mechanical colmatation and suffosion in hydraulic engineering and melioration.

In general, the filtering process and the migration of suspended pollutants and fine particles of soil in zones of deep foundation ditches have a complex spatial structure, which complicates their modeling on modern PCs. So to solve of applied engineering problems, one-dimensional or two-dimensional mathematical models are often used.

Planned mathematical models of filtration and mass transfer are approximate and obtained by integrating the full equations (1-2) and vertically averaged unknown functions and coefficients. It can be obtained directly from the application of continuity equation and balance equations for filtration.

Mathematical model of the planned filtration and convective diffusion-weighted pollution and small particles, considering the processes of physical adsorption (colmatation) and desorption (suffosion) based on the above principles in view of kinetic equation (5). This model describes the change of groundwater level, the dynamics of concentration of suspended pollutants and fine particles in the soil pore space when using the exponential dependence of filtration of sediment concentration of salts in the solid phase:

$$\frac{\partial \theta}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q, \quad H = \psi - y \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\theta C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial \sigma}{\partial t}, \quad (7)$$

$$V_x = -k(\sigma) \frac{\partial H}{\partial x}, \quad V_y = -k(\sigma) \frac{\partial H}{\partial y}$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = f(C, \sigma, C_{\max}, \sigma_{\max}, \eta_1, \dots, \eta_N) \quad (8)$$

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(\sigma)(h-m) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(\sigma)(h-m) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \varepsilon \quad (9)$$

$$\left(n_0 - \frac{\sigma}{\rho_{sed}} \right) \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\varepsilon}{h} (C_p - C), \quad (10)$$

$$k(\sigma) = k_0 \exp\left(-\gamma \frac{\sigma}{\sigma_{\max}}\right), \quad (11)$$

$$V_x = -k(\sigma) \frac{\partial h}{\partial x}, \quad V_y = -k(\sigma) \frac{\partial h}{\partial y}.$$

where: x, y are plan coordinates; $h = h(x, y, t)$ is ordinate free surface flow filtration; μ is lack of saturation coefficient (water return), k_0 is filtration coefficient of pure soil, $k = k(\sigma(x, y, t))$ is filtration coefficient, which depends on the concentration of sediment; γ is experimental parameter; n_0 is porosity of non-colmatation soil; $D = D_m + \lambda|V|$; D_m is molecular diffusion coefficient; λ is coefficient of hydro dispersion; V_x, V_y are filtration velocity vectors; σ_{\max} is concentration of pore water saturation limit of fine particle pollution and shallow soil; ρ_{sol} is density of sediment; ε is power intensity of infiltration; C_p is concentration of suspended impurities in water infiltration [3, 4].

For simple determination of unknown functions using equations (9-10) set the initial and boundary conditions for typical cases of filtration and mass transfer [1].

Consideration of pile fields damming effect that reinforce the filler walls of foundation ditches, Carried out by the method of additional filtration resistance within boundaries, or a reduction of the soil filtration coefficient in the relevant areas.

In addition with the planned task considered above filtering review mathematical models of flat-vertical filtering in homogeneous and inhomogeneous-layered soil, taking into account changes in filtration coefficient of soil compaction in areas of significant groundwater depression.

Solving nonlinear equations discussed above filtration, mass transfer and mass exchange for practical problems obtained on the basis of approximate numerical methods

To solve the equations written above appropriate apply the the method of finite differences using an implicit non-iteration locally - one-dimensional patterns (in each estimated time coefficients difference equations, which depend on unknown functions are evaluated on their values in previous time). Each settlement interval of time is divided into two half a step, which in turn are solved one-dimensional analogues of equations (9) and (10) using the difference approximation of boundary conditions. For example, equation (9) toward the axis Ox difference approximation in a following form:

$$\mu \left(\frac{h_{i,j}^{k+0,5} - h_{i,j}^k}{\Delta t_k / 2} \right) = \frac{1}{\Delta x_c} \left(A_{i,j+0,5} \frac{h_{i,j+1}^{k+0,5} - h_{i,j}^{k+0,5}}{\Delta x_{j+1}} - A_{i,j-0,5} \frac{h_{i,j}^{k+0,5} - h_{i,j-1}^{k+0,5}}{\Delta x_j} \right). \quad (12)$$

Similarly, finite difference equations are written in the direction of the axis Oy .

The solution of this equation system obtained by the Damaged method. After half a step of the second time calculated filtration rate, and then solved the equation of convective diffusion, and to approximate convective plugin widespread use in numerical solution of hydrodynamics scheme of differences against flow.

$$\left(n_0 - \frac{\sigma_{i,j}}{\rho_{sed}} \right) \left(\frac{C_{i,j}^{k+0,5} - C_{i,j}^k}{\Delta x_k / 2} \right) = \frac{1}{\Delta x_c} \left(D_{i,j+0,5} \frac{C_{i,j+1}^{k+0,5} - C_{i,j}^{k+0,5}}{\Delta x_{j+1}} - D_{i,j-0,5} \frac{C_{i,j}^{k+0,5} - C_{i,j-1}^{k+0,5}}{\Delta x_j} \right) - \quad (13)$$

$$V_{x,i,j} \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{C_{i,j}^{k+0,5} - C_{i,j-1}^{k+0,5}}{\Delta x_j} \right), V_{x,i,j} > 0 \\ \left(\frac{C_{i,j+1}^{k+0,5} - C_{i,j}^{k+0,5}}{\Delta x_{j+1}} \right), V_{x,i,j} \leq 0 \end{array} \right\} - \alpha^* (\sigma_{max} - \sigma_{i,j}^k) C_{i,j}^r + \beta \sigma_{i,j}^k$$

In the technique usable notion of path filtering under which believe array boundary where the flow moves filtration.

Implementation of the numerical solution algorithm of the problem has been done on PC-based computer program. Solving the problem on a PC made after determining the boundaries through which water enters the scheme limits outflow of water from the scheme, which borders on the estimated diameter cut out of the array and establish the boundary around the free surface (curve depression). In the numerical scheme, these limits have to be shown locked chain segments. This is the path filtering.

As an example, the impact foundation pit on the dynamics of groundwater in the area of building a house has been considered [12-16]. The view of the foundation pit wall fastening is in Figure 1.

Absolute ground marks within the calculation profile ranged from 159.0 to 188.70 at the top of the slope. In the geological structure of the slope to the depths explored compiled Quaternary, Neogene and Paleogene sediments, which are distributed based on an analysis of 11 geological item. Ground water flow into the construction foundation pit had power 3 - 5 m and was located on the clay within the freshwater and loess loams.



Fig.1. The filler walls fastening for foundation pit at construction site

Fastening of foundation pit wall mounting piles, which partitions the flow of groundwater, creates barazhnyy effect, increases the level and magnitude of groundwater flow filtration gradients near the walls of the foundation pit. In Fig.2 shows the solution of equation (6), which made via the PC in finding foundation pit with permeable wall mount enclosure.

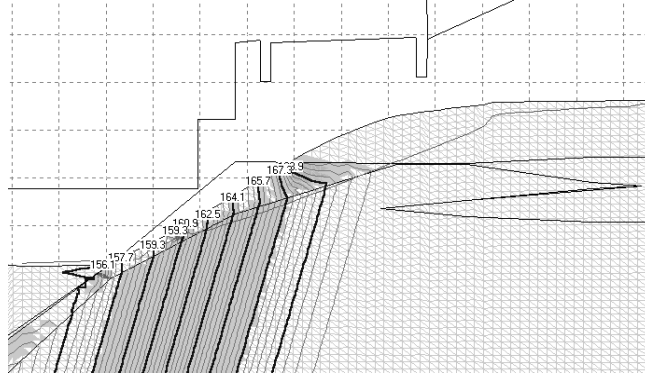


Fig.2. Solving the profile filtering problem attached to water penetrating foundation pit walls and their influence on the flow of groundwater within the area of house building

In reality bored piles, as shown in Fig.2, are water impermeable. For these conditions, groundwater level rises significantly before the pits, and within the structures that filler pit structures, significantly increasing gradient flow filtration. Solving the problem of filtration for such conditions is shown in Figure 3.

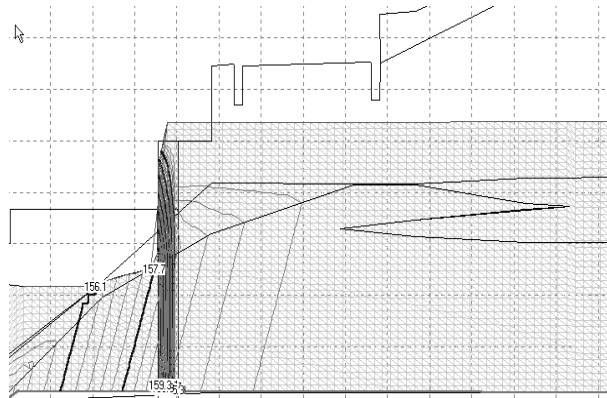


Fig.3. Solving the problem of filtering profile to establish the impact the pit walls to the flow of groundwater within the area of building a house

Ground level after installation of filler walls mounting to pits up to 2 - 2,5 m, and by the pit fell to 1.5 -1.8 m. In the area of flow filtration output in the excavation trenches between piles flow filtration gradient increased rapidly.

CONCLUSION

Mathematical modeling of groundwater level in built-up areas in finding deep foundation ditches requires solving nonlinear equations of filtering, which can be obtained by approximate numerical methods [17-19]. In general, the filtering process and the migration of suspended particles in the soil zones, deep foundation ditches have a complex spatial structure, which greatly complicates their modelling. So to solve applied engineering problems is recommended to use one-dimensional or two-dimensional mathematical models and carry out full scale laboratory and experimental studies to determine the model parameters.

REFERENCES

1. Aleksyeev V.S., Kommunar G.M., Sherzhukov B.S. : Massoperenos v vodonasyshchennyh gornyh porodah // Itogi nauki i tehn. VINITI. Ser. Gidrogeologiya. Inzhenernaya gyeologiya. –M.: - 1989. № 11. - S. 1-142. (in Russian).
2. Aravin V.I., Nosova O.N. : Naturnye issledovaniya filtratsii. -L.: Energiya, 1969. - 255s. (in Russian).
3. Badakh V., Vdovenko S., Bojchenko S., Cherniak L. : Ecological aspects of torch gases utilization at petroleum refinery. // MOTROL, 2010, 12D, 68-73. (in English).
4. Badakh V.M., Byelyatynskyy A.O., Prusov D.E., Tsykhanovskyy V.K. : Otsinka vplyvu gruntovoi osnovy na napruzhenno-deformovanyy stan ob'ektiv aeroportiv ta vyznachennya stiykosti gruntovoho masyvu pry nayavnosti slabkykh prosharkiv gruntiv // Visnyk SevNTU. Vyp.110: Mekhanika, enerhetyka, ekolohiya: Zb.nauk.pr. – Sevastopol: Vyd-vo SevNTU, 2010. – S.227-232. (in Ukrainian).
5. Bazhenov V.A., Tsykhanovskyy V.K., Kyslookyy V.M. : Metod skinchennykh elementiv u zadachakh neliniynoho deformuvannya tonkykh ta myakykh obolonok. – K.: KNUBA, 2000. – 386s. (in Ukrainian).
6. Bileush A.I. Dovidnyk. : Inzhenernyy zakhyst ta osvoyennya terytoriy./A.I. Bileush, V.S.Nishchuk, A.S. Shtekel ta inshi. — Kyiv: «Osnova», 2000. — 433 s. (in Ukrainian).
7. Bileush A.Y. : Metod rascheta uderzhivayushchykh protyvoopolznevnykh sooruzheny konechnoy zhestkosti.// Nauka y tekhnika v gorodskom khoziaystve.-K.: Budivelnyk, 1977. - №34. - S.71- 76. (in Russian).
8. Bileush A.Y., Moskalenko Z.Y. : Vybory ratsyonalnykh parametrov dvukhryadnykh uderzhivayushchykh protyvoopolznevnykh sooruzheny na osnovany opredelenyya ykh napryazhenno-deformyruemoho sostoyannya. // Nauka y tekhnika v gorodskom khoziaystve.-K.: Budivelnyk. 1984. -№55. - S.40-48. (in Russian).
9. Goldshteyn M.N. : Mehanicheskie svoystva gruntov - M.: Stroizdat, 1973. –293c. (in Russian).
10. DBN V1.2-№-2008. Budivnitstvo v umovah shchilnoi zabudovi. Vimogi bezpeki. Kii, Minregionbud Ukraini, 2008. - 40 s. (in Ukrainian).
11. Khlapak M.M., Bomba A.YA., Sydoruk B.P. : Pro modelyuvannya vzayemovplyvu filtratsii ta mekhanichnoi sufozii // Suchasni problemy teorii filtratsii. - Rivne: Visnyk UDAVH. –1998. - S. 157-165. (in Ukrainian).

12. Prusov D.E. : Analiz rivnyan rivnovahy dyskretnoi rozrakhunkovoi modeli gruntovoho pivprostoru // Visnyk NAU, №3, 2009. - S.125-130. (in Ukrainian).
13. Prusov D.E. : Osoblyvosti urakhuvannya anizotropnykh vlastyvostry bahatosharovoho neodnorodnogo gruntovoho pivprostoru // Visnyk Kremenchutskoho derzhavnogo universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho. – Kremenchuk: KDU, 2010. – Vyp. 5/2010 (64) chastyna 1. – S.137–141. (in Ukrainian).
14. Prusov D.E. : Problemy utochnenykh metodiv rozrakhunku konstruktsiy ukriplen gruntovykh masyviv, ohorozhi kotlovaniv ta ikh vplyviv na otochuyuchu zabudovu pry nayavnosti slabkykh prosharkiv gruntiv/ D.E. Prusov, O.V. Khriptulova // Budivnytstvo Ukrainy. — 2008. — № 1. — S. 34-36. (in Ukrainian).
15. Prusov D.E. : Prohramnyy kompleks doslidzhen vzayemodii ohorodzhuyuchykh konstruktsiy z hruntovymy masyvamy/ D.E. Prusov// Budivnytstvo Ukrainy. — Kyiv, 2008. — №3. — S. 18-23. (in Ukrainian).
16. Prusov D.E., Minakova A.O. : Osoblyvosti chyselnoho doslidzhennya stanu zahlyblyenykh konstruktsiy transportnykh sporud // Visti Avtomobilno-dorozhnoho instytutu: Naukovo-vyrobnychyy zbirnyk. – Horlivka, ADI DNTU, 2009. – №1(8). – S.160-168. (in Ukrainian).
17. Tsykhanovskyy V.K. : Metod skinchennykh elementiv u zadachakh doslidzhennya neodnorodnogo pivprostoru z urakhuvannyam heometrychnoi i fizychnoi neliniynosti/ D.E. Prusov, V.K.Tsykhanovskyy //Opir materialiv ta teoriya sporud: nauk.-tekhn. zbirnyk. — Kyiv: KNUBA. — 2004. — Vyp.75. — С.87-98. (in Ukrainian).
18. Tsykhanovskyy V.K., Prusov D.E. : Metod skinchennykh elementiv v zadachakh rivnovahy pivprostoru pry vzayemodii hruntovoho masyvu z ohorodzhuyuchymy konstruktsiyamy // Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy. Kyiv, UkrNDIPSK, № 4, 2009. – S.38-44. (in Ukrainian).
19. Tsykhanovskyy V.K., Prusov D.E. : Metodyka modelyuvannya elementiv pokryttiv u vzayemodii z neodnorodnym gruntovym pivprostorum // Opir materialiv ta teoriya sporud: Nauk.-Tekhn. zbirnyk. – Vyp.76. – Kyiv, KNUBA. – 2005. – С. 87–98. (in Ukrainian).
20. Shymanovskyy A.V., Tsykhanovskyy V.K. : “Teoryya y raschet sylny nelyneynykh konstruktsiy” – Vydavnytstvo “Stal”, Kyiv, 2005. – 432 s. (in Russian).

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ С ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ НА ПРОЦЕССЫ ФИЛЬТРАЦИИ ГРУНТОВЫХ ВОД

Аннотация. Рассматривается влияние глубоких котлованов с ограждающими конструкциями на процессы фильтрации грунтовых вод и приближенные численные методы математического моделирования и решения нелинейных уравнений фильтрации грунтовых вод на застроенных территориях при устройстве глубоких котлованов.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, глубокие котлованы, фильтрация грунтовых вод.

ДИЗЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

Александр Борман, Геннадий Подзноев, Умер Абдулгазис

Крымский инженерно-педагогический университет

Аннотация. Рассмотрена возможность использования гидрида алюминия в качестве альтернативного топлива в дизельном электрогенераторе. Проведена серия математических расчетов основных параметров и характеристик идеального термодинамического цикла Дизеля. Определены оптимальные параметры.

Ключевые слова: Дизельгенератор, термодинамика ДВС, альтернативный энергоноситель, гидрид алюминия, пергидроль, гидролиз, математическое моделирование, оптимизация параметров.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире довольно трудно представить свою жизнь без использования электричества. Электроэнергия необходима в самых разнообразных отраслях жизнедеятельности и в самых различных условиях. Довольно часто появляется необходимость в обеспечении электроэнергией потребителей в местах, где отсутствует возможность использовать стационарные источники энергии или их недееспособность (например, обеспечение электричеством отдаленных не электрифицированных районов, проведение спасательных и аварийных работ и т.д.). В таких случаях необходим мобильный и в тоже время мощный источник электроэнергии. Для решения этой проблемы идеально подходит электрогенератор, обладающий необходимыми характеристиками. Генераторы могут быть разнообразными. Прежде всего, их различают по типу топлива, которое они используют:

- дизельные генераторы;
- бензиновые генераторы;
- газогенераторы.

Так же генераторы могут быть как однофазные, так и трехфазные. Более того, любая модель приспособлена для использования различной техники, так как напряжение, выдаваемое генератором, может быть равно как 220 вольтам, так и 380 вольтам[8].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наибольшее распространение получили бензиновые и дизельные генераторы. Однако у них есть свои недостатки. Во-первых, в результате их деятельности выделяется большое количество вредных веществ в выхлопных газах, во-вторых, они используют углеводородное топливо, запасы которого в скором времени будут исчерпаны. В связи с этим в ближайшей перспективе (50-70 лет) должна быть

найдена и технически обеспечена адекватная энергетическая альтернатива углеводородам [12].

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Более перспективен путь использования в качестве энергоносителя - водорода, ресурсы которого практически неисчерпаемы и могут быть возобновлены в любом требуемом объеме. По удельной теплоте сгорания водород превосходит бензин почти в 2,5 раза (120 МДж/кг против 45-46 МДж/кг). Он имеет значительно более широкий диапазон пределов воспламенения (4,0-75,0 % против 1,5-7,6 % по объему) и более высокую скорость сгорания водородно-воздушных смесей, что существенно улучшает кинетику горения и повышает термический КПД термодинамического цикла ДВС при меньшей степени нагрева двигателя [5,13]. Особенно важным является полное исключение вредных выбросов в атмосферу и достаточная конструкционная совместимость углеводородных и водородных систем обеспечения работы ДВС.

Вместе с тем возникает проблема хранения водорода. Одним из наиболее перспективных путей решения данной проблемы может стать использование ряда гидридов металлов, стабильных в пределах обычных температур их возможной эксплуатации в генераторах (от 0 до +2000 С). Наиболее интересны в этом отношении металлогидриды на основе гидрида алюминия (АИ₃), поскольку в условном адекватном объеме которого (150 дм³) содержится 22,2 кг водорода с энергопотенцией около 2665 МДж [7,12]. Наибольший энергосвыход получается при гидролизе АИ₃. В этом случае из его указанного объема в 150 дм³ АИ₃ можно получить 44,4 кг газообразного H₂ с энергопотенцией уже 5330 МДж, что выше таковой для 150 дм³ бензина (5060 МДж). Кроме этого при гидролизе выделяется значительное количество тепловой энергии (13,2 МДж/кг АИ₃, или около 2918 МДж в варианте 150 дм³ АИ₃). Таким образом, полный энергопотенциал АИ₃ может достигать 8250 МДж, что в 1,6 раза выше адекватного по объему бензина или в 15,3 раза выше, чем для сжатого до 35 МПа водорода. Кроме того сам алюминий является одним из наиболее распространенных металлов на Земле и входит в состав большинства горных пород наравне с натрием, кальцием, калием, магнием и др. [7,9,12].

Если сгорание водорода осуществлять с помощью кислорода воздуха, компрессия последнего потребует затраты существенной части производимой мощности, что значительно снижает его эффективную работу на привод ходовой части автомобиля. Решить эту проблему может использование в качестве окислителя не кислорода воздуха, а жидкого пероксида водорода (H₂O₂). На нагнетание жидкого пероксида водорода в камеру сгорания потребуются на порядок меньшие энергозатраты по сравнению с компрессией воздуха и значительно более простая конструкция насоса высокого давления [15,16].

Чистый пероксид водорода почти в полтора раза тяжелее воды (плотность при 20°С равна 1,45 г/см³). Замерзает H₂O₂ при температуре немного меньшей, чем температура замерзания воды – при минус 0,41°С. Водные растворы H₂O₂ замерзают при значительно более низкой температуре: 30%-ный раствор - при минус 30°С, а 60%-ный - при -53°С. Кипит H₂O₂ при более высокой температуре (150,2°С), чем

обычная вода. Вязкость у H_2O_2 такая же, как и у охлажденной примерно до $13^\circ C$ воды. Содержание кислорода в перексиде составляет 47% по массе, т. е. значительно выше такового для воздуха. То, что перекись является жидкостью и может оставаться ею в водных растворах при температуре до минус $50^\circ C$, обеспечивает легкость ее транспортировки и эксплуатации в различных сезонных условиях, подачи в камеру сгорания, простоту регулировки процесса горения и возможность управляемой его остановки, что весьма положительно влияет на эксплуатационные характеристики дизельгенератора.

Пероксид не токсичен, но при контакте с кожей вызывает легкие ее ожоги и требует осторожного обращения. При нагревании пероксид разлагается на кислород и воду. При этом выделяется 2,9 МДж/кг теплоты (720^0K), что является дополнительным (около 13%) источником энергии, позволяющим снизить расход основного топлива. При термическом разложении получается кислород, как окислитель топлива. Причем в момент выделения он образуется в атомарной форме, что значительно улучшает кинетику и полноту горения основного топлива[15].

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В задачу проведенных исследований входило математическое моделирование идеализированного цикла Н-Дизеля в дизельгенераторе, с целью оптимизации его основных параметрических характеристик. Упрощенное моделирование проводилось по стандартной схеме, как и для традиционных идеальных циклов ДВС. За основу термодинамического расчета была принята масса AH_3 в вариантах 0,035; 0,04; 0,045; 0,05 г. Из указанной пропорции до 40 % теплоты (1958 Дж) в цикле Н-Дизеля получается за счет гидролиза AH_3 и 60 % (3042 Дж) - при сгорании водорода[14]. В серии проведенных расчетов основной задачей ставилось количественное определение температуры и давления в точках смены термодинамических процессов, термического КПД и полезной работы цикла в зависимости от значений основных задаваемых характеристик - количества добавочной воды на гидролиз AH_3 в вариантах с 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 грамм на одну порцию энергоносителя и регенерируемой теплоты в вариантах 1200; 1300; 1400; 1500 Дж. Также необходимо было определить количество теплоты вводимой в процесс за счет гидролиза. На основании сравнения рассчитанных моделей выбрать наиболее оптимальные по основным параметрическим характеристикам варианты.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенное математическое моделирование зависимостей основных термодинамических параметров идеального цикла Н-Дизеля от задаваемых рабочих характеристик процесса позволило определить наиболее оптимальные варианты их соотношений. Результаты изложены в таблице 1. На основании сравнения моделей был выбран наиболее оптимальный по основным параметрическим характеристикам вариант (отмечен жирным шрифтом в таблице 1).

Таблица 1. Численные значения параметрических характеристик H-Дизеля в зависимости от массы алюмогидрида, количества регенерируемой теплоты и добавочной воды

Table 1. The numerical values of the parametric characteristics of the H-Diesel to the weight of aluminum hydride, the number of regenerated heat and additional water

Цикл	Дизель	ГидроДизель						
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_2 (\varepsilon)$	17	2,0 (16,6)			2,4 (20)			
m_{H_2O}	-	4		5				
$m_{гид.}$	0,114	0,035	0,04	0,05	0,035		0,04	0,045
$q_{реген.}$	-	1200	1400	1400	1200	1300	1300	1500
$q_{гидрол.}$	-	540,2	617,3	771,7	540,2	540,2	617,3	694,5
$q_{дисс.}$	-	357	444	508	357	357	444	444
$q_{сгор.}$	-	960	1080	1080	960	960	1080	1080
q_1	5083	3250	3523	3676	3253	3353	3428	3701
q_2	1995	1497	1734	1759	1296	1378	1447,6	1675
q_3	-	297	334	359	96	78	147,6	175,8
t_2	298	588	631	587	533	546,3	555	590
t_3	850	1238	1259	1278,6	1128	1153	1173	1241
t_4	2246	1300	1328	1375	1226	1252	1271	1337
t_5	1096	599	636	584	527	537,9	546	574,9
p_2	1,0	1,9	2,1	1,97	1,78	1,83	1,86	1,98
p_{3-4}	48,5	81,2	85,7	81,2	92,4	94,1	95,4	99,2
p_5	3,68	1,6	1,68	1,5	1,7	1,8	1,83	1,92
$\eta_{кпит}$	0,607	0,909	0,905	0,902	0,907	0,977	0,957	0,953
A	3084	2953	3189	3317	3156	3274	3280	3525

В таблице 1 даны: $m_{гид.}$ - масса гидрида алюминия, подаваемого на гидролиз (г); $m_{перг.}$ - масса пергидроля, подаваемого в камеру сгорания (г); H_2O - масса добавочной воды на гидролиз (г); ε - степень сжатия рабочего тела; $q_{гидрол.}$ - количество генерируемой при гидролизе теплоты (Дж); $q_{реген.}$ - количество теплоты, регенерируемой оборотной водой; $q_{дисс.}$ - количество теплоты, генерируемой при термической диссоциации пергидроля в камере сгорания; $q_{сгор.}$ - теплота, получаемая за счет сгорания H_2 в камере сгорания; q_1 - суммарная теплота, введенная в процесс; q_2 - теплота в конце адиабатного расширения; q_3 - остаточная теплота после регенерации, выводимая из цикла в окружающую среду; t_2 - температура паро-водородной фазы перед адиабатным сжатием (ОК); t_3 - температура паро-водородной фазы после адиабатного сжатия (ОК); t_4 - температура паровой фазы в конце сгорания (ОК); t_5 - температура паровой фазы в конце адиабатного расширения (ОК); p_2 - давление перед адиабатным сжатием (105 Па); p_{3-4} - давление в конце сжатия и в конце изобарного сгорания (105 Па); p_5 - давление

паро-газовой фазы в конце адиабатного расширения (МПа); $\eta_{\text{кпит}}$ – коэффициент полезного использования теплоты; A – совершаемая работа адиабатного расширения пара.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие обобщающие выводы по особенностям изменения основных термодинамических параметров и характеристик рассматриваемого цикла Н-Дизеля.

Температура. Во всех исследованных вариантах устанавливается закономерное возрастание этого параметра при увеличении квоты регенерируемой теплоты. В тоже время при одинаковом количестве регенерируемой теплоты температура рабочего тела понижается при увеличении массы добавочной воды, подаваемой на гидролиз.

В общем виде для термодинамического цикла Н-Дизеля устанавливается функциональная зависимость температуры, как от давления, объема и степени сжатия, так и от квоты добавочной воды на гидролиз и количества регенерируемой теплоты. Графически результаты приведены на рис.1.

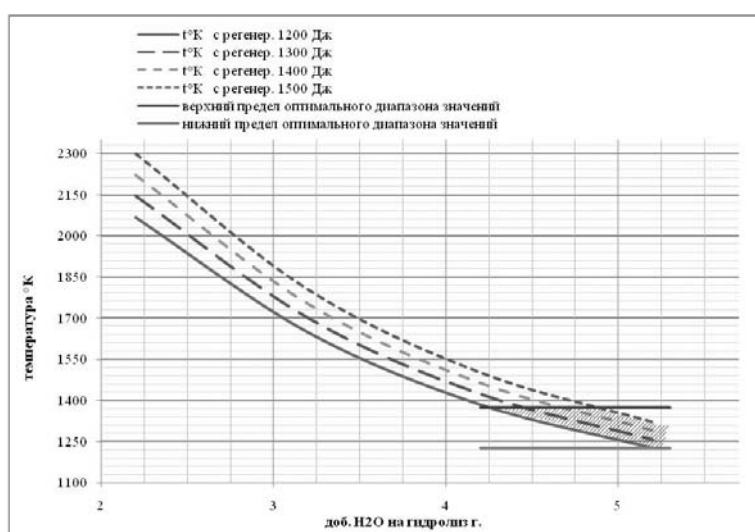


Рис.1. Изменение температуры в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты

Fig. 1. The change in temperature, depending on the supplied extra water on the hydrolysis and regenerated heat

Давление (рис. 2.). В отличие от традиционного цикла, цикл Н-Дизеля характеризуется значительно более высокими давлениями уже на стадии адиабатного сжатия при близких степенях сжатия. Причиной этому служит повышенное давление паро-водородного заряда, подаваемого в рабочий цилиндр после гидролиза алюмогидрида. В небольшой степени на величину давления влияет квота добавочной воды, несколько снижая его при своем увеличении. Характерно почти в 1,5 раза более низкое давление в конце адиабатного расширения, свидетельствуя об увеличении крутящего момента и более полном использовании энергии на

совершение работы, несмотря на пониженный температурный уровень. Таким образом, давление в описываемом цикле играет главенствующую роль в определении мощности цикла и его КПД.

Увеличение степени сжатия приводит к чрезмерному росту давления в камере сгорания без какого-либо повышения КПД даже при увеличении квоты добавочной воды, что определяет наиболее эффективную величину этой характеристики, близкую к используемой в традиционном цикле Дизеля. Это сводит к минимуму необходимость конструктивных изменений в двигателе.

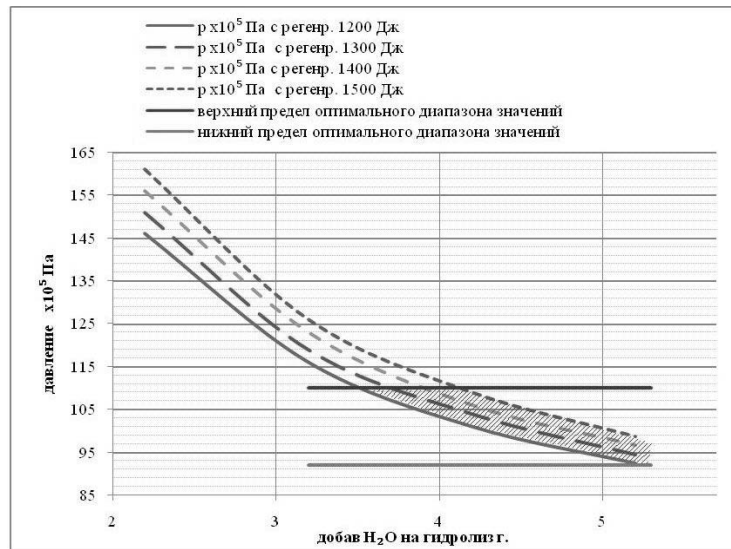


Рис.2. Изменение давления в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты

Fig. 2. Pressure change depending on the supplied additional water on the hydrolysis and the regenerated heat

Термический коэффициент полезного использования теплоты (рис. 3.). Идеальный термодинамический цикл Н-Дизеля отличается существенно более высоким термическим КПД, обусловленным более высокими температурой и давлением рабочего тела в начале и конце адиабатного сжатия, что достигается не за счет отрицательной работы на его сжатие, а в основном с помощью высвобождающейся химической энергии при гидролизе алюмогидрида. Кроме этого повышение КПД связано также с увеличением квоты добавочной воды на гидролиз и количества регенерируемой теплоты. В определенной степени здесь сказывается и энергия, введенная в процесс при диссоциации пергидроля.

Работа цикла (рис. 4.). Аналогично термическому КПД устойчиво повышается при увеличении регенерируемой теплоты и количества добавочной воды.

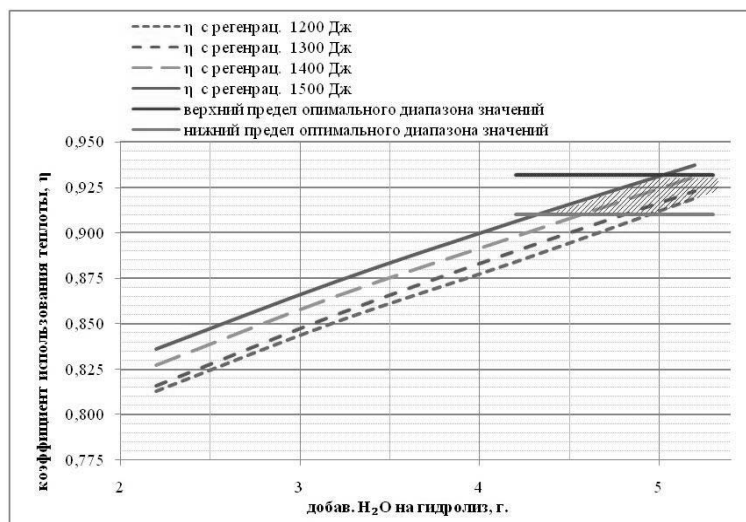


Рис.3. Изменение термического коэффициента использования теплоты в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты
 Fig. 3. Changing the thermal coefficient of heat depending on the supplied additional water on the hydrolysis and the regenerated heat

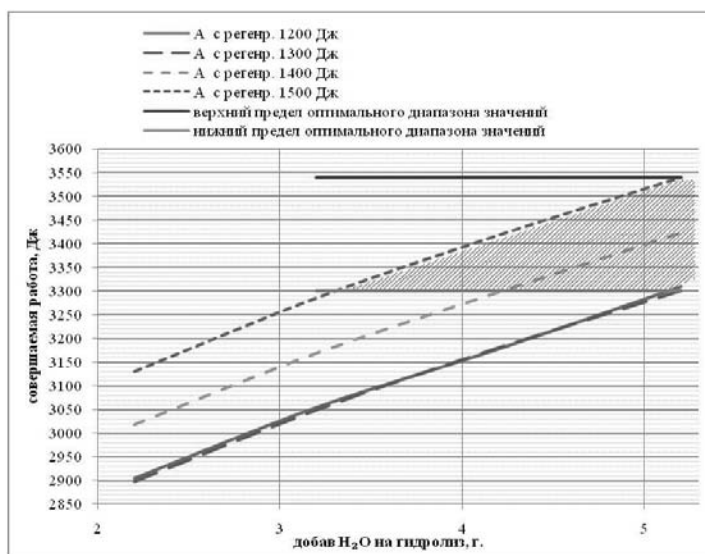


Рис.4. Изменение совершаемой полезной работы в зависимости от подаваемой добавочной воды на гидролиз и регенерируемой теплоты
 Fig. 4. Change committed useful work, depending on the supplied additional water on the hydrolysis and the regenerated heat

ВЫВОДЫ

Обобщая установленные закономерные зависимости, полученные на данном этапе исследований, для идеального термодинамического цикла Н-дизеля в дизельгенераторе с использованием гидроксида алюминия в качестве основного энергоносителя и пероксида водорода – как окислителя, можно отметить следующее:

1. На основе полученных данных исследований были определены следующие зависимости:

- с увеличением количества добавочной воды на гидролиз AlH_3 на одну порцию энергоносителя температура значительно снижается, а при увеличении регенерируемой теплоты пропорционально возрастает;

- давление имеет более высокие значения, в сравнении с традиционным циклом, практически во всем диапазоне задаваемых технологических характеристик, что и определяет более высокую мощность цикла по выполняемой работе;

- термический коэффициент полезного использования теплоты ($\eta_{кпит}$) цикла Н-Дизеля для всех вариантов расчета существенно превышает таковой традиционного Дизеля, устойчиво возрастая при увеличении регенерируемой теплоты и количества подаваемой на гидролиз AlH_3 добавочной воды.;

- выполняемая работа аналогично коэффициенту полезного использования теплоты ($\eta_{кпит}$) устойчиво повышается при увеличении регенерируемой теплоты и количества добавочной воды.

2. Последующим этапом исследований будет являться расчет термодинамических параметров и характеристик реального термодинамического цикла Н-дизеля с выходом на исходные данные для проведения стендовых испытаний, разработки проекта экспериментального стенда, конструктивно отображающего дизельный модуль и способный работать на алюмогидридном энергоносителе.

3. Один из важнейших выводов является, что при полученных значениях термического КПД и совершаемой работе Н-дизеля при практически одинаковых объемах камер сгорания с традиционным дизелем, возможно уменьшение габаритных размеров двигателя и массы с сохранением мощности адекватно равной традиционному ДВС, что существенно повысит эксплуатационные характеристики дизельгенератора.

4. Несомненно также существенное улучшение экологических и параметрических характеристики Н-дизельгенератора в сравнении с традиционными двигателями, сохраняя свои достоинства и освобождаясь от отмеченных выше недостатков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова М.М. : Свойства гидридов. Справочник. Киев, Наукова думка. 1975.
2. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др. : Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии. – СПб.: Наука, 2002. 314с.
3. Варшавский И.Л. : Энергоаккумулирующие вещества и их использование. Киев. Наукова думка, 1980. 237 с.
4. Варшавский И.Л. : Энергоаккумулирующие вещества и некоторые принципы их использования для транспортной энергетики и промышленности. -М. Наука., 1970., 51 с.
5. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справочник. (Д.Ю.Гамбург, В.П.Семенов, Н.Ф.Дубовкин, Л.Н.Смирнова). -М. Химия, 1989.
6. Жигач А.Ф., Стасиневич Д.С. : Химия гидридов.- Л. Химия, 1969. -230 с.
7. Комплексы металлоорганических, гидридных и галоидных соединений алюминия. М. Наука, 1970.
8. Кираковский Н.Ф. : Дизельные электростанции / Н.Ф. Кираковский. - К., 1978.
9. Маккей А. : Водородные соединения металлов. М. Мир, 1968.
10. Мищенко А.И. : Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев. Наукова думка. 1984. 150 с.
11. Орлов Д. : Теплота спасет мир. Вокруг Света.- 2003. № 2. с. 67 –73.
12. Подзноев Г.П. : Металлогидридные системы энергообеспечения транспорта. / Г.П. Подзноев, У.А. Абдулгасис.// Всеукр. Науч.-тех. Ж. Двигатели внутреннего сгорания: / НТУ «ХПИ».- Х., 2007.- с. 32-36.
13. Подзноев Г.П. : Возможности повышения эффективности термодинамического цикла Дизеля путем использования альтернативного энергоносителя. / Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Всеукр. науч.-тех. ж. Двигатели внутреннего сгорания: / НТУ «ХПИ».- Х., 2007 - Вып. 1. - С. 87-91.
14. Подзноев Г.П. : Термодинамические особенности регенеративного цикла Н-дизеля с использованием энергоносителя на основе гидрида алюминия. / Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Всеукр. науч.-тех. ж. Двигатели внутреннего сгорания: / НТУ «ХПИ». - Х., 2008. - Вып. 2. - С. 13-18.
15. Подзноев Г.П. : Возможности использования пероксида водорода в качестве окислителя в двигателях внутреннего сгорания /Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Ученые записки КИПУ. - Симферополь. Вып. 20. - 2009. - С. 15-21.
16. Подзноев Г.П. : Особенности термодинамического цикла двухтактного Н-дизеля с использованием алюмогидридного энергоносителя и пероксида водорода / Г.П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Ученые записки КИПУ. - Симферополь. Вып. 24. - 2010. - С. 41-46.
17. Подгорный А.Н., Варшавский И.Л., Макаров А.А., Мищенко А.И. : Проблемы машиностроения. -1976. № 5, С. 12 – 15.
18. Синенко Н.П. : Тепловозные дизели типа Д70 / Н.П. Синенко, Е.В. Турчак, И.И. Резник. – М. : Транспорт, 1977.
19. Телегина Е.А., Румянцева М.А., Покровский С.В., Салахова И.Р. : Внешний вектор энергетической безопасности. М.: Энергоатомиздат, 2000. – 352 с.

THE DIESEL-ELECTRIC ENGINE WITH USE OF HYDRIDE OF ALUMINUM AS THE ENERGY CARRIER

Summary: Considered the possibility of using aluminum hydride as an alternative fuel for diesel generators. Held a series of mathematical calculations of basic parameters and characteristics of an ideal thermodynamic cycle of the H-diesel. The identified optimum parameters.

Key words: Diesel generator, engine thermodynamics, alternative energy carrier, hydride aluminum, perhydrole, hydrolysis, mathematical modelling, optimization of parameters.

ВИХРОВА ТРУБА НА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ СТАНЦІЯХ

Олена Савченко, Іван Балінський, Юрій Юркевич

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Розглянуто метод нагрівання природного газу у вихровій трубі для запобігання утворення кристалогідратів у регуляторах тиску газу на газорозподільних станціях.

Ключові слова: кристалогідрати, регулятор тиску, вихрова труба, газорозподільна станція.

ВСТУП

Вихрову трубу широко використовують в різних галузях народного господарства. Найчастіше її застосовували для заморожування та глибокого охолодження, проте з часом було розроблено установки з вихровою трубою для охолодження і виділення цінних продуктів з продувальних газів хімічних виробництв, для охолодження природного газу і очистки його від рідких домішок. [2,13,14] Наявність гарячого потоку дає можливість використовувати вихрову трубу не лише як охолоджувач, але і для нагріву газу як при нормальних, так і при підвищених температурах. Крім того, він може бути застосований для підтримання постійної температури потоку у тому випадку, коли не можна допустити пониження температури газу внаслідок дроселювання. В системах теплогазопостачання і вентиляції часто використовуються закручені потоки [4,7,8], проте вихрова труба застосовувалася лише в системах кондиціонування повітря [15,19].

Такий широкий спектр застосування вихрової труби обумовлений такими особливостями робочого процесу та конструкції апарату: у вихровій трубі можливе одночасне здійснення декількох процесів, наприклад охолодження і нагрівання, осушка чи очистка газу; робочим тілом вихрової труби може бути практично будь-який газ чи суміш газів, тиски та витрата робочого тіла, а також потоків, що виробляються, можуть бути різноманітні, джерело стисненого робочого тіла можна розташовувати на значній віддалі від об'єкта. Перевагами вихрових апаратів є невеликі розміри і маса, простота конструкції, відсутність рухомих деталей, короткий пусковий період, низька вартість виготовлення та простота обслуговування.

Дані переваги дозволяють використати вихрову трубу для нагрівання природного газу на автоматизованих газорозподільних станціях.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розробити метод нагрівання природного газу у вихровій трубі перед регулятором тиску на газорозподільних станціях.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Нагрівання природного газу на газорозподільних станціях здійснюється для запобігання утворення кристалогідратів на рухомих елементах регулятора тиску газу. Вони погіршують процес регулювання природного газу та призводять до порушення роботи газорозподільної системи. Кристалогідрати можуть утворюватись при пониженні тиску вологого природного газу від тиску газу у магістральних газопроводах (2,5-10МПа) до тиску газу у розподільних газопроводах (0,3-1,2МПа). Таке значне пониження тиску супроводжується також пониженням температури газу та зміни його вологовмісту, так званий позитивний ефект Джоуля-Томсона. [3, 11, 12] Пониження температури при дроселюванні характеризується диференціальним

$$\alpha = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i$$

температурним ефектом дроселювання $\alpha = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i$, який для природного газу у всьому діапазоні значень тисків і температур, що мають місце при його редукуванні на ГРС, приймають рівним -5,5 град / МПа, тобто при зниженні тиску газу на 1 МПа його температура понижується на 5,5 оС. [9].

Для запобігання утворення кристалогідратів на газорозподільних станціях природний газ перед процесом редукування нагрівають. Залежно від продуктивності газорозподільної станції використовують повне, часткове нагрівання природного газу або обігрівання корпусу регулятора тиску газу. На ГРС із продуктивністю до 70 тис.м3/год використовують загальне нагрівання природного газу, при продуктивності більше 70 тис.м3/год – обігрівання корпусу регулятора тиску газу. [6]

Найпростішим у боротьбі з гідратуутворенням є загальне нагрівання газу. Газ нагрівається на вході в регулюючий вузол газорозподільної станції у теплообмінниках різних типів. Вони відрізняються за видом теплоносія (гаряча вода, електрична енергія, водяна пара) і розташуванням поверхонь теплообміну (теплообмінники “труба в трубі”, кожухотрубні). Їх вибір пов’язаний з умовами роботи джерела теплової енергії. [5]

Для прикладу у Німеччині [6], на газоредукуючих станціях з 1993 року використовуються двотрубні теплообмінники нагрівання газу виготовлення фірми “GEA Renzmann & Grünwald”. Їх переваги: високий ККД (80 – 90%), точне регулювання температури газу на виході з ГРС, заповнення нагрівника антифризом у заводських умовах, швидке встановлення та належне транспортування, невеликі тепловтрати в оточуюче середовище, робота при відсутності електроживлення з мережі на протязі 4 годин на добу, закрита система опалення, відсутність корозії та забруднення в ній, захист від надходження газу в систему опалення при нещільностях теплообмінника, попередження витоків газу з теплообмінника при нещільностях, можливість підключення побутових приміщень до системи опалення, робота без паралельного резерву, при необхідності з власної системи газу. Теплова потужність нагрівника 400 кВт. Конструкція нагрівника представлена на рис.1.

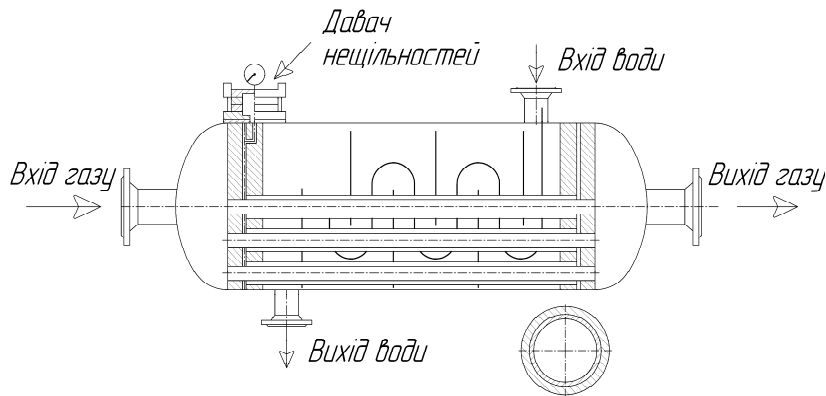


Рис.1. Двотрубний теплообмінник фірми "GEA Renzmann & Grünewald"

Fig.1. Double-pipe heat exchanger of "GEA Renzmann & Grünewald"

Обігрівання корпусу регулятора тиску газу використовувалося, хоча і рідко, ще в 60-70-х роках. [10] Типова конструкція такого нагрівання представлена у [10] та показана на рис. 2.

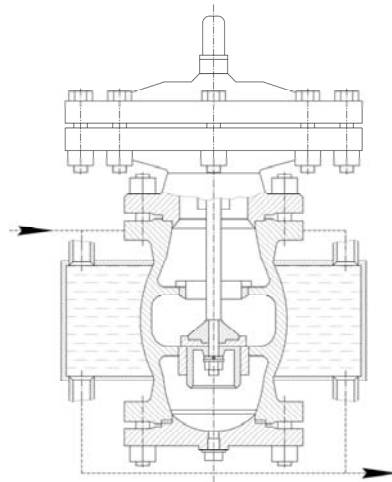


Рис.2. Регулятор тиску типу РД з «оболонкою»

Fig.2. The gas pressure controller of the РД -type with "enclosure"

Корпус регулятора у такому випадку розміщується у металевій оболонці, до якої підводяться труби системи опалення ГРС. Для зменшення тепловтрат в оточуюче середовище корпус сорочки і підвідні трубопроводи покривають теплоізоляцією. З допомогою нагрівання корпусу регулятора температура його стінок стає вищою температури точки роси водяних парів, тому гідрати не утворюються. За клапаном гідрати також не утворюються, оскільки в результаті розширення газу при дроселюванні точка роси водяних парів у газі знижується і при умовах, що є на

ГРС, звичайно знаходиться нижче температури газу. Ця схема була покладена в основу для подальших розробок місцевого нагрівання регуляторів тиску газу.

Нагрівання корпусів регуляторів не потребує великої кількості тепла і великих затрат на обладнання системи нагрівання. Проте є недоліки: при існуючих компоновках ГРС важко досягнути природної циркуляції води у системі опалення; не нагрівається імпульсний газ, що служить для подачі завдань на регулятори тиску, систему захисту і живлення приладів з багатоступеневим записом параметрів.

На автоматизованих газорозподільних станціях (АГРС) запроєктоване використання автоматичних нагрівників газу ПГА. Вони являють собою прямокутну піч радіаційно-конвективного типу з вихідним потоком димових газів, що оснащена однотрубним подовим пальником. Нагрівання газу здійснюється у змійовику, що має дві частини: радіаційну і ребристо-конвективну. При зменшенні кількості газу, що використовується споживачами, у вказаних блоках нагрівання газу (ПГА-5 і ПГА-10) виникали розриви змійовиків внаслідок перегрівання їх поверхні. Тому на даний час на АГРС замість них застосовують нагрівники газу ПГ-3 і ПГ-10 конструкції Фастівського заводу ПГУ. Такі нагрівники розраховані на вхідний тиск газу до 7,35 МПа. В нагрівнику встановлено два теплообмінника, які можуть з'єднуватися послідовно або паралельно по ходу газу. Номінальна продуктивність нагрівників по газу при послідовному з'єднанні теплообмінників становить для ПГ-3 3000м³/год, для ПГ-10 10000 м³/год [6]. Проте такі нагрівники мають великі розміри та масу, потребують додаткового паливного газу. Тому на АГРС доцільно встановлювати для нагрівання природного газу перед регулятором тиску вихрову трубу.

Вихрову трубу вперше було досліджено Ж.Ранком [20], схема якої зображена на рис.3.

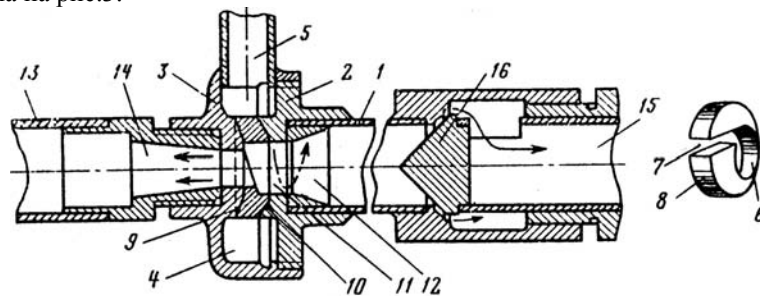


Рис.3. Конструкція циліндричної труби Ранка

Fig 3. The construction of Ranque's cylinder vortex tube

1 – циліндрична труба, 2 – різьбова частина, 3 – частина різьби, 4 – підвідний канал, 5,13,15 – труба, 6 – гвинтова поверхня, 7 – прямокутне сопло, 8 – сопловий ввід, 9,10 – конічні поверхні, 11 – циліндрична камера, 12, 14, 16 – конуси

Робота вихрової труби полягає в наступному. Стиснений газ подається через тангенціальний сопловий канал в трубу, де встановлюється інтенсивний круговий рух. При цьому виникає нерівномірне поле температур. Шари газу поблизу осі є холоднішими за вхідний газ, а периферійні шари закрученого потоку нагріваються. Частина газу у вигляді холодного потоку відводиться через діафрагму, а інша частина у вигляді нагрітого газу через дросельний вентиль відводиться з іншої

сторони труби. Це явище називається ефектом Ранка. При поступовому закритті дроселя загальний рівень тиску у енергетичному роздільнику підвищується і витрата холодного потоку через отвір діафрагми збільшується при відповідному зменшенні витрати гарячого потоку. При цьому температури холодного і нагрітого потоків також змінюються.

Розрахунок геометричних розмірів вихрової труби були проведені за методикою [17], причому площа поперечного перетину сопла f_c , м², визначалася за умови енергетичного розділення вхідного потоку:

$$f_c = \frac{G_{ex} \cdot a}{K \cdot p_{кр} \cdot p_{ex}}, \quad (1)$$

де: G_{ex} – секундна витрата стисненого природного газу, кг/с; a – критична швидкість, м/с, при абсолютній температурі вхідного потоку T_{ex} , газовій сталій R , показнику адіабати K .

При встановленні вихрової труби на автоматизованих газорозподільних станціях необхідно враховувати геометричні розміри вузла дроселювання. Оскільки довжина вихрової труби збільшується пропорційно до продуктивності газорозподільної станції, то рекомендується такий метод нагрівання природного газу для АГРС з продуктивністю до 2 500 м³/год.

На основі визначення максимальних відборів газу, встановлених для років з найбільшим споживанням природного газу, проектної прив'язки і випробувань була змонтована вихрова труба на діючій газорозподільній станції управління магістральних газопроводів “Львівтрансгаз” (рис.4.) [1, 16, 18]



Рис.4. Вихрова труба на діючій газорозподільній станції

Fig 4. The vortex tube at the real gas-distributive installation

Вихрова труба на діючій газорозподільній станції використовується в опалювальний період при максимальних відборах та можливих замерзаннях регулятора тиску, забезпечуючи нагрівання природного газу та розвантаження регулятора тиску газу, працюючи також в режимі дроселювання.

Газорозподільна станція працює таким чином. Газ із магістрального газопроводу надходить у регулятор тиску газу, в якому здійснюється зниження тиску

до тиску у розподільному газопроводі і його автоматичне підтримання сталим незалежно від витрати, а потім надходить у розподільний газопровід. При збільшенні відборів газу, найчастіше в опалювальний період, а також при великих перепадах тисків на регуляторі в роботу газорозподільної станції необхідно вмикати вихрову трубу. Так, весь потік газу із магістрального газопроводу направляється у вихрову трубу. У вихровій трубі проходить температурне розділення стисненого вхідного потоку природного газу на два: нагрітий і холодний. Нагрітий потік газу надходить на вхід регулятора тиску газу, а потім в розподільний газопровід. Редукування нагрітого і осушеного газу проходить без утворення кристалогідратів, що і є основною метою встановлення вихрової труби на газорозподільній станції. Холодний потік газу надходить в розподільний газопровід.

Для відділення механічних домішок та конденсату на газопроводі, по якому рухається нагрітий природний газ до регулятора тиску газу, встановлено сепаратор. Для уникнення підвищення тиску холодного природного газу після вихрової труби на газопроводі встановлюють запобіжно-запірний клапан. Якщо тиск газу у газопроводі холодного газу більший за необхідне значення тиску у розподільному газопроводі запобіжно-запірний клапан вимикається і весь потік природного газу проходить по газопроводу теплового газу до регулятора тиску газу. При встановленні допустимого тиску газу у газопроводі холодного газу запобіжно-запірний клапан необхідно ввімкнути. Вихрова труба при цьому знову починає працювати у режимі нагрівання.

ВИСНОВКИ

Визначено, що при дроселюванні природного газу на газорозподільних станціях існує можливість утворення кристалогідратів на рухомих деталях регулятора тиску.

Проведений аналіз літературних та патентних джерел показав, що існуючі методи нагрівання природного газу на газорозподільних станціях, мають ряд недоліків.

Визначено, що для запобігання обмерзання регуляторів тиску автоматизованих газорозподільних станціях, доцільно використовувати вихрову трубу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балінський І.С., Банахевич Ю.В., Савченко О.О.: Розроблення енергетичного роздільника газорозподільних станцій. // Нафтова і газова промисловість. – 2006. – №3. – С.38-40.
2. Барсуков С.И., Кузнецов В.И. : Вихревой эффект Ранка. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1983. – 120 с.
3. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И.: Газовые гидраты. – М.: Химия, 1980. – 296 с.
4. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. : Закрученные потоки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 588 с.
5. Дубинский Н.М. : Автоматизация газораспределительных станций. (Обзор зарубежной литературы). – М.: ВНИИОЭГ, 1971. – 111с.
6. Експлуатація і технічне обслуговування газорозподільних станцій магістральних

- газопроводів: Довідник. / Руднік А.А., Коломєєв В.М., Розгонюк В.В., Григіль М.А. та ін. – К.: Росток, 2003. – 575с.
7. Зайцев О.Н., Витюков В.В., Любарєц А.П., Донченко С.Б. :Системы локализации нестационарных тепловых выбросов на основе аэродинамики закрученных потоков. – Одесса: ТЭС, 2006. – 181с.
 8. Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях. / Под. ред. Кривченко Г.И. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 280с.
 9. Ионин А.А. : Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 439с.
 10. Ключач И.И. : Перевод газораспределительных станций магистральных газопроводов на новые методы обслуживания. // Транспорт и хранение газа. – 1969. – №7. – С.31-33.
 11. Коротаев Ю.П., Кулиев А.М., Мусаев Р.М. : Борьба с гидратами при транспорте природных газов. – М.: Недра, 1973. – 136с.
 12. Макогон Ю.Ф., Схаляхо А.С. : Определение условий образований гидратов и их предупреждение. – М.: ВНИИЭГазпром, 1972. – 44с.
 13. Мартынов А.В., Бродянский В.М. : Что такое вихревая труба? – М.: Энергия, 1976. –152с.
 14. Меркулов А.П. : Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. – 184с.
 15. Пат. № 19453 А Україна, МКИ F 25 В 9/02. Індивідуальний кондиціонер: Круть О.А., Зильберварг Б.М., Чижіков Ю.В., Сафонов В.О. (Україна); – № 96072817; Заявл. 12.07.96; Опубл. 25.12.97, Бюл. № 22. – 3с.
 16. Пат. № 43673А Україна, МКИ F 25 В 11/00. Газорозподільна станція: Балінський І.С., Коваль Р.І., Банахевич Ю.В., Кашина О.О. (Україна); – № 2001052970; Заявл. 03.05.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3с.
 17. Савченко О.О., Балінський І.С., Возняк О.Т. : Спрощена інженерна методика розрахунку ступеня нагрівання природного газу після енергетичного роздільника. // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва.”– 2007. – №600. – С.254 – 257.
 18. Савченко О., Балінський І., Юркевич Ю. : Застосування енергетичного роздільника для нагрівання природного газу на газорозподільних станціях. // MOTROL – 2010. –Volume 12 С. – С.153 – 160.
 19. Современное состояние и возможности применения вихревых труб в холодильной технике и в системах кондиционирования. / Г.Н. Бобровников, А.А. Поляков, А.П. Лепявко и др. // Холодильное машиностроение. Серия ХМ – 7 (Обзор. информация). – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1981. – 52с.
 20. Ranque G.J. : Method and apparatus for obtaining from fluid under pressure two currents of fluids at different temperatures. Patent USA №1952281, 1934.

VORTEX TUBE AT THE GAS-DISTRIBUTIVE INSTALLATIONS

Annotation. The method of heating natural gas in the vortex tube to prevent the formation of gas hydrates in gas pressure controller at gas-distributive installation is considered.

Key words: the gas hydrates, the gas pressure controller, the vortex tube, the gas-distributive installation.

ВПЛИВ СТУПЕНЮ УШКОДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ CERESIT НА ВАРТІСТЬ РОБІТ ПО ЇЇ ВІДНОВЛЕННЮ

Василь Шаленний*, Альона Скокова**, Євген Галич**,
Марина Долотій**, Володимир Соха***, Євген Карапузов***

* Національна академія природоохоронного та курортного будівництва
** ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
*** «Хенкель Баутехнік (Україна)»

Анотація. Деталізовано методику та наведено результати обчислювального експерименту із встановлення залежності між відсотком ушкодження теплоізоляції фасаду та витратами на його відновлення. Ці залежності підтверджують висунуту раніше гіпотезу про непропорційне зростання вартості робіт з відновлення теплоізоляції до відсотку її ушкодження. Отримані результати слід враховувати перед прийняттям остаточного рішення щодо ремонту чи заміни всієї існуючої системи теплоізоляції.

Ключові слова: фасадна теплоізоляція, обчислювальний експеримент, ушкодження, відновлення, вартість.

ВСТУП

Сьогодні фасадні системи теплоізоляції з легкою штукатуркою (фасадні системи "мокрого" типу) є одними з найбільш поширених і ефективних систем утеплення та оздоблення фасадів будівель. На будівельному ринку України представлено більше 20 варіантів конструктивно-технологічних систем утеплення та оздоблення будівель за допомогою легких штукатурок вітчизняних та закордонних компаній-виробників. Компанія "Хенкель Баутехнік (Україна)", що комплектно поставляє такі системи торгової марки Ceresit, вирізняється серед всього різноманіття виробників насамперед переконливим стажем роботи на будівельному ринку, а технологія і організація влаштування систем із її продукції нормативно забезпечені в Україні [1]. Окрім цього вона має помірковану ціну.

Метою даної статті є висвітлення результатів обчислювального (пасивного) експерименту з дослідження впливу ступеню ушкодження фасадної системи теплоізоляції з опорядженням легкою штукатуркою торгової марки Ceresit на вартість робіт із її відновлення.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

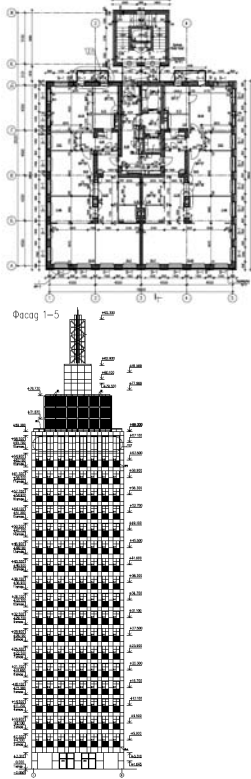
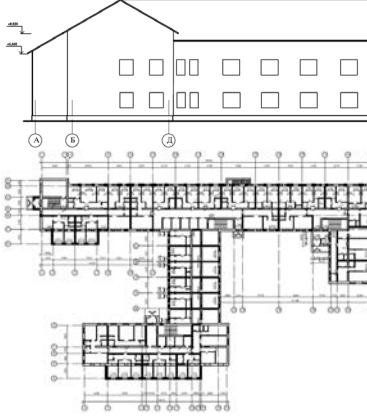
Методика проведення цього експерименту частково вже була опублікована у [9]. Для дослідження обрані 6 об'єктів-представників будівництва, це громадські будинки висотою від 5,4м до 70м (табл. 1). Як можливі, розглядалися варіанти ремонту фасадної системи Ceresit ППС з основним пінополістирольним утеплювачем, поясами з мінеральної вати та полімерцементною штукатуркою.

Перелік матеріалів, що були використані для даної системи при моделюванні можливих витрат ресурсів представлено в табл. 2.

Таблиця 1. Об'єкти-представники будівництва, що обрані для участі в обчислювальному експерименті

Table 1. Objects-building representatives that elected to participate in the computer experiment

№ п/п	Шифр об'єктів	Найменування об'єктів зовнішнього утеплення, їх коротка характеристика	Ескізи	Матеріал зовнішніх стін, товщина та опір теплопередачі до влаштування системи
1	1Фа	Готельно-торговельний комплекс. 1-поверхова будівля (висотою 5,4м), що містить установи торгівлі й службово-побутові приміщення. Габарити будинку в осях – 139х60м		цегла керамічна ($\gamma = 1400 \text{ кг/м}^3$), товщиною 380мм, $R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{1}{23} = 0,82 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
2	1Фб	Готель на 96 місць – 6-поверхова будівля (24м висотою). Габаритні розміри висотної частини в осях 60х15м. Конструктивна система будинку – рамний сталевий каркас		

3	5Ф	<p>Житловий 21-поверховий будинок висотою 92м. Розміри в осях – 18х25,2м. Висота житлових поверхів – 3,3м. Квартири розташовані з 2 по 19 поверхи. На 1-му, 20-му та 21-му поверхах розташовуються допоміжні та технічні приміщення</p>	<p>план типового поверху</p> 	<p>Залізобетон ($\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$), товщиною 300мм,</p> $R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,30}{1,92} + \frac{1}{23} = 0,31 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
4	8Ф	<p>Житловий 2-поверховий будинок з мансардою висотою 12,5м. Будівля має складну форму в плані. Розміри в осях становлять 90х53,6м. Висота першого та другого поверхів складає 3,2м. Третій поверх – мансардний, висота поверху – 4м</p>	<p>Фасад А-С</p> 	<p>цегла силікатна ($\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$), товщиною 510мм,</p> $R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,51}{0,70} + \frac{1}{23} = 0,84 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$

5	10Ф	<p>Житловий 15-поверховий будинок висотою 50м. Розміри в осях – 18,3х26,1м. Висота поверху – 3м. 15-й поверх – технічний. Стінове огороження виконане із блоків ніздрюватого бетону</p>		<p>блоки з ніздрюватого бетону ($\gamma=1000$ кг/м³), товщиною 400мм,</p> $R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,40}{0,38} + \frac{1}{23} = 1,21 \frac{M^2 \cdot K}{Bm}$
6	11Ф	<p>Житловий 16-поверховий будинок висотою 55м з вбудованими торговими та офісними приміщеннями. Будівля має складну форму в плані, розміри в осях – 30,6х30,6м. Висота першого та другого поверхів, на яких розміщено торгові та офісні приміщення, становить 3,6м. Планування приміщень на поверхах з 3 по 13 є типовим, висота поверху тут становить 2,7м. 14-ий поверх – технічний, а на 15-ому та 16-ому також розташовуються квартири.</p>		<p>залізобетон ($\gamma=2500$ кг/м³), товщиною 200мм,</p> $R_{\Sigma np} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,20}{1,92} + \frac{1}{23} = 0,22 \frac{M^2 \cdot K}{Bm}$

Таблиця 2. Матеріали для системи Ceresit ППС

Table 2. Materials for the system Ceresit EPS

№ п/п	Матеріали для системи Ceresit ППС	Витрата матеріалів на 1м ²	Ціна на 1м ² (станом на 03.2010), грн.
1	Клей для пінополістиролу Ceresit СТ 83	5 кг	13,07
2	Плити з екструдованого пінополістиролу Stygofam 300; $\lambda = 0,032 \text{ Вт} / \text{ м} \cdot \text{ К}$, Г1	1,08 м ²	125,60
3	Дюбелі поліамідні з сердечником з нержавіючої сталі, довжиною 200мм	5 шт.	5,10
4	Клейовий розчин Ceresit СТ 190	5 кг	16,48
5	Мінераловатні плити ROCKWOOL ФАСАД БАТТС; $\lambda = 0,042 \text{ Вт} / \text{ м} \cdot \text{ К}$, НГ	1,08 м ²	151,07
6	Розчин Ceresit СТ 85	2 кг	6,46
7	Сітка зі скловолокна зі спеціальною пропиткою, 5x5мм, 165г/м ²	1,1 м ²	6,38
8	Розчин Ceresit СТ 85	2 кг	6,46
9	Фарба ґрунтуюча Ceresit СТ 16	0,3 л	4,50
10	Полімерцементна штукатурка "коройд" Ceresit СТ 35 БАЗА (зерно 3,5мм)	3,2 кг	11,41
11	Силікатна фарба Ceresit СТ 54	0,2 л	5,70

Як можливі варіанти, для проектування та визначення витрат ресурсів були розглянуті майже всі найпоширеніші засоби підмоцнення відомих в Україні виробників. У загальному вигляді, вони були поділені на групи та представлені в табл. 3.

Для проведення розрахунків вартості виконання отриманих таким чином 26-ти можливих варіантів реалізації проектів відновлення теплозахисних та декоративних властивостей, кожен будинок-представник було розбито на захватки та розроблено графік виконання робіт з урахуванням необхідних технологічних перерв при влаштуванні теплоізоляції згідно [1]. Таким чином стало можливим визначити необхідну кількість кожного різновиду засобів підмоцнення для забезпечення ефективної роботи на об'єкті. Різновид засобів підмоцнення для виконання робіт приймався для кожного конкретного варіанту проекту в залежності від висоти будинку та можливості його розміщення на прибудинковій території.

Показники очікуваної вартості та трудомісткості ремонтних робіт визначались із використанням програмного комплексу для кошторисних розрахунків "АВК-5", редакція 2.10.2. Вартість робіт з влаштування системи теплоізоляції типу Ceresit розраховується у цьому програмному комплексі відповідно до [5] Необхідно відмітити, що визначити вартість оренди засобів підмоцнення в існуючій стандартній базі даних згаданого програмного комплексу не можливо, тому для врахування цих витрат нами було розроблено власний алгоритм. Він, на нашу думку, дещо краще відповідає правилам визначення ринкової орендної вартості засобів підмоцнення.

Таблиця 3. Засоби підмоцвання, що розглядалися в експерименті

Table 3. Scaffoldings participating in the experiment

Засоби підмоцвання	
Мобільні вежі-тури	
Механічні підйомники мономачтові	
Риштування рамні	
Підйомник "люлька"	
Промисловий альпінізм	

Наприклад, вартість оренди веж-тур та механічних підйомників була розрахована за формулою:

$$C_{веж}^{заг.} = C_{вежі} \cdot n_{веж} \cdot P_{оренда}, \quad (1)$$

де: $C_{вежі}$ – вартість оренди однієї вежі (підйомника) на добу, грн.; $n_{веж}$ – кількість веж для забезпечення необхідного фронту робіт; $P_{оренда}$ – тривалість оренди необхідної кількості засобів підмоцвання для виконання робіт з ремонту теплоізоляції, діб.

Тривалість оренди приймалась відповідно до загальної тривалості робіт з установалення засобів підмоцвання, ремонту системи теплоізоляції на об'єкті та розбирання засобів підмоцвання, яка розраховувалась шляхом розробки графіку виконання робіт для кожного з шести представлених об'єктів будівництва. Тривалість робіт з установки та розбирання засобів підмоцвання розраховувалась за формулою:

$$P_{підмоц.} = \frac{T_{+підм.} + T_{-підм.}}{N_{чол.}^{підм.} \cdot t_{зм} \cdot n_{зм}}, \quad (2)$$

де: $T_{+підм.}$ – трудомісткість встановлення засобів підмоцвання, л.-год., – за розрахунком АВК-5;

$T_{-підм.}$ – трудомісткість демонтажу засобів підмоцвання, л.-год. – за розрахунком АВК-5;

$N_{чол.}^{підм.}$ – кількість робітників для виконання робіт з монтажу та демонтажу риштувань та веж-тур, згідно §Е6-1 [6], приймалась ланка з 4 робітників;

$t_{зм}$ – тривалість робочої зміни – прийнято $t_{зм} = 8 \text{ год.}$;

$n_{зм}$ – кількість змін роботи в одному робочому дні – прийнято $n_{зм} = 2 \text{ зміни.}$

Тривалість робіт з демонтажу системи на пошкоджених ділянках та влаштування нової розраховувалась за формулою:

$$P_{система} = \frac{T_{-система} + T_{+система}}{N_{чол.}^{система} \cdot t_{зм} \cdot n_{зм}}, \quad (3)$$

де: $T_{-система}$ – трудомісткість демонтажу системи теплоізоляції – розрахована в системі АВК-5 як добуток трудомісткості влаштування системи з понижуючим коефіцієнтом – $H_{15} = 0,4$, люд.-год.: $T_{-система} = T_{+система} \cdot 0,4$; $T_{+система}$ – трудомісткість влаштування системи, люд.-год. – за розрахунком АВК-5;

$N_{чол.}^{система}$ – кількість робітників в комплексній бригаді для робіт з демонтажу та влаштування системи теплоізоляції, чол. Згідно з рекомендованими даними [1], бригада повинна складатися з 19 чоловік відповідних професій та розрядів.

Після складання графіку виробництва робіт, що враховує необхідні технологічні перерви при влаштування системи теплоізоляції, а також можливості суміщення процесів по влаштуванню, переміщенню та розбиранню засобів підмоцвання із

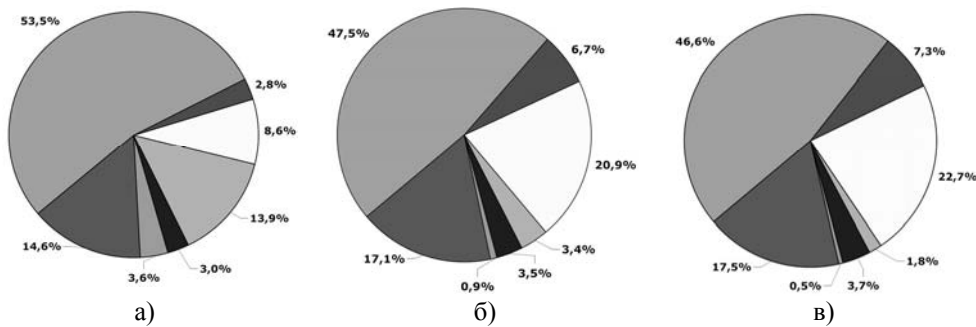
власне ремонтно-будівельними роботами було знайдено тривалість виконання ремонтних робіт на кожному об'єкті та при різному ступені пошкодження теплоізоляції ($P_{оренда}$).

Після чого, вартість оренди риштувань була розрахована за формулою:

$$C_{ришт.}^{заг.} = C_{ришт.} \cdot S_{ришт.} \cdot P_{оренда} \quad (4)$$

де: $C_{ришт.}$ – вартість оренди риштувань за 1м2 на добу, грн.; $S_{ришт.}$ – площа вертикальної проекції риштувань для забезпечення фронту робіт, м².

Попередньо виконаними у АВК-5 розрахунками було встановлено, що найбільший вплив на зміни вартості ремонтних робіт в залежності від загальної площі ремонту теплоізоляції має вартість матеріалів для влаштування системи, а також вартість проведення робіт із ліквідації ушкодженої та влаштування нової теплоізоляційної системи на ушкоджених ділянках (приклад на рис.1).



	вартість матеріалів для ремонту системи, $\frac{грн.}{\%}$	вартість демонтажу системи, $\frac{грн.}{\%}$	вартість влаштування системи, $\frac{грн.}{\%}$	вартість установки та розбирання риштувань, $\frac{грн.}{\%}$	вартість оренди риштувань, $\frac{грн.}{\%}$	вартість забивання гнізд від риштувань, $\frac{грн.}{\%}$	загальновиробничі витрати, $\frac{грн.}{\%}$
а)	259202	13354	41609	67368	14353	17489	70791
	53,5%	2,8%	8,6%	13,9%	3,0%	3,6%	14,6%
б)	475499	67012	208816	33809	34986	8777	171106
	47,5%	6,7%	20,9%	3,4%	3,5%	0,9%	17,1%
в)	851783	132853	413980	33513	66810	8700	318938
	46,6%	7,3%	22,7%	1,8%	3,7%	0,5%	17,5%

Рис. 1. Співвідношення складових вартості ремонту теплоізоляції Ceresit на об'єкті 11Ф із застосуванням рамних риштувань «Піонер» при ушкодженні фасаду на:

а) 5%; б) 50%; в) 100%

Fig. 1. Ratio of cost of repair parts on-site thermal Ceresit for building 11Ф using frame scaffolding «Піонер» damaged facade to:

а) 5%; б) 50%; в) 100%

В свою чергу, величини цих складових залежать від кількості та розмірів ділянок фасадної теплоізоляції, що підлягають ремонту. Для проведення розрахунків, нами була прийнята умова відносно рівномірного розподілу ушкоджень по площі фасаду. Кількість ушкоджених ділянок розраховувалась залежно від загальної площі теплоізоляції об'єкту-представника та площі ушкоджених ділянок. Площа однієї ушкодженої ділянки на фасаді визначалась за формулою:

$$S_{\text{ушкодження}} = \frac{S_{\text{заг. ушкодж.}}}{N_{\text{ушкоджень}}}, \quad (5)$$

де: $S_{\text{заг. ушкодж.}}$ – загальна площа ушкоджених ділянок, м²; $N_{\text{ушкоджень}}$ – кількість ушкоджень на фасаді.

Також припускалось, що геометрично ушкоджені ділянки близькі до кола (рис. 2).

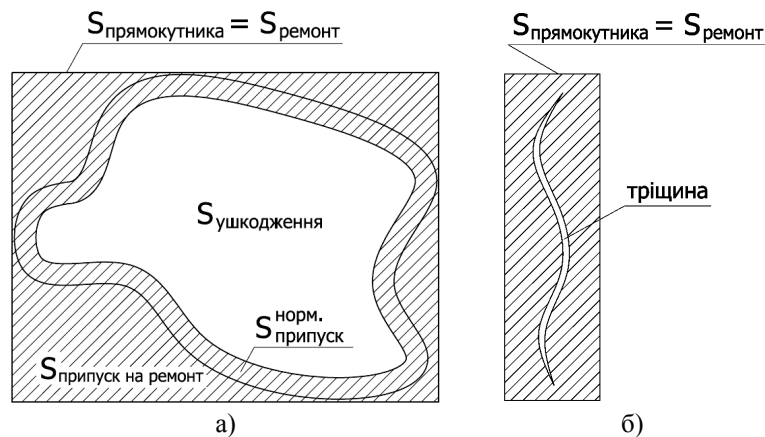


Рис.2. Гіпотетична конфігурація та площа одного ушкодження, припусків та ремонту: а) ушкодження у площині фасаду, б) ушкодження у вигляді тріщини

Fig.2. Hypothetical configuration and area of a damage and repair allowances: a) damage to the facade plane, b) damage as a crack

Загальна площа ремонту для ліквідації всіх ушкоджених ділянок теплоізоляції фасаду :

$$S_{\text{ремон. заг.}} = S_{\text{ремонт}} \cdot N_{\text{ушкоджень}}. \quad (6)$$

Вирахувавши таким чином загальну площу ремонту для різних ступенів ушкодження теплоізоляції фасаду, кожного разу отримували обсяги робіт з ліквідації та влаштування відновленої системи теплоізоляції, а також кількості необхідних для цього матеріалів.

В результаті обробки отриманих таким чином даних щодо очікуваної вартості відновлення теплоізоляції з використанням перерахованих засобів підмошування, були отримані залежності, що представлені на рис.3.

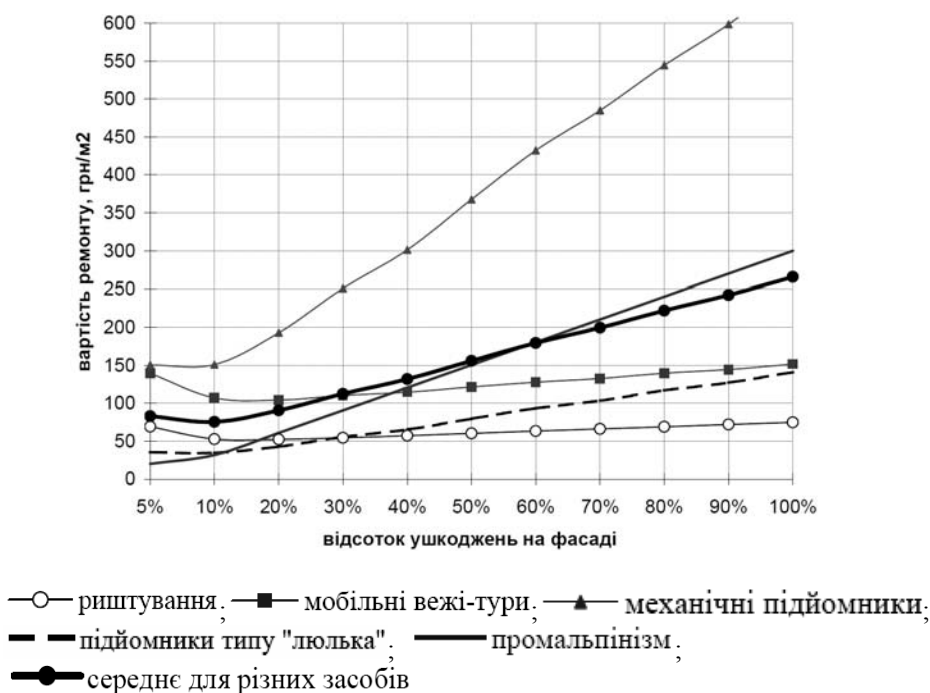


Рис.3. Залежність вартості ремонтних робіт із застосуванням різних засобів підмоцнення від площі ушкодженої теплоізоляції розглянутих будівель-представників
 Fig.3. Dependence of the cost of repairs using various scaffoldings of damaged area insulation of buildings-considered representatives

Аналіз отриманих результатів затверджує наступне:

1. За показником собівартості відновленої поверхні фасаду, вибірковий ремонт окремих ушкоджень із наступним суцільним опорядженням доцільно виконувати при діагностуванні їх не більше, ніж на 10% площі фасаду незалежно від можливості використання того чи іншого засобу підмоцнення.

2. Якщо є можливість використовувати різні засоби підмоцнення, то слід враховувати, що найефективнішим буде використання:

- а) підйомників типу "люлька" (при ушкодженні до 20% фасаду);
- б) при ушкодженні менше 10% фасаду – засобів промальпінізму;
- в) якщо ж ушкодження діагностуються на 30 і більше відсотках поверхні фасаду, то слід проектувати суцільний ремонт всієї площі із застосуванням найпоширеніших різновидів риштувань;
- г) використання ж для суцільного ремонту інших розглянутих засобів підмоцнення у порівнянні з традиційними риштуваннями збільшує собівартість робіт майже у два рази.

3. Отримані результати можуть стати основою для розробки відповідної методики проектування технології виробництва робіт із відновлення властивостей системи Ceresit.

ВИСНОВКИ

Деталізовано методику та наведено результати обчислювального експерименту із встановлення залежності між відсотком ушкодження теплоізоляції фасаду та витратами на його відновлення. Результати отримано окремо при розгляді використання для ремонту поширених різновидів засобів підмоцвання, так і в середньому, абстрагуючись від їх різновидів. Ці залежності підтверджують висунуту раніше гіпотезу [10] про непропорційне зростання вартості робіт з відновлення теплоізоляції до відсотку її ушкодження. Отримані результати слід враховувати перед прийняттям остаточного рішення щодо вибіркового ремонту чи заміни всієї існуючої системи теплоізоляції. Окрім того, наведені результати можуть зменшити ступінь невизначеності при виборі технологічно можливих варіантів ліквідації ушкоджень для подовження життєвого циклу будівельних об'єктів з точки зору застосування відомих засобів підмоцвання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bayram P., Deltour D., Demonceau D. et al. – MATERIAUX DE CONSTRUCTION GCIV0184-2 : Le bardage. – Ulg, Faculté des Sciences Appliquées, Département ArGenCo «Architecture, Géologie, Environnement et Constructions», 2007. – 19p.
2. Codes «Régulation thermique – 2010» – Paris : Centre Scientifique et Technique du Batiment, 2010.
3. Fiche technique: «Isolation en façade» – Agence nationale de l'habitat, – 2008. – 7p.
4. Fiche technique: Systeme d'isolation de facade, «StoTherm Classic» – Sto S.A.S., – 2007. – 12p.
5. Thomas Herzog, Roland Krippner, Werner Lang – Construire des façades - Atlas de Construction. Lausanne (Suisse) : Presses Polytechniques et universitaires romandes, 2007. – 324 p.
6. ДБН В.2.6-31:2006 "Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель". – К.: Мінбуд України, 2006. – 68 с.
7. ДБН В.2.6-33:2008 "Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації". – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 23 с.
8. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. "Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. " – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 36 с.
9. ДСТУ Б Д.2.2-6:2008. РЕКН (зб. 15) "Облицювання поверхонь та інші оздоблювальні роботи" – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 42 с.
10. ЕНиР на строительно-монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е6. Плотничные и столярные работы в зданиях и сооружениях. – М.: Стройиздат, 1986. – 57с.

11. Пінчук С.Й. Організація експерименту при моделюванні та оптимізації технічних систем: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Дніпро-VAL, 2009. – 289 с.
12. Савйовский В.В., Джалалов М.Н. Особенности устройства теплоизоляции наружных стен существующих зданий методом скрепленной теплоизоляции // Научный вестник строительства. – № 51, 2009. – С. 131 – 136.
13. Система скріпленої зовнішньої теплоізоляції будівель і споруд «Ceresit. 2-ге видання, доповнене і перероблене»: Посібник по проектуванню, монтажу і експлуатації системи / В.Г. Соха, Є.К. Карапузов, О.М. Лівінський, Б.С. Дамаскін, М.Ф. Друкований – К.: МП «Леся», 2009. – 238 с.: іл.
14. Современные фасадные системы / А.И. Менейлюк, В.С. Дорофеев, Л.Э. Лукашенко, В.И. Москаленко, А.Ф. Петровский, В.Г. Соха – К.: «Освета Украины», 2008. – 340 с.
15. Соха В.Г. Научно-методические основы повышения эксплуатационной эффективности технологических систем теплоизоляции фасадов : автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук : спец. 05.23.08 "Технология и организация промышленного и гражданского строительства" / Соха Владимир Георгиевич. – Одесса, 2010. – 46 с.
16. Технологическая карта на устройство системы скрепленной наружной теплоизоляции зданий и сооружений "Будмайстер" FROSTOP" – 2005. – 78с.
17. Фаренюк Г. Г. Теплові аспекти надійності огорожувальних конструкцій // Будівництво України. – 2009. – №8. – С.28–30.
18. Шаленний В.Т., Дікарев К.Б., Скокова А.О. Методика дослідження очікуваних витрат на відновлення фасадної теплоізоляції будинків з опорядженням легкою штукатуркою // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Symferopol – Lublin, 2010. Volume 12D. – P. 101-109
19. Шаленный В.Т., Несеоря П.И., Дикарев К.Б., Скокова А.А. Факторы, влияющие на срок эксплуатации конструкции внешних стен с фасадной теплоизоляцией и отделкой легкой штукатуркой // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА. – Вып. № 56 – С. 593 – 597.
20. Шалённый В.Т., Папирнык Р.Б., Скокова А.А. Восстановление теплозащитных свойств наружных стен как путь продления жизненного цикла гражданских зданий // Збірник наукових праць "Научный вестник строительства". – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – Вып.58.– С. 203 – 207.

DEGREE'S EFFECT OF EXTERNAL HEAT-INSULATED OF THE DAMAGE CERESIT SYSTEM FOR COST OF WORKS FOR ITS RECOVERY

Summary. Detail the methodology and results of numerical experiment in establishing the relationship between the percentage of damage to the facade thermal insulation and the cost of its restoration. These dependencies confirm the hypothesis put forward earlier about the disproportionate increase in the value of the insulation to recovery percentage of her injuries. The results should be considered before making a final decision to repair or replace the entire existing system of insulation.

Key words: facade insulation, computer experiment, damage, recovery, cost.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ И КАРБОНАТНОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Николай Любомирский, Татьяна Бахтина,
Александр Бахтин, Арсен Джелял

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. Определены перспективные направления получения лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения и карбонатного вторичного сырья. Разработана принципиальная технологическая схема производства лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения. Рассчитана себестоимость производства 1000 шт. лицевого кирпича и срок окупаемости данного проекта.

Ключевые слова: строительные материалы, лицевой кирпич, известь, вторичное карбонатное сырье, искусственная карбонизация, печи для обжига известняка, отходящие печные газы, технология, себестоимость.

ВВЕДЕНИЕ

Современный рынок строительной индустрии предлагает разнообразный ассортимент строительных материалов и изделий, который постоянно пополняется все более новыми и качественными видами строительной продукции, в том числе на основе техногенного сырья [4]. Важное место среди них занимают стеновые строительные материалы и изделия. Одним из самых распространенных видов стеновых материалов является рядовой и лицевой кирпич, объем производства, которого составляет примерно 50 – 60 % от общего объема стеновых материалов. Несмотря на серьезных конкурентов (панели, ячеистые блоки) лицевой кирпич по-прежнему остается основным стеновым материалом в малоэтажном строительстве. В Украине, как и во многих развитых странах, существуют в основном производства двух видов кирпича – керамического и силикатного, которые используют разные технологии и исходное минеральное сырье. Естественно, существует масса преимуществ и недостатков, как существующих технологических линий, так и готовой продукции друг перед другом. Общим существенным недостатком в производстве этих двух видов кирпича являются значительные энергетические затраты, которые в свою очередь определяют высокую себестоимость готовой продукции. Таковыми затратами при производстве керамического кирпича является процесс обжига сырца, а при изготовлении силикатного кирпича его твердение в автоклаве при повышенной температуре и избыточном давлении. Важной является и проблема использования природного минерального сырья в технологиях производства керамического и силикатного кирпичей, в результате чего происходит истощение природных ресурсов.

Расширение сырьевой базы в производстве строительных материалов и разработка замкнутых технологий производства в первую очередь заключается в

усовершенствовании существующих и разработке новых способов направленного структурообразования искусственных строительных материалов с заданными свойствами. Материалом, в котором заложены потенциальные возможности ресурсосбережения, является известь, а именно получение прочного и водостойкого камня на основе гидратной извести методом ее искусственной карбонизации.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Исследования кладочного раствора, обнаруженного на Кипре при раскопках [6], показывают, что обнаруженный раствор содержит 47,6 % карбоната кальция, 47,7 % заполнителей и 4,7 % различных примесей. Химический состав раствора позволяет судить о примерном исходном вещественном его составе в массовом соотношении между известью и заполнителями, в данном случае 1:1,5. В качестве заполнителей использовали мелкий песок и гравий фракцией до 15 мм. Физико-механические характеристики раствора не уступали аналогичным характеристикам для камней, которые он связывал. Возраст найденного раствора относят к X в. до н. э. Следовательно, в растворе под действием углекислого газа воздуха в течение трех тысячелетий прошел процесс карбонизации извести с образованием прочного карбоната кальция. Если учесть что концентрация углекислого газа в атмосфере составляет 0,03 %, можно сделать вывод что при искусственном увеличении концентрации CO₂ скорость реакции карбонизации извести значительно возрастет.

Искусственной карбонизацией извести как процессом интенсификации твердения изделий на ее основе впервые занимался А.А. Байков [1], предложивший способ производства карбонизированного известково-песчаного кирпича из гидравлической извести. Согласно исследованиям авторов [2, 3, 5, 7 – 9, 13 – 16, 19, 20] процесс искусственной карбонизации извести можно описать следующим образом: углекислый газ взаимодействует с известью энергичнее лишь при определенной влажности изделий; быстрая начальная скорость поглощения углекислого газа заменяется с течением времени реакцией с постоянной скоростью; для ускорения процесса карбонизации необходима подсушка изделий. Анализируя работы предшественников можно сделать вывод о том, что теоретическая очевидность процесса карбонизации извести с позиции уравнения химической реакции практически труднодостижима, поскольку приходится сталкиваться с множеством факторов, влияющих на протекание процесса и, без управления которыми невозможно добиться положительного конечного результата – получения вторичного карбоната кальция. Наиболее существенными технологическими факторами могут быть влажность системы, пористость отформованного образца на основе извести, температура и время карбонизации.

Однако отдельные полученные положительные результаты 40 – 50-х годов не привели к повсеместному производству карбонизированных изделий. Вероятно, что сложность протекания процесса карбонизации, несовершенство оборудования, интенсивное развитие цементной промышленности и достаточные запасы природных минеральных ресурсов в послевоенные годы, стали основными причинами прекращения исследований в этой области. На современном этапе активного научно-технического развития человек столкнулся с проблемой ограниченности природных

ресурсов, негативного воздействия на окружающую среду, возможного нарушения равновесия сложившейся системы, а в связи с этим и с необходимостью бережного отношения к природе. Прошлый и во многих случаях современный тип отношения общества к природе посредством своей деятельности носит стихийный, а чаще безответственный характер. Примером может служить интенсивное увеличение концентрации в атмосфере парниковых газов в результате работы различных производств. Одним из источников выброса парниковых газов, в частности CO_2 , являются печи различных конструкций для обжига известняка. Производство нерудных строительных материалов является источником образования твердых отходов в виде отсевов камнепиления и дробления различных пород. Применение этих отсевов в виде заполнителя для различных видов бетона еще не нашло широкого распространения из-за значительной их запыленности и содержания различных примесей.

Следовательно, новым условиям развития должен соответствовать и новый тип отношения человека к природе и ее ресурсам. Смысл этого отношения должен заключаться в глобальном, научно обоснованном регулировании, учитывающем характер и границы допустимого воздействия общества на природу с целью не только ее сохранения, но и воспроизводства.

Исходя из этого утверждения, утилизация различных отходов промышленности строительной индустрии, в частности углекислого газа и мелких отсевов камнепиления и дробления горных пород, как сырьевых компонентов, является необходимым условием дальнейшего устойчивого развития общества.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы – обоснование эффективности использования вторичного сырья для производства различных стеновых изделий, в том числе лицевого кирпича, на основе извести карбонизационного твердения. В качестве вторичных сырьевых ресурсов использовать вторичное карбонатное сырье, образующееся при камнепилении и дроблении известняков, а также отходящие печные газы известково-обжигательных печей.

Поставленная цель была достигнута путем постановки и решения следующих задач:

- теоретического и практического обоснования эффективности процесса искусственной карбонизации гидратной извести и композиционных систем на ее основе;
- целесообразности применения вторичного карбонатного сырья для производства лицевого кирпича, а также использования отходящих печных газов, содержащих углекислоту, в качестве сырьевого компонента;
- разработке замкнутой технологической линии по производству различных стеновых изделий, в том числе лицевого кирпича;
- экономическом обосновании эффективности производства лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В работах [10, 18] изложены основные теоретические и практические аспекты искусственной карбонизации гидратной извести, и установлены следующие закономерности. Создавая оптимальные условия карбонизации: влажность и начальную пористость системы, длительность обработки системы углекислым газом можно добиться максимальной карбонизации известковой матрицы и получения на ее основе водостойкого и обладающего достаточно высокой механической прочностью материала. Установлено [10], что процесс карбонизации известковой матрицы зависит, главным образом, от влажности системы, находящейся в определенном интервале, за пределами которого процесс карбонизации замедляется или полностью прекращается. При оптимальном сочетании удельного давления прессования и формовочной влажности, интенсивный процесс карбонизации не превышает 3 – 5 ч. Оптимальная температура карбонизации известковой матрицы находится в интервале 298 – 303 К. Полученные при такой температуре карбонизированные образцы на основе гидратной извести, обладают прочностью до 20 МПа, увеличивающейся во времени. Толщина карбонизированного слоя влияет на водостойкость материала. С увеличением толщины карбонизированного слоя повышается показатель водостойкости K_p , который составляет 0,7 – 0,8, что позволяет классифицировать получаемый карбонизированный материал как водостойкий.

Полученные положительные результаты послужили основанием для разработки различных композиционных материалов, на основе известковой карбонизированной матрицы. Перспективным направлением является использование в качестве наполнителя вторичного карбонатного сырья, а именно отходов камнепиления и дробления известняков.

В Крыму ежегодно добываются и перерабатываются тысячи тонн известняка. Динамика образования вторичного карбонатного сырья в результате добычи и переработки различных видов известняков в Крыму с 2001 по 2009 годы по данным Государственного комитета статистики Украины [17] представлена в табл. 1.

Таблица 1. Образование вторичного карбонатного сырья в Крыму с 2001 по 2009 гг.

Table 1. Formation of secondary carbonate raw material in Crimea from 2001 to 2009

Наименование показателя	Год								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Образование карбонатных отходов, тыс.т	61,9	71,2	66,0	151,5	121,7	84,3	90,7	81,5	57,1

При таком значительном образовании мелких отходов на переработку для различных нужд поступает лишь 40 – 50 %, а остальные отходы в виде мелких отсеков вывозятся в отвалы. Отличительной особенностью этих побочных продуктов является аналогичная структура составляющего их вещества с продуктом карбонизации извести – вторичным карбонатом кальция. Следовательно, использование данного сырья позволит создать в известковой матрице дополнительные центры кристаллизации, а также улучшить контакты срастания на границе «наполнитель – вяжущее». Исследования [11, 12] проведенные с целью изучения влияния вторичного карбонатного наполнителя на процесс искусственной карбонизации композиционных систем на основе извести показали следующие результаты. Введение вторичного карбонатного наполнителя не препятствует прохождению карбонизации, получаемый композиционный материал обладает однородной структурой. Установлено, что основополагающим фактором в процессе карбонизации композиционных систем является влажность. Количество вводимого наполнителя также оказывает некоторое влияние, ввиду смещения необходимой зоны влажности. Оптимальное количество вторичного карбонатного наполнителя находится в пределах 40 – 60 %. При этом тонкость помола вторичного карбонатного сырья оказывается фактором, незначительно влияющим на прохождение реакции карбонизации. Согласно исследованиям оптимальной является удельная поверхность 1500–2000 см²/г. Физико-механические характеристики опытных карбонизированных образцов соответствуют современным нормативным требованиям предъявляемым для стеновых рядовых и лицевых изделий.

Таким образом, способ искусственной карбонизации как метод направленного регулирования структурообразования и свойств искусственного камня на основе извести можно использовать для разработки замкнутой технологии по производству лицевого кирпича. Схема замкнутой технологической линии представлена на рис. 1.

Схема представляет замкнутую технологическую линию, и включает следующие основные операции: добычу и переработку известняка; получение негашеной извести и помол вторичного карбонатного сырья; гашение извести в пушонку с контролируемой влажностью; весовая дозировка сырьевых компонентов; принудительное перемешивание смеси на основе продукта гашения и вторичного карбонатного сырья; формование изделий методом двухстороннего полусухого прессования и последующую их обработку отходящими печными газами; предварительная очистка печных газов от твердых примесей и их охлаждение.

Предлагаемый способ подразумевает организацию на существующих предприятиях по получению комовой извести дополнительного технологического участка по производству лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения. Необходимые критерии, предъявляемые к линии полусухого прессования, это наличие необходимого комплекта оборудования и требуемые технологические характеристики. В комплект основного оборудования входят бункера для хранения сырьевых компонентов, весовые дозаторы, смеситель принудительного действия, пресс двухстороннего полусухого прессования, манипулятор-укладчик, камера карбонизации, упаковочное оборудование. Технологическая линия по производству изделий методом полусухого прессования А300-4, разработанная на базе ЧП «Агрегат», г. Ялта, отвечает всем необходимым требованиям.

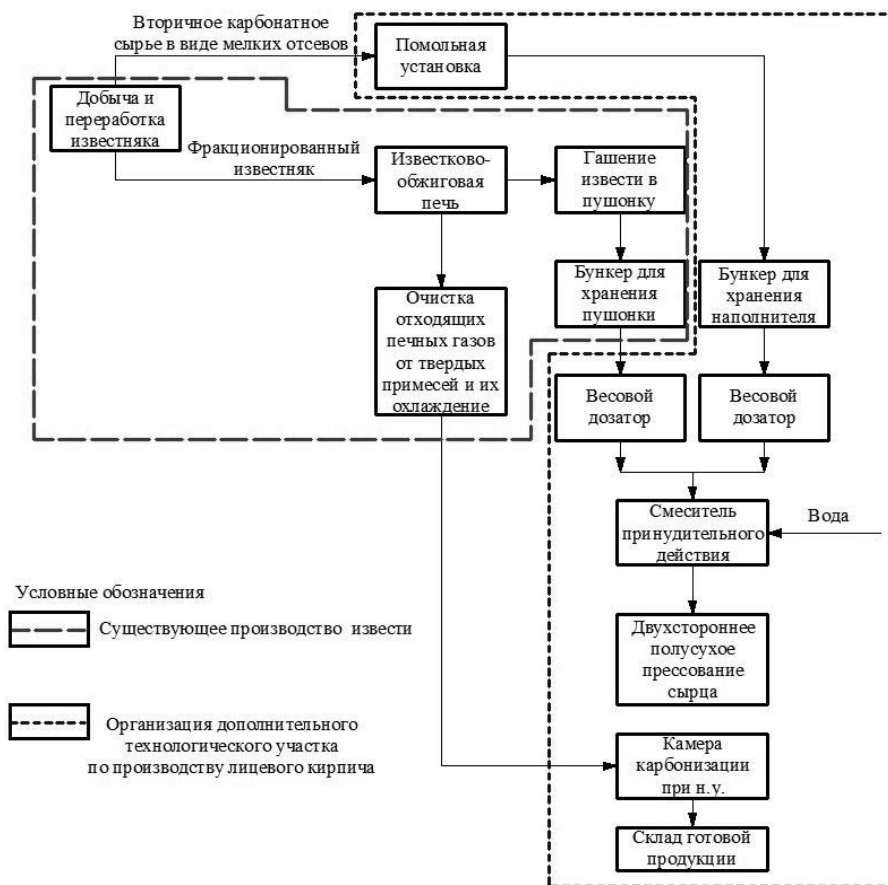


Рис. 1. Замкнутая технологическая схема производства лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения

Fig. 1. Reserved technological scheme of production of facial brick on the basis of lime of the carbonating hardening

Экономическая эффективность производства лицевого кирпича рассчитывалась на основании сырьевых и энергетических затрат на производство готовой продукции. Для расчета себестоимости лицевого кирпича на основе извести была принята шахтная газовая печь для обжига известняка производительностью 60 т/сут комовой извести. Удельный расход сырья и энергетических ресурсов на производство тонны негашеной извести представлен в табл. 2.

Таблица 2. Удельный расход сырья и энергетических ресурсов на тонну негашеной извести

Table 2. Specific expense of raw material and power resources on to tone of quicklime

Наименование показателя	Единицы измерения	Удельный расход сырья и энергоресурсов
Известняк	т/т	1,8
Природный газ	м ³ /т	135,0
Электрическая энергия	кВт·ч/т	40,0
Техническая вода	м ³ /ч	не требуется

Согласно действующим тарифам на сырье и энергоресурсы для промышленных предприятий Крыма рассчитана себестоимость производства тонны комовой извести. Результаты представлены в табл. 3. Для снижения себестоимости производства тонны комовой извести необходимо увеличивать производительность шахтной печи, например до 150 и 300 т/сут.

Таблица 3. Себестоимость тонны негашеной извести для шахтной печи Q = 60 т/сут

Table 3. Prime price of ton of quicklime for the stove of Q = 60 t/24h

Наименование показателя	Ед. изм.	Стоимость единицы, грн	Стоимость на тону комовой извести, грн	Себестоимость тонны комовой извести, грн
Известняк	т	50,0	90,0	517,4
Природный газ	м ³	3,0	405,0	
Эл. энергия	кВт	0,56	22,4	

В табл. 4 представлен удельный расход сырья и энергоресурсов на производство 1000 шт. лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения производимого на технологической линии А 300-4. При расчете себестоимости учитывалась статья затрат на покупку в карьере мелких отсеков вторичного карбонатного сырья заводом изготовителем извести. Если завод по производству извести имеет свой карьер по добыче известняка, данная статья затрат исключается.

Пропорциональные затраты сырьевых компонентов на производство 1000 шт. лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения представлены на рис. 2. Согласно расчетным данным основной статьей затрат является расход извести, который составляет 76,8 %. Однако даже при таком значительном расходе вяжущего, себестоимость производства одной единицы лицевого кирпича не превышает 0,41 грн.

Таблица 4. Удельный расход сырья и энергоресурсов на производство 1000 шт. лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения

Table 4. Specific expense of raw material and power resources on a production 1000 things of facial brick on the basis of lime of the carbonating hardening

Наименование показателя	Соотношение известь : наполнитель, % масс. 40:60		
	Расход сырья и энергоресурсов	Стоимость единицы, грн	Стоимость на 1000 шт лицевого кирпича, грн
Гашение комовой извести в пушонку			
Техническая вода, м ³	0,2	2,5	0,5
Полусухое прессование лицевого кирпича			
Известь-пушонка, т	0,8	517,4	310,4
Карбонатный наполнитель, т	1,2	15,0	18,0
Техническая вода, м ³	0,3	2,5	0,75
Карбонизация отформованного кирпича печными газами			
Отходящие печные газы	-	-	-
Расход энергоресурсов при помоле вторичного карбонатного сырья			
Эл. энергия, кВт	8,9	0,56	5,0
Расход энергоресурсов при полусухом прессовании лицевого кирпича			
Эл. энергия, кВт	124,0	0,56	69,4
Себестоимость 1000 шт. лицевого кирпича			404,1

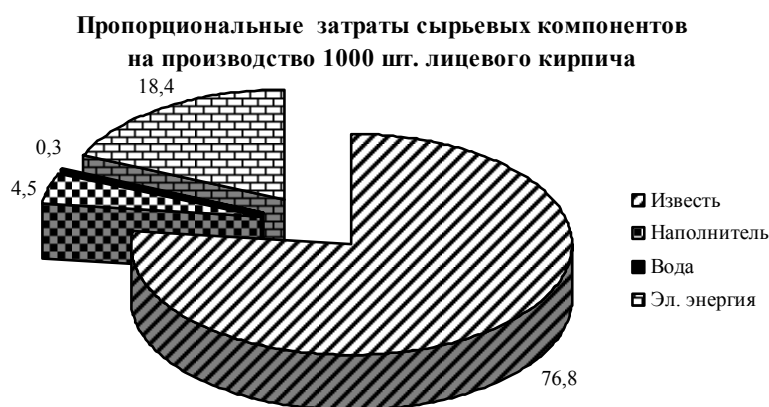


Рис. 2. Пропорциональные статьи затрат сырья на производство 1000 шт. лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения

Fig.2 Proportional articles of expenses of raw material on a production 1000 things of facial brick on the basis of lime of the carbonating hardening

Производство лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения подразумевает организацию на существующих предприятиях по получению комовой извести дополнительного технологического участка по формованию кирпича и его дальнейшей искусственной карбонизации отходящими печными газами. Следует отметить высокую экологичность и эстетичность получаемых изделий. Карбонизированный материал не содержит компонентов, выделяющих вредные вещества в период эксплуатации, т.к. известь, используемая в качестве вяжущего, производится путем обжига карбонатных горных пород – известняков и в процессе искусственной карбонизации возвращается в первоначальное состояние камня – известняк. Также известно, что известь является эффективным дезинфицирующим средством. Карбонатный наполнитель также является природным материалом – побочным продуктом добычи известняков и доломитов.

При анализе срока окупаемости данного проекта учитывалась сумма чистых инвестиций, связанных с покупкой технологического оборудования для полусухого прессования и устройством камеры карбонизации. Сумма чистых инвестиций составит 7 млн. 500 тыс. грн. В табл. 5 представлены основные расчетные показатели по внедрению данного проекта.

Таблица 5. Расчет срока окупаемости технологического участка по производству лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения

Table 5. Calculation of term of recoupment of technological area on the production of facial brick on the basis of lime of the carbonating hardening

Наименование показателя	Лицевой кирпич на основе извести карбонизационного твердения
Производительность, млн. шт.	12,0
Средняя отпускная цена 1 шт. кирпича, грн	2,1
Стоимость годового выпуска продукции, млн. грн	22,68*
Чистая годовая прибыль, млн. грн	5,67
Срок окупаемости, мес.	16,0

* - расчет проводился с учетом 10 % брака готовой продукции

ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснована и практически доказана эффективность процесса искусственной карбонизации гидратной извести и композиционных систем на ее основе.

2. Обоснована целесообразность применения вторичного карбонатного сырья в качестве наполнителя для производства лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения, а также использование отходящих печных газов содержащих углекислоту в качестве сырьевого компонента.

3. Разработана принципиальная технологическая схема производства лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения. Внедрение данной схемы подразумевает организацию на существующих предприятиях по

получению комовой извести дополнительного технологического участка по формированию лицевого кирпича и его дальнейшей искусственной карбонизации отходящими печными газами.

4. Рассчитана экономическая эффективность производства лицевого кирпича согласно разработанной технологической линии. Себестоимость производства 1000 шт. лицевого кирпича составит 404,1 грн. Срок окупаемости дополнительного технологического участка по формированию кирпича и его дальнейшей искусственной карбонизации отходящими печными газами составит – 16 месяцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байков А.А. : Сборник трудов. т. IV. Л. – М.: изд. Академии наук СССР, 1950.
2. Влияние искусственной карбонизации на свойства и структуру новообразований ячеистого бетона пониженной объемной массы / Л.Н. Новикова, А.Б. Устимович, З.В. Станкевич [и др.] // Строительные материалы. – 1978. – №6. – С.32 – 33.
3. Воробьев А.А. : Влияние карбонизации на физико-механические свойства автоклавного газобетона с тонкомолотыми карбонатными добавками // Строительные материалы. – 1971. – №2. – С. 32 – 33.
4. Гасанов А., Нестеренко Е., Люлька А. : Ресурсосбережение в производстве строительных материалов // Motrol. Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 134 – 137.
5. Зацепин К.С. : Известковые карбонизированные строительные материалы: сборн. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам. Т. 2: – М: Московская правда, 1952. – С. 283 – 290.
6. Значко-Яворский И.Л. : Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX века, М. – Л.: Издательство академии наук СССР, 1963. – 500 с.
7. Каминская А.Ю., Матайтис А.И. : Новый двухстадийный способ твердения известково-песчаных изделий // Строительные материалы. – 1970. – №8. – С. 32 – 35.
8. Курдюмов А.С. : Биотехнология получения строительных материалов на основе отходов камнедобычи и вторичного растительного сырья // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 3. – С. 59 – 62.
9. Кржеминский С.А., Земцов Д.Г., Кройчук Д.Г. и др. : О взаимодействии газосиликата с углекислым газом // Строительные материалы. – 1969. – №9. – С. 23 – 25.
10. Любомирский Н.В., Локтионова Т.А., Бахтин А.С. : Оптимизация влияния различных технологических факторов на процесс карбонизации известковых систем и получения на их основе искусственного карбонатного камня. Моделирование в компьютерном материаловедении. Материалы к 47-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК '47. – Одесса: «Астропринт», 2008. – С. 126 – 128.
11. Любомирский Н.В., Локтионова Т.А., Бахтин А.С., Акимов А.М. : Известково-карбонатные строительные композиты карбонизационного твердения // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Київ: ДП НДІБК. – 2009. – Вип. 72. – С. 319 – 327.

12. Любомирский Н.В., Сребняк В.М., Бахтин А.С. : Строительные композиты на основе извести карбонизированного типа твердения / Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 229 – 238.
13. Михайлов Н.Н., Кузнецов А.М. : Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего // Строительные материалы. – 1960. – №9. – С. 28 – 30.
14. Ордынская Е.С., Петин Н.Н., Хигерович М.И. : К кинетике процессов карбонизации известково-песчаных автоклавных материалов // Журнал прикладной химии. – 1937. – Т. 10. – № 2.
15. Розенфельд Л.М. : Исследования пенокарбоната. – М.: ЦНИИПС. Научное сообщение. Выпуск 23, 1955. – 51 с.
16. Силаенков Е.С., Тихомиров Г.В. : Влияние карбонизации на некоторые свойства автоклавных бетонов // Строительные материалы. – 1961. – №4. – С. 30 – 33.
17. Статистичний щорічник України за 2001-2009 рік // За ред. О.Г. Осауленка. – Київ: Видавництво «Консультант», 2009. – 592 с.
18. Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Лукьянченко М.А., Локтионова Т.А., Бахтин А.С., Климяк В.И. : Карбонатные материалы на основе известковых систем контактно-карбонизационного типа твердения. Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2007. – вып. 21. – С. 63 – 80.
19. Zalmanoff N. : Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186.
20. Zalmanoff N. : Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building // Rock Products. – 1956. – September. – P. 84 – 90.

PERSPECTIVE DIRECTIONS OF RECEIPT OF FACIAL BRICK ON BASIS TO EXTERMINATE CARBONATING HARDENING AND CARBONATE SECONDARY RAW MATERIAL

Annotation. Perspective directions of receipt of facial brick are certain on the basis of lime of the carbonating hardening and carbonate secondary raw material. The fundamental technological scheme of production of facial brick is worked out on the basis of lime of the carbonating hardening. A production cost is expected 1000 things of facial brick and term of recoupment of this project.

Key words: build materials, facial brick, lime, secondary carbonate raw material, artificial carbonating, stoves for burning of limestone, stove off-gas, technology, prime price.

SOLAR ENERGY USAGE FOR THE IMPROVEMENT OF THE TREATMENT EFFICIENCY AND OPERATION STABILITY AT SMALL-SCALE WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Stepan Epojan, Irina Shtonda, Yuriy Shtonda*, Aleksey Zubko**, Yuriy Zvyagintsev***

Kharkov State Technical university of Construction and Architecture

* Vodny Project Ltd, Donetsk

**Eko-Invest CJSC, Kharkov

***EnergosPECstroj Ltd, Alushta, Autonomous Republic of Crimea

Summary. The paper focuses on the treatment efficiency and reliability of small-scale wastewater treatment plants, studies the feasibility of the application of contemporary aeration systems, considers the implementation of continuous wastewater preaeration for the throughput increase of small-scale WWTPs, as well as the application of solar photoelectric transducers for the reliable power supply at small-scale WWTPs.

Key words: intensification, wastewater treatment plants, wastewater, aeration, aeration system, APKV-120 aerators, solar energy.

INTRODUCTION

Ever increasing living standards of the contemporary society result in the substantial adverse effects on the environment and water bodies. The discharge of the untreated or undertreated wastewater into surface waters is one of the most dangerous long-term anthropogenic activities. Upon the pollution of natural waters, wastewater constituents cause qualitative changes, usually observed as the changes of the physical properties of water, emerging of odors. The pollution also results in the changes of the chemical water composition, caused by the introduction of harmful substances in the dissolved form, as floating aggregates or settleable solids, accumulated in sediments, and can further lead to the decrease of the dissolved oxygen concentration. The discharge of the undertreated wastewater also causes infectious diseases, epidemiological issues and the degradation of water ecosystems. Therefore nowadays the wastewater treatment has significant environmental and social implications. Thus the intensification of the wastewater treatment from small settlements is of primary importance in Ukraine, Russia and worldwide. The elimination of the untreated wastewater discharge in the Black Sea and Azov Sea basin even from the smallest communities and enterprises along with the innovative zero-emission technologies and economically feasible WWTPs is the key principle of the environmental strategy.

LITERATURE REVIEW

Autonomous Republic of Crimea (AR Crimea) is one of the main Ukrainian resort areas. During the holiday season the vast majority of towns and settlements are busy

accepting holidaymakers. Therefore the maximum anthropogenic load is observed in the coastal regions.

At present the wastewater in Autonomous Republic of Crimea originates from the enterprises of various forms of property ownership. State and municipal enterprises, republic-scale enterprises and associations, private enterprises and entrepreneurs are characterized by the highly heterogeneous structure of financial, material and human resources. Legal entities vary by the list and coverage of services; territory, where these services are rendered to customers; legal relations with the local government agencies; taxation system etc.

In AR Crimea widely used modular plants KU-50, 200, 400 for the domestic wastewater treatment were constructed and put into service in the 60th-70th of the last century. The major part of these modular plants was treating the wastewater from coastal settlements serving the nearby hotels and resorts. With time all the coastal settlements were connected to these decentralized sewer systems for the improvement of the sanitary and epidemiologic situation in the region. When the Soviet Union split apart, many of these modular WWTPs changed the form of the property ownership and some of them became subordinated to the settlements, while others belonged to the hotels and resorts, and the rest were in private ownership.

For the last year sewer systems and WWTPs have become physically and technologically worn. For the last decades the wastewater flow to the existing treatment facilities increased several times. In the majority of cases the owners of WWTPs cannot afford the retrofit and even the major repairs of their sewer systems and treatment facilities but are still unwilling to pass the property rights of their WWTPs to villages and towns. Virtually none of the settlement investment programs allocate money for the retrofit of existing and building of new wastewater treatment plants and sewer networks [1,2]. In practice, the existing WWTPs cannot be operated anymore without substantial investments into their retrofit.

Despite the negative factors in the operation of WWTPs, strict requirements of the local environmental agencies in AR Crimea and substantial affords aimed at the improvement of technological schemes and the equipment result in the gradual improvement of the operation of sewer systems and WWTPs in Alushta region.

Nevertheless the operation of the WWTP in Kanaka settlement in 2008 holiday season was unsatisfactory. The concentration of total solids in the effluent of Kanaka resort WWTP was 3.8 times higher and that of BOD₅ was 3.9 times higher than the permissible concentrations. The effluent of the WWTP was stored in the accumulation tank rather than discharged into the sea. The WWTP did not have the dedicated effluent discharge limits therefore its operation was governed by the Resolution #465 of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On the approval of rules for the protection of surface waters from wastewater pollution", which defines the maximum permissible effluent concentration for the three parameters: total suspended solids – below 15 mg/l, BOD₅ – below 15 mg/l, COD – below 80 mg/l.

The local environmental agency had temporarily stopped the operation of Kanaka resort until it restored the reliable operation of the WWTP.

The results of the inspection of modular WWTPs KU-400 [3,4], comprising the Kanaka WWTP, revealed that the operation of the diffused aeration system with medium-sized bubbles was unsatisfactory. The absence of the mechanical pretreatment leads to the

deteriorated conditions of the organics oxidation by the activated sludge, results in the higher air flow and fouling of aerators during the unaerated periods.

Modular WWTPs KU-50, 200, 400 are equipped with the medium-bubble pneumatic aeration system. The airflow in medium-bubble aeration systems is 1.5-2 times higher than that in fine-pore systems and is practically equal to the air flow, required for the suspension of activated sludge. Taking into account the lower headloss across the medium-bubble aeration systems, the economic effect of the application of medium-bubble aeration systems is practically equal to that of fine-pore aerators. The advantages of medium-bubble aeration systems are lower fouling rates, easier installation and maintenance.

The proposed technological scheme eliminated the above mentioned operational issues and assumed the installation of RMBS-100 brush screens for the mechanical pretreatment, medium-bubble aeration system APKV-120, manufactured by Manufacturing and Engineering Company "Eko-Invest" (NPF "Eko-Invest"), Kharkov. To eliminate the fouling of aeration elements the air piping Ø150 was equipped with the check valves by HAWLE, Austria. Air was fed from two new air blowers with noise protection type 22VFM50, manufactured by META Ltd, Melitopol. The efficient aerobic sludge stabilization was achieved by the application of middle-bubble aeration systems by NPF "Eko-Invest". The retrofit works had been finished by June 2009.

The water level in aeration tanks was 2.75 m and the aeration intensity of 4.5-6 m³/(m²·hr) was more than enough for the efficient oxidation of organic compounds. After the retrofit works the effluent quality of Kanaka WWTP meets the discharge requirements [5,6].

In order to solve the acute environmental, epidemiological and social issues, which arose after the operational problems at Jubileinyi WWTP (KU-400) of the settlement of Malorechenskoje, the local authorities initiated the retrofit of the physically and technologically worn equipment. In order to implement the extended aeration process, equalization basins were equipped with the medium-bubble aeration system APKV-120, manufactured by NPF "Eko-Invest", and were continuously operated as preaerators. The old aeration system was disassembled. These measures increased the efficiency of the biological wastewater treatment at Jubileinyi WWTP. Air for the aeration system was fed from the blowers by Meta Ltd. (Melitopol). With the average flow of 600 m³/day, the retrofitted Jubileinyi WWTP was put back into operation in May 2010.

The effluent quality of Jubileinyi WWTP at the design flow of 600 m³/day met the discharge limits and permissible concentrations.

Nevertheless during the holiday season the inflow to Jubileinyi WWTP was much higher than 600 m³/day. As a result the effluent quality could not meet the discharge criteria anymore and created prerequisites for the deterioration of the epidemiological situation in the region.

RESULTS

A new project for the throughput increase of Jubileinyi WWTP up to 1500 m³/day is based on the qualitative and quantitative dynamic analysis of the influent wastewater. The project "Retrofit of the WWTP and sewer system in the settlement of Malorechenskoje (AR Crimea)" considers two variants.

The first variant is based on the non-biological technologies and requires expensive chemicals, complicated equipment and the all-day-round presence of the operator. The second variant maximizes the benefits of natural biological methods of wastewater treatment. The first variant solves the problem with the effluent quality, but results in the formation of chemical sludge, which is difficult to dispose. The second variant does not have these problems. So the feasibility studies on the project “Retrofit of the WWTP and sewer system in the settlement of Malorechenskoje (AR Crimea)” ended up with the second variant.

The retrofit of Jubileinyi WWTP is planned within the boundaries of the existing site. In order to increase the efficiency of the whole water transportation and treatment system, the pumping station is equipped with the rake screens RKE. The WWTP is equipped with the fine screens RMBS-100. Equilization basins, operated as preaerators, are equipped with the system of even distribution and feed of the wastewater to aeration tanks. The volume of reservoirs, allocated for the biological wastewater treatment, is increased by 20% which allows for further intensification of the activated sludge biological treatment. The project uses ultraviolet lamps for the disinfection.

One of the main operational issues of Jubileinyi WWTP is the efficient and reliable power supply. The absence of power for more than 2 hours leads to activated sludge bulking and the overall reduction of the treatment efficiency.

Taking into account the country-wide trends towards green and energy-saving technologies the proposed technological scheme of wastewater treatment in the settlement of Malorechenskoje uses solar-based systems for the reliable and continuous power supply.

Among other alternative sources of energy the solar energy is the most perspective in terms of environmental safety, scalability and the application experience.

The most promising territories for the construction of solar power stations are the coastal regions of the Azov Sea and Black Sea.

The solar energy is transformed into the direct current by means of solar batteries – the devices, composed of thin films, made of silicon or other semiconductors. The photoelectric transducers (PT) have numerous advantages such as the absence of moving parts, high reliability and long lifetime. PTs are lightweight, easy to maintain and can use both direct and diffused solar radiation.

Being modular, solar power stations are scalable and expandable.

The disadvantages of PTs are high capital costs and low efficiency (currently 10-12%).

With the power output of 1000 kW and more, solar modules are the principal components in photoelectric schemes (PS). PSs can have different configurations, which make maximum use of the relief. PSs can be divided into 2 types: autonomous (local) and those, connected to the mains. The Type 2 solar stations supply the excess of energy to the mains, which, in case of inner energy deficit, serve as the back-up power supply.

The retrofit project of Jubileinyi WWTP uses photoelectric cells by Kvazar factory (Zaporozhje). The efficiency of these photoelectric cells is 17% and the efficiency of the module itself is 15%, which allows for more energy production per 1 square meter. The battery consists of ten modules and provides 240V DC output. The system is connected to the mains, which ensures reliable operation and continuous power supply.

The second power supply source, which is in parallel with the high-performance power supply network, consists of the direct current motor; alternator or asynchronous alternating current motor in generator mode with TP 04/10kW. The system is connected to

the power supply network through a high-speed vacuum switch. The applied scheme allows for the damping of the high-rate alternating load, compensation of the reactive power, generation of the active power with the increase of the supply voltage and guarantees the proper power quality.

Even with the lack of solar energy in the winter period (December - January), operation reversibility of these electric devices allows for the battery charging during the reduced-price night-time period.

The overall power of PS for Jubileinyi WWTP constitutes 428.4 kW. The number of modules is 3400 pcs., the total effective area is 2720 m². The pay-back period is 10-12 years. The warranty period is 30 years.

CONCLUSIONS

In order to guarantee the ecological safety of the coastal regions of the Black Sea in AR Crimea it is necessary to undertake the retrofit of the existing WWTPs with the increase of the throughput and treatment efficiency. The reliable and trouble-free power supply of WWTPs is achieved by the application of solar power stations.

REFERENCES

1. Epojan S, Shtonda Y., Zubko A., Bogdanov V., September 7-11, 2009: Main Problems and Principal Priorities in Wastewater Treatment of Small Settlements in AR Crimea // Ecological Safety: Problems and Solutions. 5th international scientific and practice conference, Alushta, p. 322-327. (in Russian)
2. Shtonda Y., Kolomyitsev N., Firsenskov Y., Shtonda I., September 7-11, 2009: Influence of Active Housing Development on Ecological Safety and Ecosystem of Coastal Areas of the Black Sea in Settlements of the Eastern Region of Big Alushta // Ecological Safety: Problems and Solutions. 5th international scientific and practice conference, Alushta, Collection of scientific papers. Kahrkiv, "Rider". 2009, vol. 1 – p. 105-109. (in Russian)
3. Rezumovsky E., Medrish G., Kazaryan V., 1986: Wastewater Treatment and Disinfection in Small Settlements. – Moscow. – Stroyizdat, – p.36-38, 60-73. (in Russian)
4. Goncharuk E., Davidenko A., Kaminsky J., Kigel M., Poloshuk Y., 1974: Small-Scale Wastewater Treatment Plants. – Kyiv. – Budivelnyk, – p.144-154. (in Russian)
5. Vasilenko O., Grabovsky P., Larkina G., Polishuk O., Progulny V., 2010: Retrofit and Intensification of Water Supply and Wastewater Treatment Plants. – Kyiv. – IVNVKP "Ukrgehiotech", – p. 212-219. (in Ukrainian)
6. Epojan S., Shtonda I., Shtonda Y., Zubko A., 2009: Intensification of Wastewater Treatment at Small-Scale Wastewater Treatment Plant of Kanaka Settlement in AR Crimea

// Herald of Construction. – Kharkiv: Kharkiv State Technical University of Construction and Architecture, KOTV ABU. – issue 53. – p.227-231. (in Russian)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ МАЛЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СОРУЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Степан Эпоян, Ирина Штонда, Юрий Штонда,

Алексей Зубко, Юрий Звягинцев.

Аннотация. Приведены данные по повышению эффективности и устойчивости работы малых канализационных очистных сооружений в АР Крым. рассмотрена целесообразность использования новых систем аэрации, применения постоянной преаэрации сточных вод для увеличения производительности малых канализационных очистных сооружений, а также использования фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии для устойчивого обеспечения энергоснабжения малых КОС.

Ключевые слова: интенсификация, канализационные очистные сооружения, сточные воды, аэрация, аэрационные системы, аэраторы АПКВ-120, солнечная энергия.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА РАНКА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Сергей Топорен, Олег Зайцев

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. Проведены исследования распределения полей скоростей и температур в вихревой трубе Ранка-Хилша на различных газах.

Ключевые слова: теплогенератор, эффект Ранка-Хилша, закрученные потоки.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из немаловажных задач экономики Украины – разработка и реализация энергосберегающих технологий, позволяющих наиболее эффективно использовать как первичные, так и вторичные энергоресурсы. Однако дешевизна органического топлива способствовала разработке мероприятий по снижению капитальных, а не эксплуатационных затрат. После 1991 года по настоящее время энергосберегающие технологии получили значительное развитие в части снижения эксплуатационных затрат. При этом увеличение тепловых потерь в трубопроводах вследствие физического устаревания теплотрасс способствовало децентрализации систем теплоснабжения, но уменьшение протяженности тепловых сетей и, соответственно, теплотерь в них привело к уменьшению числа теплогенерирующих установок (ТГУ) в котельных, то есть к невозможности использования «блочного» регулирования отпуска тепла, что выразилось в снижении КПД ТГУ и работе его в неоптимальных режимах практически на всем протяжении отопительного периода. Таким образом, при использовании закрученных потоков в ТГУ, основное время работы их приходится на область существования обратных токов и развитого ПВЯ, что определило необходимость исследования и развития теории закрученных потоков в данных режимах.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Выполненные в последние годы исследования показали, что теплогенерирующие установки большую часть времени работают в не номинальном режиме ввиду особенностей подбора оборудования. Наиболее перспективно увеличить коэффициент использования топливных ресурсов за счет увеличения КПД теплогенерирующих установок в нестационарных режимах путем улучшения аэродинамики топок котлов при взаимодействии закрученных потоков. Удобство обслуживания и высокие технико-экономические характеристики закладываются еще на стадии проектирования теплогенерирующих установок. Однако на этом этапе сталкиваются с рядом трудностей. Каждая модификация, которая улучшает одни из показателей, может привести к ухудшению какого-либо другого [7]. Путем

улучшения общей конфигурации топки можно получить приемлемую величину аэродинамического сопротивления при удовлетворительной равномерности поля температур. Положение максимума температур будет зависеть от глубины проникновения вращающихся потоков, взаимодействия с зоной обратных токов основной части струи, расстояния между струями и степенью их крутки, частоты колебаний вихревых ядер в струях, то есть процессов не достаточно изученных в настоящее время [7].

В газодинамике вихревых течений известно такое нетривиальное явление, как эффект Ранка (эффект Ранка-Хилша, или вихревой эффект), заключающийся в том, что в вихревых трубах достаточно простой геометрии (рис. 1) происходит разделение потока газа на два, один из которых периферийный имеет температуру выше температуры исходного газа, а второй центральный соответственно ниже.

Эффект температурного разделения газов был обнаружен Ранком в 1931 г. при исследовании процесса в циклоне-пылеуловителе [18].

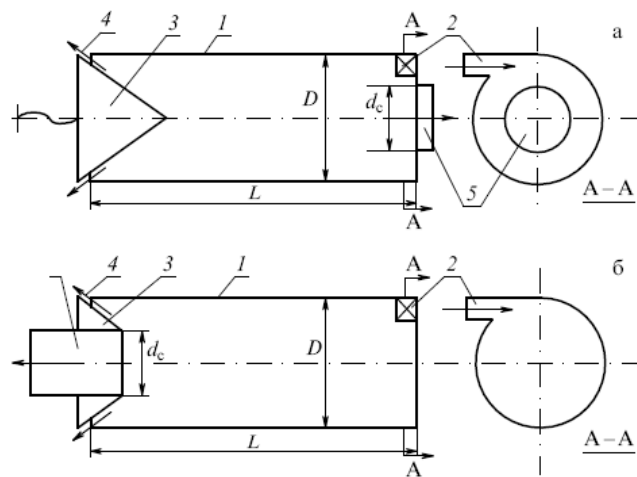


Рис. 1. Принципиальная схема вихревых труб: (а) противоточного типа, (б) прямоточного типа. 1 - гладкая цилиндрическая труба, 2 - завихритель тангенциального или улиточного типа для подачи сжатого газа, 3 - дроссельный кран (дроссель, вентиль), 4 – выход горячего газа через кольцевую щель, 5 - диафрагма для выхода холодного газа

Fig. 1. Schematic diagram of vortex tube: (a) countercurrent type, (b) ram type. 1 - a smooth cylindrical tube, 2 - swirl tangential or snail-type feed Compressed natural gas, 3 - throttle valve (throttle valve), 4 - Output hot gas through the annular gap, 5 - diaphragm for output cold gas.

Техническая простота эффекта стимулировала активность изобретателей. Опираясь в своей работе на часто весьма сомнительные теории или действуя эмпирически, они нашли массу способов усовершенствования первых вихревых труб, а также чрезвычайно расширили область их применения. Спектр разработанных и применяющихся устройств, использующих вихревой эффект, чрезвычайно широк [9, 14]. Кроме того, эффект Ранка обсуждался в книгах по проблемам вихревого движения [4,6,15,17].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы является совершенствование теплогенерирующих установок малой мощности путем использования аэродинамики закрученных потоков, а также повышение эффективности работы теплогенерирующих установок путем оптимизации аэродинамики топок жаротрубных котлов на стадии проектирования. Большая часть исследований вихревого эффекта проводилась с использованием воздуха, но не меньший интерес представляет его изучение на других газах.

Это важно не только с точки зрения выяснения возможностей применения вихревого эффекта в различных областях техники, но и для более глубокого понимания его физической сущности.

С этой целью в работе [8] проводилось сравнительное исследование вихревой трубы на различных газах: воздухе, метане, углекислом газе и аммиаке, имеющих заметно отличные физические свойства.

Поставленную цель достигалась путем моделирования процессов сжигания газообразного топлива в топочной камере с помощью программы Solid Work и ее приложения – Flow Work (Рис. 2-5), позволяющие получить пространственное распределение линий тока при численном решении уравнений Навье-Стокса.

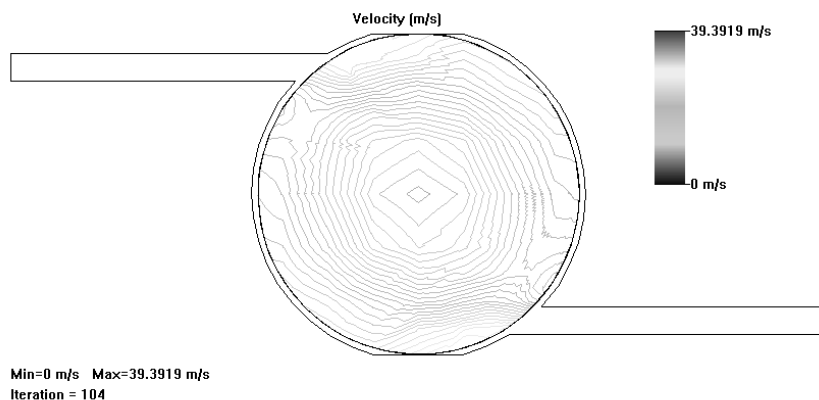


Рис.2. Распределение поля скоростей в тангенциальной подводке. Угловая скорость: 5 рад/с, радиальная скорость: 30 м/с, температура: 1593.2 К, рабочее тело: воздух
 Fig.2 Distribution of the velocity field in the tangential connections. Angular velocity: 5 rad / s, the radial velocity: 30 m / s, temperature: 1593.2 K, the working medium: air

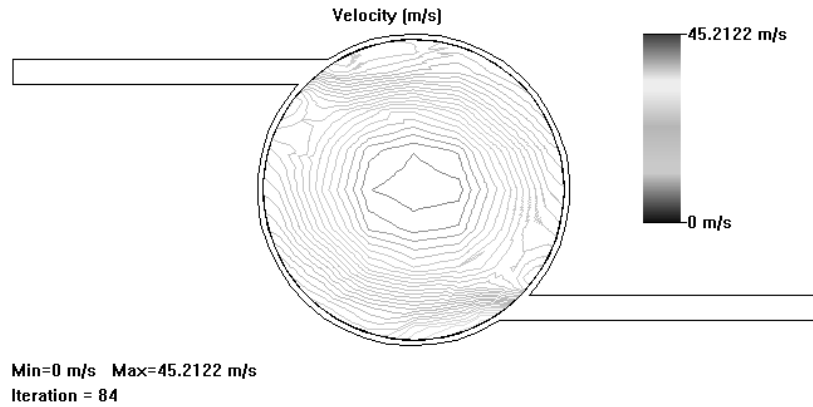


Рис.3. Распределение поля скоростей в тангенциальной подводке. Угловая скорость: 5 рад/с, радиальная скорость: 30 м/с, температура: 1593.2 К, среда: смесь метан\воздух 0,15\0,85

Fig.3. Distribution of the velocity field in the tangential connections. Angular velocity: 5 rad / s, the radial velocity: 30 m / s, temperature: 1593.2 K, the working body: a mixture of methane / air 0.15 / 0.85

Также проводился ряд экспериментов на опытной установке с замером температуры стенки теплогенератора с помощью пирометра (Рис. 6-7). Результаты экспериментов показали, что при одинаковых условиях работы вихревой трубы на этих газах получаемые эффекты охлаждения имеют вполне определенную закономерность, а именно: подсчитанные по ним значения температурной эффективности близки друг к другу (Рис. 8).

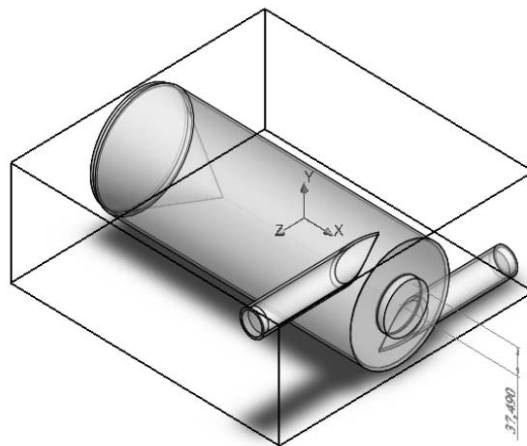


Рис.4. Расчетная модель

Fig.4. Calculation model

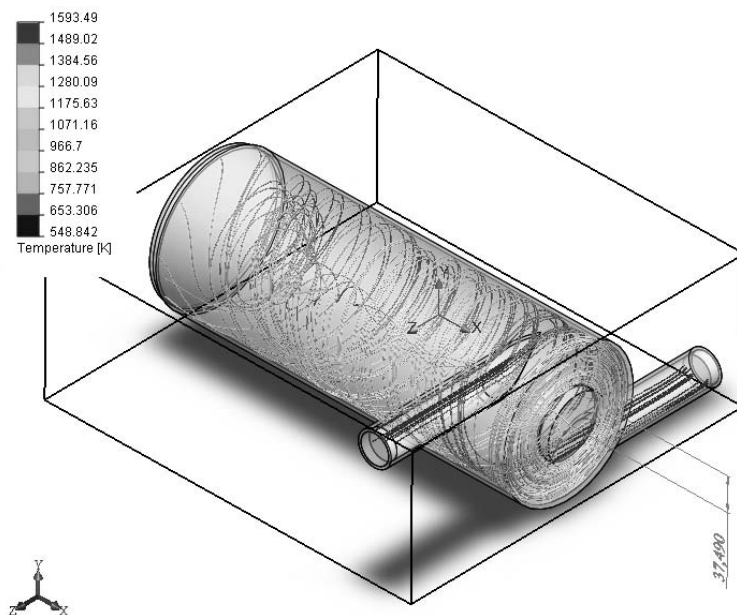


Рис. 5. Распределение температуры в объеме опытной установки
Fig. 5. Distribution of temperature in the bulk of the experimental setup



Рис.6. Опытная установка

Fig.6. Experimental plant

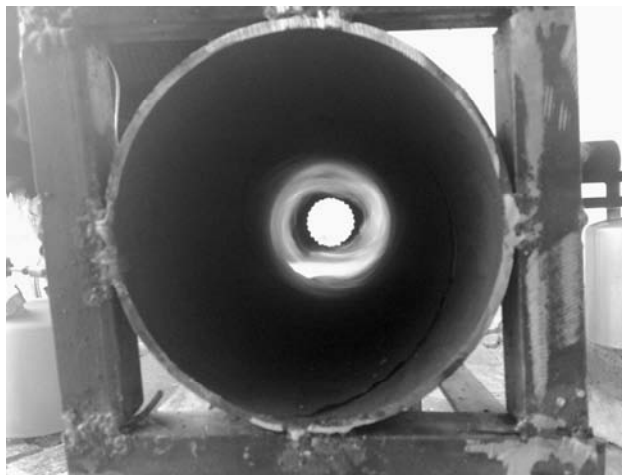


Рис.7. Опытная установка. Вид со стороны дроссельного клапана (клапан снят)

Fig.7. Experimental plant. View from the throttle valve (valve removed)

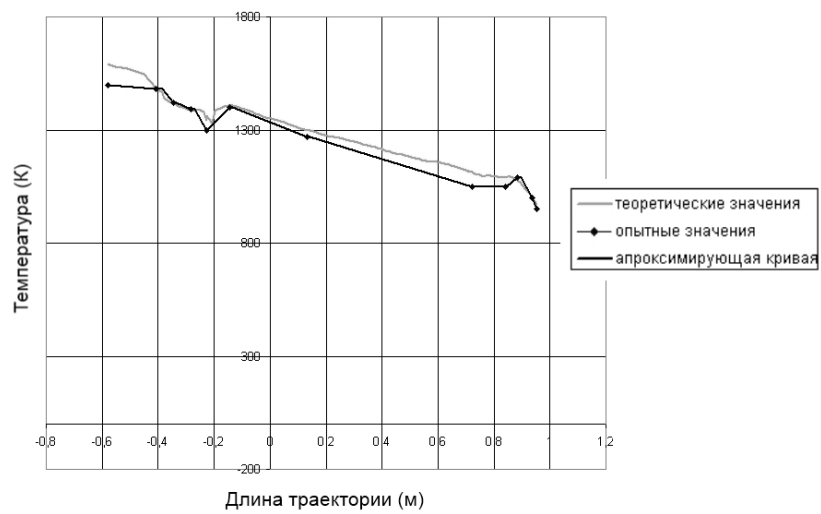


Рис. 8. Температура стенки теплогенератора. Экспериментальные и теоретические данные

Fig. 8. The temperature heat generator wall. Experimental and theoretical data

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Проведенные исследования показали, что распределение полей скоростей и температур в вихревой трубе на различных газах. Однако исследования эффекта Ранка нельзя считать законченными, даже если предлагаемая гипотеза покажется приемлемой большинству исследователей. Требуется еще проведение как теоретических, так и экспериментальных изысканий для придания ей статуса теории. В качестве теоретических задач на первый план выдвигается необходимость построения более строгой модели энергетического разделения с учетом таких факторов, как:

- кинетика движения микрообъемов и обмена кинетической энергией;
- реальное, зависящее от начальных условий, распределение микрообъемов по величине поступательной скорости;
- поступление в центральную часть потока турбулентных образований из пограничного слоя;
- зависимость поступательной скорости выходящего из трубы газа от радиуса;
- зависимость распределения температур «холодного» и «горячего» потоков от отношения их расходов.

ВЫВОДЫ

Представляется исключительно важным более глубокое исследование возвратно-вихревых течений с целью их использования в энергетических аппаратах для эффективного перераспределения располагаемой тепловой энергии в зависимости от текущей потребности в не номинальных режимах работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акбаров А. Б. : Разработка и исследование прямоточных горелок с регулируемой аэродинамикой факела: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.14.04. / М-во энергетики и электрификации СССР. Главтехуправление. Каз. НИИ энергетики. – Алма-Ата, 1988. – 18 с.
2. Альтшуль А.Д. : Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). – М.: Изд-во литературы по стр-ву, 1965. – 460 с.
3. Вулис Л. А., Ярин Л. П. : Аэродинамика факела. Л.: Энергия, 1978,-216 с.
4. Гольдштик М. Л. (Ред.) Вихревая термоизоляция. Новосибирск: Наука, 1979.
5. Гольдштик М. А., Штерн В. Н. Яворский Н. И. : Вязкие течения с парадоксальными свойствами. Новосибирск: Наука, 1989.
6. Гольдштик М. А. : Вихревые потоки. Новосибирск: Наука, 1981.
7. Гупта А. К., Лили Д. Г., Сайред Н. М. : Закрученные потоки: Пер. с англ., - М.: Мир, 1987, - 588с.

8. Зайцев О.Н. : Влияние степени крутки на устойчивость структуры закрученного потока. // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2003. – № 4. – С.73-75.
9. Зайцев О.Н. : Управление аэродинамической обстановкой в рабочем объеме теплогенерирующих установок.// Вісник ОДАБА №7, 2002, с. 60-64.
10. Мартыновский В. С., Алексеев В. П., Термодинамический анализ эффекта вихревого температурного разделения газов и паров, Теплоэнергетика, 1955.
11. Меркулов А. П. : (Ред.) Вихревой эффект и его применение в технике. Куйбышев: КуЛИ, 1988.
12. Найденов Г.Ф. : Газогорелочные устройства с регулируемыми характеристиками факела. К.: Техніка, 1974. – 112 с.
13. Прандтль Л. : Гидроаэромеханика. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000,- 576 с.
14. СНиП 2.04.05-91* Отопление, вентиляция и кондиционирование. Киев. КиевЗНИИЭП, 1996 - с. 89.
15. Суслов Л. Д. и др. : Вихревые аппараты. М.: Машиностроение, 1985.
16. Халатов Л. А. : Теория и практика закрученных потоков. Киев: Наукова думка, 1989.
17. Штихлинг Г. : Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974,—711 с.
18. Штым А. Н. : Аэродинамика циклонно-вихревых камер. Владивосток: Дальневост. универ., 1985.
19. Oleg Zaitsev, Sergey Toporen, Vasiliy Shmonyak, Vasiliy Nakonechniy.: Stability of a rotating gas stream in the change in the extent of its twist// Motorization and power industry in agriculture, 2009, pp. 164-168.
20. Ranque G. J. Phys Radium (Paris) 4 (1933), pp. 112–114 (in English).

APPLY AN EFFECT RANKE IN HEAT-GENERATING INSTALLATIONS OF SMALL CAPACITY

Abstract: Investigations of the distribution of velocity and temperature fields in a vortex tube Ranque-Hilsch for different gases.

Key words: heat generator, Ranque-Hilsch, swirling flows.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ И В ЦЕЛОМ МЕХАТРОННОГО ГИДРОАГРЕГАТА СИСТЕМЫ СМАЗКИ

Зиновий Лурье, Игорь Федоренко

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Аннотация. В статье обсуждаются методики определения моментов инерции мехатронного гидроагрегата системы смазки и приводятся численные значения, полученные экспериментальным путем. Данные параметры используются при исследовании динамических характеристик и переходных процессов

Ключевые слова: мехатронный гидроагрегат, моменты инерции, методика определения

ВВЕДЕНИЕ

При разработке различных схем гидроагрегатов (ГА), особенно мехатронных, и оценке их динамических возможностей необходимо включение в математическую модель приводного электродвигателя. Отсутствие в каталогах значений моментов инерции приводных электродвигателей приводит к необходимости экспериментального их определения.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Большинство работ, в которых рассматриваются вопросы экспериментального определения момента инерции электродвигателя, относятся к системам электропривода, когда одновременно измеряется и момент инерции системы [1,2] и анализируются различные методы (метод крутильных колебаний, метод маятниковых колебаний, метод падающего груза, метод свободного выбега). Например, авторы работы [1] останавливаются на методе свободного выбега, описывая установку для определения момента инерции. В основу расчета момента инерции по экспериментальной кривой скорости принято условие, что мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления, должна быть равна уменьшению во времени кинетической энергии электропривода:

$$P_0 = \frac{dA}{dt} = -\frac{d \frac{J\omega^2(t)}{2}}{dt} = -J\omega(t) \frac{d\omega(t)}{d(t)},$$

и

$$J = -\frac{P_0}{\omega \frac{d\omega}{dt}}, \quad (1)$$

где: P_0 - потери холостого хода в электроприводе при отключенном от источника питания электродвигателе.

Имея кривую $\omega(t)$ самоторможения и потери холостого хода при конкретной частоте вращения, согласно выражению (1) определяется J (величина $\omega \frac{d\omega}{dt}$ находится по кривой $\omega(t)$ для точки, в которой известны потери P_0). Для другой точки $\omega(t)$ значения P_0 и $\omega \frac{d\omega}{dt}$ могут быть другими, а, следовательно, получим другое значение J . Однозначный результат будет при $P_0 = \text{const}$ в любой точке кривой $\omega(t)$, что в первом приближении можно считать при определении значения J только двигателя. Для момента инерции электропривода такое допущение не является правомерным, и следует искать зависимость $J(\omega)$.

Работа [2] хотя и посвящена определению КПД асинхронных электродвигателей (АД), но путь лежал через анализ известных методов непосредственных определений вращающего момента на валу АД (статического, суммарного момента, квазистатического и динамического). Последний метод был выбран авторами, но при его реализации необходимо знание момента инерции вращающихся масс АД. Авторами предлагается метод “эталонного момента инерции”. Он реализуется следующим способом. АД запускается на холостом ходу до выхода на номинальную скорость, измеряется угловое ускорение:

$$\varepsilon_1 = \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

В режиме холостого хода (динамический момент при разгоне при $M_C = 0$

$$M(\omega) = J(\omega)\varepsilon_1(\omega), \quad (3)$$

где: $J(\omega)$ - зависимость момента инерции от угловой скорости с учетом потерь на трение в опорах.

Затем на остановленном АД устанавливают на валу элемент, обладающий эталонным моментом инерции J_S . АД запускается на холостом ходу и угловая скорость системы “выходной вал - эталонный элемент” доводится до номинальной.

В режиме холостого хода:

$$M(\omega) = [(J(\omega) + J_S)\varepsilon_2(\omega)], \quad (4)$$

где: $\varepsilon_2(\omega) = \frac{d\omega}{dt}$ - угловое ускорение системы “выходной вал – эталонный элемент” от угловой скорости.

При большей строгости записи уравнений (3) и (4) в правые части следует ввести M_{TR} , вызванный трением в опорах АД.

Так как в режиме холостого хода $M(\omega)$ всегда равен одной и той же величине, можно приравнять правые части уравнений (3) и (4) и определить:

$$J(\omega) = \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)} . \quad (5)$$

Здесь в отличие от работы [1] определяется значение $J(\omega)$ на этапе разгона АД от $\omega = 0$ до $\omega = \omega_{НОМ}$, не на этапе самоторможения, и подчеркивается, что зависимость J в функции $0 \leq \omega \leq \omega_{НОМ}$. Следует отметить, что в приведенных работах списка литературы рассматриваются методы определения момента инерции АД и момента инерции только электропривода в целом. Представляет практическую и теоретическую значимость решение вопросов экспериментального определения моментов инерции узлов “ротор АД-вал гидронасоса”, широко распространенных в гидроагрегатах (ГА) мобильных и стационарных машин, и не нашедших отражения в научно-технической литературе.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Современные ГА, включая и мехатронные [3], в качестве нагнетательного оборудования содержат насосные установки с приводным АД. Обеспечение высоких показателей качества рабочего процесса ГА в режиме разгона, торможения и реверса основано на исследовании его динамики на этапе проектирования путем разработки математической модели, адекватной натурному образцу. Важное место в модели отводится насосной установке, регулирование подачи которой обеспечивается частотным управлением АД.

В отличие от электропривода для построения с достаточной для практики точностью математической модели насосной установки необходимо располагать значениями момента инерции собственно АД.

РЕШЕНИЕ

Поставленную научно-практическую задачу с учетом современных аппаратных средств измерения и программных средств обработки экспериментальных данных можно решить следующим образом.

С учетом работ [1,2] момент инерции собственно ротора АД определим располагая экспериментальными кривыми вращающего момента $M_{ST}(t)$ при разгоне АД от 0 до номинальной угловой скорости $\omega_{НОМ}$ и кривой $\omega(t)$, а также

кривой момента от трения опор АД $M_{TR}(t)$, снятой в режиме самоторможения с номинальной скорости до нуля, согласно формулы:

$$J(t) = \frac{M_{ST}(t) - M_{TR}(t)}{\frac{d\omega(t)}{dt}}, \quad (6)$$

где: $\frac{d\omega(t)}{dt}$ - производная экспериментальной угловой скорости, полученной программным путем. Исключая программным путем параметр t из кривых $J(t)$ и $\omega(t)$ получаем $J(\omega)$ для режима разгона.

В режиме самоторможения:

$$J_{ST}(t) = -\frac{M_{TR}(t)}{\frac{d\omega_{ST}(t)}{dt}}, \quad (7)$$

где: $\frac{d\omega_{ST}(t)}{dt}$ - производная экспериментальной угловой скорости, полученная программным путем.

Аналогично предыдущему получаем $J_{ST}(\omega)$ и сравниваем с кривой $J(\omega)$.

Далее переходим к моделированию и обработке результатов натурального эксперимента с помощью пакета VisSim. Блок F:008 pop содержит экспериментальные кривые M_{C0} АД мод. АИР63В4У3 и частоты вращения n_8 в режиме самоторможения на выбеге, начиная с момента разгона АД вхолостую, выход на установившееся движение и режим самоторможения на выбеге. Блок F:008 pop-converted.dat обеспечивает ввод экспериментальной информации в пакет VisSim с согласованными масштабами 2.25 для M_{C0} и 510 для n_8 .

На рис.1. показаны зависимости M_{C0} , n_8^* , J_{ST}^* в интервале времени (2.38-4.725с), а так же кривая $J_{ST}^*(n_8^*)$. Этот интервал времени взят из экспериментальной кривой на более гладком участке выбега. Наличие негармонических колебаний более высокой частоты на кривых J_{ST}^* и $J_{ST}^*(n_8^*)$ чем частота колебаний на исходных экспериментальных кривых (на рис.2. не показаны) объясняются процессом дифференцирования. Среднее значение J_{ST}^* равно $7.41 \cdot 10^{-4} \text{ Нмс}^2$.

Перейдем к определению момента инерции АД на участке разгона. Программой VisSim используются те же блоки исходной экспериментальной информации, блоки, реализующие вычисление момента инерции J_R , блоки текущего времени. Логический блок и блок программного переключения, обеспечивают выбор той части экспериментальных кривых движущего момента M_8 и частоты вращения

n_8^* , где они более плавные. Поэтому ни один параметр M_8, n_8^* и расчетный - J_R не подвергаются сглаживанию. Дифференцирование n_8 выполняется аналогично определению J_{ST} с помощью реального дифференцирующего звена. Момент сопротивления при разгоне принят равным среднему значению 0.05Нм момента M_{C0} .

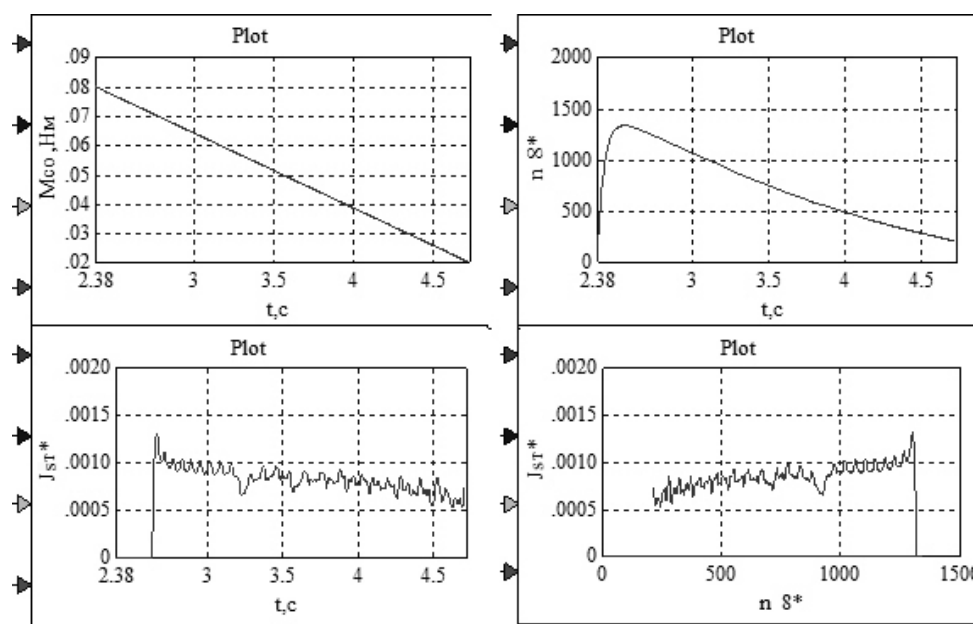


Рис.1. Кривые момента сопротивления (M_{C0}), частоты вращения (n_8^*), момента инерции АД (J_{ST}^*) и зависимости J_{ST}^* в функции n_8^* на участке самоторможения

Fig. 1. The curves of moment of resistance (M_{C0}), the rotation frequency (n_8^*), moment of inertia of IM (J_{ST}^*) and depending J_{ST}^* on the area of self-braking

На рис.2. изображены кривые M_8, n_8 в интервале времени 0.21-0.26 с; J_R^* и $J_R^*(n_8)$ в интервале времени 0.224-0.244 с. Среднее значение J_R^* равно $6.33 * 10^{-4} Нмс^2$.

Для определения экспериментальных данных M_8, n_8 был создан аппаратно-программный комплекс, схема которого изображена на рис.3. В состав комплекса входят: М- АД в балансирном исполнении; Н- насос; 1- первичный преобразователь момента; первичный преобразователь частоты вращения; АЦП- аналого-цифровой преобразователь; ПК- персональный компьютер.

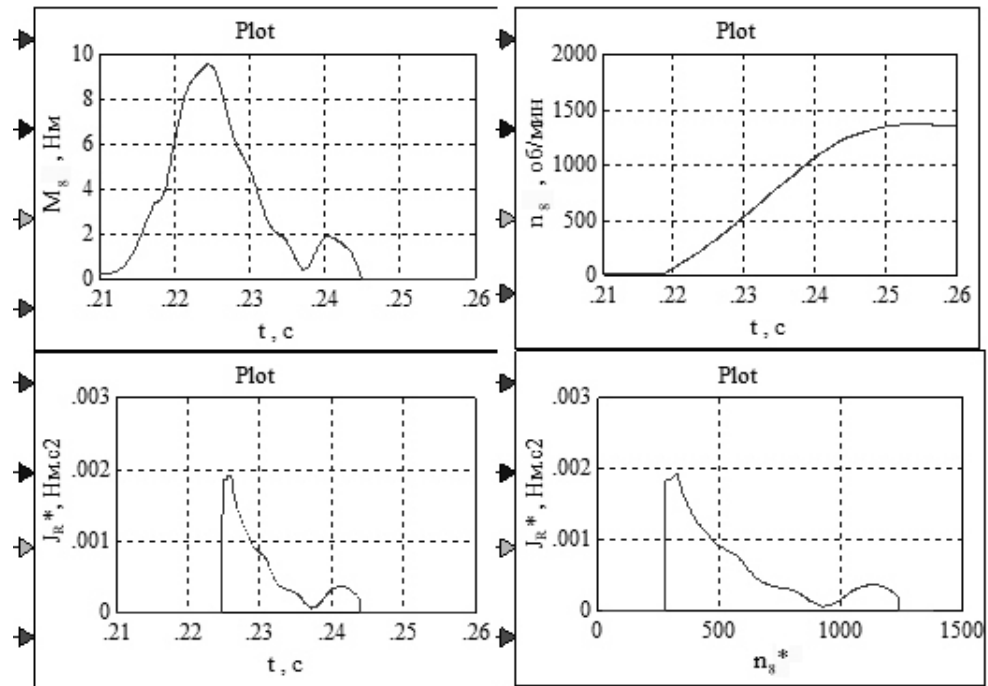


Рис.2. Кривые момента (M_8), частоты вращения (n_8), момента инерции АД (J_R^*) и зависимости J_R^* в функции n_8 на участке разгона

Fig. 2. The curves of moment of resistance (M_8), the rotation frequency (n_8), moment of inertia of IM (J_R^*) and depending J_R^* on area acceleration

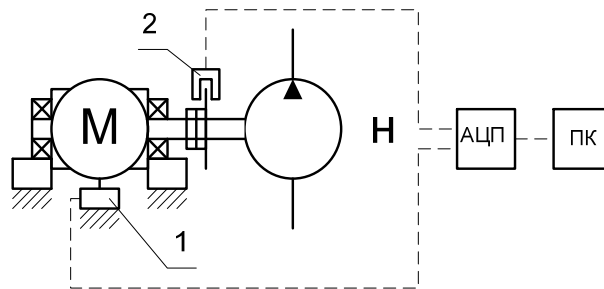


Рис.3. Аппаратно-программный комплекс для определения моментов инерции

Fig. 3. Hardware-software system to determine the moments of inertia

Наиболее точным и простым способом измерения крутящего момента на приводном валу является определение реактивного момента статора АД. Для реализации данного способа серийный АД был переоборудован в балансирное исполнение рис.4. Для этого на крышки подшипников 1 ротора 6 были установлены дополнительные фланцы 3 с подшипниками качения 2, закрепленные на стойках 4. Таким образом, статор АД подвешен и имеет возможность вращаться в сторону, противоположную направлению вращения ротора, и через рычаг 8, закрепленный на одной из крышек 1, и тягу 9 опираться на тензометрический измеритель усилия 10.

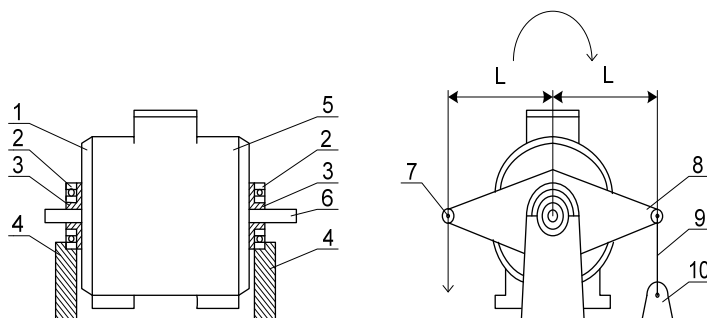


Рис.4. Балансирное исполнение АД
Fig. 4. Balancing performance of IM

Поскольку при работе АД момент на роторе равен моменту на статоре, то статор стремится повернуться на своих подшипниках. Измерение крутящего момента M на приводном валу сводится к измерению силы F , действующей на тензометрический измеритель усилия со стороны статора.

По известной силе F и длине рычага 8 вычисляется реактивный момент статора:

$$M = F \cdot L ,$$

где: L - расстояние между осью вращения статора и шарниром тяги 9 тензоизмерителя 10.

Рычаг 8 выполнен равнобедренным. Второе плечо 7 используется при калибровке измерителя в статическом режиме для подвешивания тарированного груза.

Принцип действия тензоизмерителя силы основан на использовании тензоэффекта в полупроводниках. Упрощенная схема показана на рис.5. Чувствительным элементом служит сапфировая мембрана с кремниевыми тензорезисторами. Она по всей плоскости жестко соединена с металлической мембраной, образуя с ней двухслойную мембрану с жестким центром, переходящим в рычаг. Под действием измеряемой силы мембрана деформируется, вызывая изменение сопротивления тензорезисторов, собранных в мостовую схему. Конструкция тензоизмерителя силы позволяет исследовать знакопеременный закон изменения воздействующего усилия.

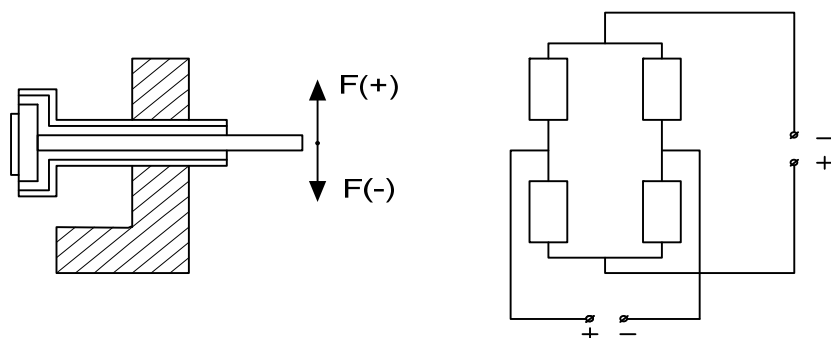


Рис.5. Измеритель момента тензометрический

Fig. 5. Tenzo sensor of force

При соответствующей тарировке и при увеличении коэффициента усиления нормирующего усилителя появляется возможность фиксировать отрицательную величину тормозного момента на статоре.

Порядок проведения натурного эксперимента следующий. Производится запуск АД выходит на номинальную частоту вращения и далее на установившейся режим. Затем отключается напряжение питания и АД переходит в режим самоторможения. При этом с помощью первичных преобразователей и измерительного комплекса производится фиксация разгонно-тормозных графиков момента и частоты вращения и создание файлов типа F:\008 por.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемый программно-аппаратный комплекс позволяет фиксировать экспериментальные разгонно-тормозные кривые моментов и частоты вращения, открывает возможность определять натурные значения движущих моментов, моментов инерции как собственно АД, так и узла “АД-насос” в целом.

2. Рассматривая разгон и самоторможение, определены значения J . Так на этапе разгона для АД мод. АИР63В4У3 среднее значение равно $7.46 \cdot 10^{-4} (н \cdot м)$, а на этапе самоторможения $6 \cdot 10^{-4} (н \cdot м)$, различие значений которых обеспечивает достаточную для практики точность. Следует отметить, что полученные значения J для АД мод. АИР63В4У3 близки к значению J , например, иностранного АД мод. RA71V4 $8 \cdot 10^{-4} (н \cdot м)$.

3. Предлагаемая методика определения J при разгоне и на участке самоторможения может быть использована и для других АД, входящих в состав гидроагрегатов мобильных и технологических машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насосы объемные гидроприводов. Правила приемки и методы испытаний. ГОСТ 14658-86.-М.: Издательство стандартов, 1987.
2. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. ГОСТ 11828-86.- М.: Издательство стандартов, 1986.
3. Машины электрические вращающиеся. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия. ГОСТ 25941-83.- М.: Издательство стандартов, 1984.
4. Определение момента инерции электропривода методом свободного выбега. Методические указания к лабораторной работе / Сост. А.П. Желтоногов, Л.Б. Иванов; Волгоград. гос. техн. ун-т.- Волгоград, 2001.-19с.
5. Егоров А.В., Белогусев В.Н., Дмитриев С.В.: Определение коэффициента полезного действия асинхронных электрических машин с помощью эталонного момента инерции.- Изв. Самарск. науч. Центра РАН,- 2010.- т.12.- N 1(2).- С.349-352.
6. Патент на корисну модель № 46325 (Україна) МПК (2009)F15B9/00. Мехатронний гідроагрегат з гібридним керуванням виконавчим механізмом / Федоренко І.М., Лур'є З.Я., Батлук В.А. Опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.
7. Герман-Галкин С.Г. : Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие.-СПб: Корона принт, 2007.-315 с.
8. Машиностроительный гидропривод / Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, В.Н. Прокофьев и др.– М.: Машиностроение, 1978. – 495 с.
9. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.
10. Хохлов В.А., Прокофьев В.Н., Борисова Н.А. и др. : Электрогидравлические следящие системы. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.
11. Лурье З.Я., Лищенко И.Г., Федоренко И.М. Динамические характеристики гидроагрегата с переменной нагрузкой и регулируемым приводящим электродвигателем насосной установки // Промислова гідроліка і пневматика, 2009. – № 3(25). – С.77-83.
12. Дорф Р. К., Бишоп Р. Х. : Современные системы управления / Перевод с английского Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
13. Изерман Р. :Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 542 с.
14. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Т. 3, 2004. – 616 с.
15. Гидравлические и пневматические силовые системы управления / Дж. Ф. Блекборн, Г. Ритхоф, Дж. Л. Шерер. Под ред. Дж. Ф. Блекборна: Пер. с англ. – М.: Иностран. лит., 1962. – 614 с.
16. Коробочкин Б.Л. Динамика гидравлических систем станков. – М.: Машиностроение, 1976. – 240 с.
17. Попов Д.Н. : Динамика и регулирование гидросистем. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.

-
18. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / И.И. Бажин, Ю.Г. Беренгард и др. под ред. С.А. Ермакова. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.
 19. Лурье З., Федоренко И. : Исследование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата системы смазки металлургического оборудования с учетом характеристик двухфазной жидкости // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2010. – Vol. 12 С. 10 – 25.
 20. Тихенко В.Н. : Разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки // Промислова гідроліка і пневматика. – 2006, № 1 (11). – С. 84 – 86.

HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM TO DETERMINE THE MOMENTS OF INERTIA MECHATRONIC AGGREGATE

Annotation. The article discusses the methodology for determining the moments of inertia of mechatronic hydro oil system and the numerical values obtained by experimental means. These parameters are used in the study of dynamic characteristics and transient.

Key words: mechatronic aggregate, moments of inertia, the method of determining.

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НЕЛИНЕЙНОГО ГИДРОАГРЕГАТА МОБИЛЬНЫХ МАШИН ПУТЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Зиновий Лурье, Евгений Цента

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Аннотация. В статье обсуждаются вопросы динамической компенсации инерционных свойств рабочих органов мобильных машин, оснащенных гидроагрегатами. На примере нелинейного гидроагрегата навесного оборудования трактора предложена методика динамической компенсации, позволившая улучшить рабочий процесс в неустановившемся режиме в части существенного снижения пульсаций скорости перемещения штока гидроцилиндра и давлений жидкости в различных точках.

Ключевые слова: гидроагрегат, динамическая компенсация, параметрическая оптимизация, рабочий процесс, показатели качества.

ВВЕДЕНИЕ

В мировой и отечественной практике создания технологического оборудования четко определилась тенденция по пути внедрения более совершенных гидроагрегатов (ГА), включающих средства вычислительной техники, в том числе микропроцессорные блоки, программируемые контроллеры, ЭВМ. Такое развитие ГА направлено на обеспечение современных требований к созданию и эксплуатации оборудования. Это в свою очередь связано с необходимостью улучшения статических и динамических характеристик, т.е. рабочего процесса ГА.

Наличие микропроцессорных блоков, программируемых командоаппаратов, ЭВМ открывает возможность:

- уменьшить число гидроустройств, в том числе для формирования местных и главной обратных связей;
- реализовать на основе разработки укрупненных и более полных математических моделей программными средствами различные законы управления, повышающие показатели качества рабочих процессов;
- поставить, решить и реализовать задачи оптимизации параметров для параметрически оптимизируемых и компенсационных (корректирующих) устройств, способствующих повышению технического уровня ГА и соответственно технологического оборудования.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Один из современных подходов к постановке и решению задач оптимизации и синтеза систем управления сформулирован в работе [1]. Применительно к гидроагрегатам технологического оборудования схема этапов синтеза изображена на

рис. 1. Фактически центральным пунктом синтеза корректирующих устройств является обоснованный выбор устройства и параметрическая оптимизация, в ходе которой определяется совокупность параметров, доставляющая экстремум критерию оптимизации.

Для регуляторов (корректирующих устройств), применительно только к линейным системам, в теории автоматического управления разработаны методы синтеза непрерывных и дискретных систем. К числу таких устройств относятся параметрически оптимизируемые ПИ и ПИД-регуляторы. Известна целесообразность их применения для многоконтурных, нелинейных компьютерных систем управления частотой вращения ротора гидротурбин большой мощности, включающих механические, гидравлические и электрические элементы [2 – 5].



Рис. 1. Схема этапов синтеза
Fig. 1. Scheme of synthesis stages

В теории линейных систем разработаны также методы синтеза регуляторов (устройств), основанных на задании желаемых передаточных функций (ПФ), связанных с расположением корней характеристического уравнения замкнутой системы [1]. Существуют различные подходы к выбору этих корней. Если все корни

выбираются одинаковыми, причем действительными и равными, то характеристическое уравнение n -го порядка обращается в бином Ньютона. Соответствующие стандартные формы получили название биномиальных. Известны стандартные формы Баттерворта и формы на основе интеграла от взвешенного модуля ошибки управления. Это позволило проектировать для линейных систем компенсационные регуляторы – дополнительные устройства, включаемые обычно последовательно с объектом управления и обеспечивающие в замкнутой системе выполнение необходимых требований к характеру переходного процесса [6].

На рис. 2 показана замкнутая линейная система управления с компенсационным устройством в прямой цепи.

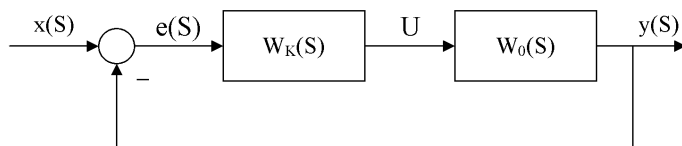


Рис. 2. Структурная схема замкнутой системы с ПФ компенсатора

Fig. 2. Structural diagram of closed-loop system with the compensator transfer function

Передаточные функции объекта управления и компенсатора обозначены через W_0 и W_k .

В соответствии с требованиями к характеру переходного процесса задается желаемая ПФ замкнутой системы $W_{ZAM}(S)$:

$$W_{ZAM}(S) = \frac{y(S)}{x(S)} = \frac{W_0(S)W_k(S)}{1 + W_0(S)W_k(S)},$$

а затем рассчитывается ПФ компенсатора :

$$W_k(S) = \frac{1}{W_0(S)} \cdot \frac{W_{ZAM}(S)}{1 - W_{ZAM}(S)}. \quad (1)$$

Здесь S – оператор Лапласа.

Если ПФ объекта и замкнутой системы заданы в общем виде:

$$W_0(S) = \frac{C_0}{b_0 S^r + b_1 S^{r-1} + \dots + b_{r-1} S + 1}, \quad (2)$$

$$W_{ZAM}(S) = \frac{\alpha_0}{S^n + \alpha_1 S^{n-1} + \dots + \alpha_{n-1} S + \alpha_0}, \quad (3)$$

то ПФ компенсатора, вычисленная по формуле (1) с учетом (2) и (3), имеет вид:

$$W_K(S) = \frac{\alpha_0(b_0 S^r + b_1 S^{r-1} + \dots + b_{r-1} S + 1)}{(S^n + \alpha_1 S^{n-1} + \dots + \alpha_{n-1} S) C_0}. \quad (4)$$

Условие физической реализуемости ПФ компенсатора состоит в том, что $n \geq r$. Из сравнения формул (2) и (4) следует, что введение компенсатора как бы снижает порядок дифференциального уравнения объекта, а следовательно, обеспечивает динамические характеристики согласно выбранной стандартной форме.

Таким образом, синтез линейной системы с применением компенсационного устройства выполняется без параметрической оптимизации, а его ПФ определяется по заданной желаемой ПФ замкнутой системы и ПФ объекта управления в общем случае с помощью ЭВМ.

В монографии [7] сформулированы общие принципы динамической компенсации, основным содержанием которых является возможность не учитывать динамику объекта при синтезе компенсационного (корректирующего) устройства (КУ). В основе первого принципа лежит условие точного равенства оператора A замкнутой системы эталонному оператору A^E , из которого следует формула оператора КУ:

$$A_{KY} = A_0^{-1}(1 - A^E)^{-1} A^E, \quad (5)$$

где: A_0^{-1} – обратный оператор объекта.

В выражении (5) A^E и A_0 известны, и следовательно, принципиально возможен расчет A_{KY} в соответствии с рассматриваемым принципом полной компенсации динамики объекта. Схема рис. 3 иллюстрирует процесс компенсации.

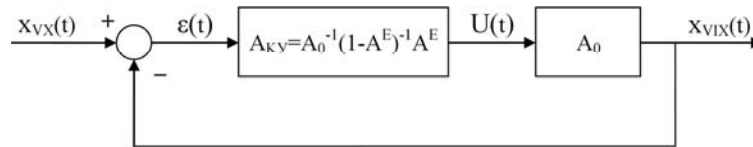


Рис. 3. Схема синтезированной системы
Fig. 3. Scheme of synthesized system

Из схемы (рис. 3) оператор A_p разомкнутой системы определяется формулой $A_p = A_0^{-1}(1 - A^E)^{-1} A^E A_0$, и равенство оператора замкнутой системы эталонному оператору обеспечивается компенсацией влияния на A^E оператора объекта A_0 за счет наличия обратного оператора A_0^{-1} .

Здесь оператор определяется как математическая зависимость, которая ставит в соответствие каждой функции $x_{vx}(t)$ из заданного класса функций X_{vx}

функцию $x_{vix}(t)$ из класса функций X_{vix} . Функции $x_{vix}(t) \in X_{vix}$ называются образами оператора, а функции $x_{vix}(t) \in X_{vix}$ – его прообразами [7].

Если известна передаточная функция линейной стационарной системы (в том числе и обратная), то по ней можно найти обратный оператор. Однако, в большинстве случаев математические модели объектов задаются приближенно и сколь-нибудь точная компенсация динамики объекта труднодостижима. При этом содержание большого числа инженерных методов синтеза регуляторов сводится к той или иной форме аппроксимации соотношения (1), но не его точной реализации. В основе второго принципа лежит следующая идея: задается оператор КУ, зависящий от параметров r_1, r_2, \dots, r_m , т.е. $A_{KY}(r_1, r_2, \dots, r_m)$; задаются эталонное управляющее воздействие $x_{vix}^E(t)$ и эталонная реакция на это воздействие $x_{vix}^E(t)$. Проблема синтеза состоит в определении таких значений параметров $r_1^*, r_2^*, \dots, r_p^*$, которые обеспечили бы близость в известном смысле, реального выходного сигнала $x_{vix.P}(t, r_1, r_2, \dots, r_m)$ и эталона $x_{vix}^E(t)$.

Для реализации данного принципа необходимо знать обратный оператор замкнутой системы, явно зависящий от параметров КУ. Это чрезвычайно сложная задача, решение которой возможно в исключительно простых случаях. Практически необходимо использовать численные методы решения дифференциальных уравнений. Третий принцип состоит в том, что в основе решения задачи лежит условие достижения приближенного, в известном смысле, равенства правой и левой частей операторного уравнения замкнутой системы за счет выбора параметров КУ. Достоинство последнего подхода состоит в том, что он не требует нахождения обратного оператора. Это – принципиальное упрощение задачи. Этот принцип по рекомендации работы [7] можно применить к широкому классу систем, включая линейные нестационарные и нелинейные системы, системы с запаздыванием и т.д.

Настоящая статья посвящена обсуждению вопроса динамической компенсации инерционных свойств гидроустройств и исполнительного органа технологической машины с целью улучшения показателей качества рабочего процесса гидроагрегата. При этом используется третий принцип динамической компенсации [7] и динамика исполнительного органа мобильной машины, а в качестве примера рассматривается нелинейный гидроагрегат навесного оборудования трактора (ГА НО).

Укрупненная функциональная схема ГА НО показана на рис. 4.

Входным воздействием на ГА является сигнал с пульта управления машиниста, а выходом перемещение штоков ГЦ (перемещение НО). ГА представляет собою динамическую систему, которая в процессе выполнения вспашки, боронования и других операций по обработке земли испытывает управляющие и возмущающие воздействия, приводящие к постоянным переходным процессам.

Математическая модель ГА НО является нелинейной и изложена в работах [8 – 11]. Исследование модели в режиме положения показали, что переходные процессы скорости перемещения v_z штока ГЦ, давления p_H на выходе насосной установки, давление p_1 в нагнетательной полости ГЦ имеют существенно колебательный характер. На рис. 5 показаны кривые v_z , p_H и p_1 при подъеме НО (вес $G = 5000$ Н, масса $m_{НО} = 510$ кг, приведенная масса к оси ГЦ – 8160 кг), которые подтверждают низкие показатели качества рабочего процесса.

С увеличением веса НО начальные пики давления p_H превышают не только настройку предохранительного клапана, но и максимально допустимое давление для насосной установки.

В процессе разгона и выхода на установившееся движение колебательный характер скорости v_z связан с взаимным переходом кинетической энергии, обусловленной в основном массой НО, в потенциальную энергию сжимаемого объема РЖ и наоборот. В связи с этим возникает важная научно-практическая задача, решение которой направлено на снижение пульсаций скорости v_z , а следовательно, и давлений p_H и p_1 .

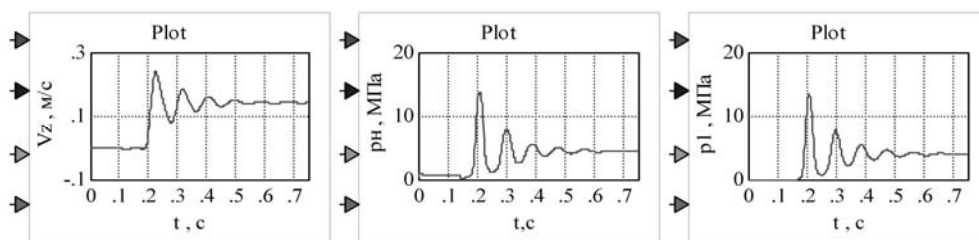


Рис.5. Осциллограммы скорости перемещения штока гидроцилиндра, давлений рабочей жидкости на выходе насоса и в нагнетательной полости гидроцилиндра при моделировании ГА без КУ в режиме подъема НО на высоту $y_3 = 0,1$ м и выхода на установившееся движение НО (при $G = 5000$ Н, $m_{НО} = 510$ кг)

Fig. 5. Oscillograms of motion velocity of hydraulic cylinder rod, of the working liquid pressure in the pump outlet and in hydraulic pumping cavity during the design of hydraulic unit without the compensating device in condition of mounting equipment lifting on height of $y_3 = 0,1$ m and of reaching of the steady motion of mounting equipment (for $G = 5000$ Н, $m_{НО} = 510$ кг)

На основании вышеизложенного примем к исследуемому ГА НО третий принцип динамической компенсации. Исходя из структуры ГА НО, где прямая цепь включает последовательно соединенные звенья: ПИД – ЭУМ – ЭГП – ГР и ГЦ, введем после ПИД КУ с ПФ вида:

$$W_K(S) = \frac{U_y(S)}{U_{PID}(S)} = \frac{K_1 S^3 + K_2 S^2 + K_1 S + K_4}{b_0 S^3 + b_1 S^2 + b_2 S + 1}, \quad (6)$$

сигнал на выходе которого приближенно оказывает компенсирование инерционных свойств элементов ГА и в первую очередь массу НО. ПФ (6) представляет собою реальное дифференцирующее звено третьего порядка, $K_1 - K_4$ – искомые коэффициенты, определяемые при параметрической оптимизации, $b_0 - b_2$ – малые числа, незначительно искажающие дифференцирующее действие звена.

Выбор ПФ третьего порядка обусловлен тем, что с определенной погрешностью нелинейную модель ГА НО, описываемую дифференциальным уравнением высокого порядка, можно приближенно представить дифференциальным уравнением 3 – 4 порядка. Если выбор значений $b_0 - b_2$ не представляет затруднений, то определение $K_1 - K_4$ связано с постановкой и решением следующей оптимизационной задачи. Задана желаемая кривая скорости $v_{ZEL}(t)$ при подъеме НО и выходе на установившееся движение. Следует определить путем параметрической оптимизации значения $K_1 - K_4$ такими, при которых критерий:

$$I = \frac{\int_0^{t_k} |v_Z(t) - v_{ZEL}(t)| dt}{\int_0^{t_k} v_{ZEL}(t) dt} \cdot 100, \% , \quad (7)$$

будет стремиться к минимуму.

Здесь $v_Z(t)$ – модельная кривая скорости, $v_{ZEL}(t)$ – желаемая кривая скорости, один из вариантов определения которой рассматривается дальше. В целом, критерий (7) представляет относительную интегральную оценку близости кривых v_Z и v_{ZEL} за время переходного процесса t_k и численно равен отношению разности площадей под кривыми $v_Z(t)$ и $v_{ZEL}(t)$, деленному на площадь под кривой $v_{ZEL}(t)$.

Рассмотрим более подробно вопрос выбора кривой $v_{ZEL}(t)$. В ряде случаев желаемая кривая принимается в виде экспоненты как аксиома. Здесь поступим иначе. Имеется кривая v_Z , полученная при моделировании без КУ, при $G = 5000$ Н и $m_{HO} = 510$ кг в интервале времени от 0 до 0,75 с и относительно ее найдем $v_{ZEL}(t)$, как плавную, понижающую колебания, кривую. Поставим частную оптимизационную задачу, в которой $v_{ZEL}(t)$ представлена решением следующего дифференциального уравнения с нулевыми начальными условиями:

$$a_0 \frac{d^2 v_{ZEL}(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dv_{ZEL}(t)}{dt} + a_2 v_{ZEL}(t) = K, \quad (8)$$

где: $a_0 - a_2$ – совокупность коэффициентов, доставляющая минимум критерию (7).

Используя формулу (7) принимаем, что $v_z(t)$ одна и та же кривая рис. 5 при каждом шаге оптимизации, v_{ZEL} – при каждом шаге оптимизации переменная до момента, когда $I \rightarrow \min$. Величина K – константа, определяемая до оптимизации из условия, что $v_z(t_K) = v_{ZEL}(t_K)$ при $a_2 = 1$.

В табл. 1 показаны результаты параметрической оптимизации поиска коэффициентов $a_0 - a_2$ желаемой кривой $v_{ZEL}(t)$ при начальных значениях $a_0 = 8,7 \cdot 10^{-6}$, $a_1 = 2,5 \cdot 10^{-3}$, $a_2 = 9,17 \cdot 10^{-2}$, $K = 1,34$.

Таблица 1. Результаты параметрической оптимизации при определении коэффициентов уравнения (8)

Table 1. Results of parameter optimization for determination of coefficients of equation (8)

№ желаемой кривой	Коэффициенты уравнения (8) после оптимизации			Значение критерия, %	Число итераций	Метод оптимизации	Шаг интегрирования Δ , с	Время интегрирования t_K , с
	a_0^0	a_1^0	a_2^0					
v_{ZEL}	$1,26 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$9,17 \cdot 10^{-2}$	11,7	317	Fletcher	$9 \cdot 10^{-6}$	0,75

В табл. 2 показаны значения $K_1^0 - K_4^0$ оптимального КУ с критерием равным 1,73 %.

На рис. 6 показаны желаемая кривая v_{ZEL} , а также исходная кривая v_z (без КУ) (рис. 5), относительно которой осуществлялся поиск v_{ZEL} , и кривая v_z с КУ согласно уравнению (6).

Ввод КУ обеспечил существенное уменьшение значения первого пика и в целом значительно улучшил показатели качества рабочего процесса ГА НО.

При постановке этой задачи не предполагалось, что будет достигнут такой эффективный результат в нелинейной системе.

Таблица 2. Результаты поиска оптимальных значений параметров компенсационного устройства при $G = 5000$ Н, $m_{НО} = 510$ кг и $y_3 = 0,1$ м

Table 2. Results of searching for the parameter optimal values of the compensating device (for $G = 5000$ Н, $m_{НО} = 510$ kg and $y_3 = 0,1$ m)

Оптимальные значения				I , %	Число итераций	Метод оптимизации	Дискретность, Δ , с	Время интегр. каждой итерации, с	Начальные значения			
K_1^0	K_2^0	K_3^0	K_4^0						K_{10}	K_{20}	K_{30}	K_{40}
$2,364 \cdot 10^{-3}$	$8,435 \cdot 10^{-3}$	$2,65 \cdot 10^{-2}$	0,635	1,73	127	Powell	$9 \cdot 10^{-5}$	0,75	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,6

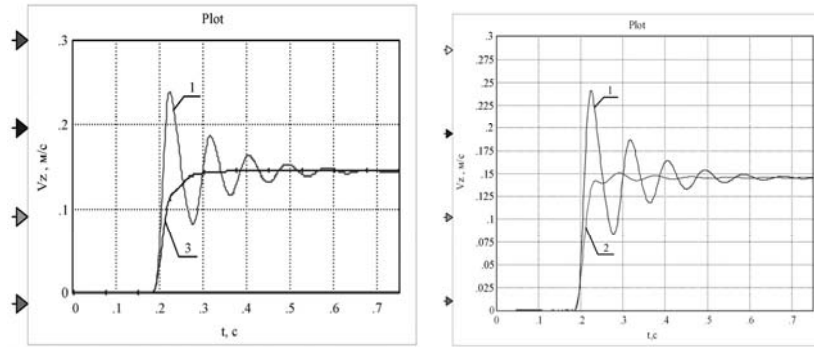


Рис. 6. Кривые скорости штока гидроцилиндра при подъеме и выходе на установившееся движение НО и желаемая скорость при $G = 5000$ Н и $m_{HO} = 510$ кг:

- 1 – при моделировании ГА НО без компенсационного устройства (рис. 5);
2 – с КУ согласно уравнению (6); 3 – желаемая v_{ZEL}

Fig. 6. Curves of the rod motion velocity of hydraulic cylinder during the lifting and reaching of the mounting equipment steady motion and desired velocity for $G = 5000$ Н and $m_{HO} = 510$ кг : 1 – during the design of hydraulic unit mounting equipment without the compensating device (fig. 5); 2 – with the compensating device according to equation (6); 3 – desired v_{ZEL}

Учитывая, что ММ исследуемого ГА НО является нелинейной, определим оптимальные параметры $K_1^0 - K_4^0$ при других значениях G и m_{HO} : при 15000 Н, 1529 кг.

В табл. 3 показаны результаты поиска оптимальных значений КУ, а на рис. 7 соответствующие кривые.

Оптимальные параметры $K_1^0 - K_4^0$ разнятся при изменениях G от 5000 до 15000 Н и m_{HO} от 510 до 1529 кг (табл. 2 и 3), но результат один и тот же: введение КУ обеспечивает существенно улучшенные показатели качества рабочего процесса, в данном случае, в режиме подъема и выхода на установившееся движение.

Таблица 3. Результаты поиска оптимальных значений параметров компенсационного устройства при $G = 15000$ Н, $m_{HO} = 1529$ кг и $y_3 = 0,1$ м

Table 3 Results of searching for the parameter optimal values of the compensating device for $G = 15000$ Н, $m_{HO} = 1529$ kg and $y_3 = 0,1$ m

Значения $G, \text{Н} /$ $m_{HO}, \text{кг}$	Оптимальные значения				$I, \%$	Число итераций	Метод оптимизации	Дискретность, $\Delta, \text{с}$	Время интгр. каждой итерации, с	Начальные значения			
	K_1^0	K_2^0	K_3^0	K_4^0						K_{10}	K_{20}	K_{30}	K_{40}
15000/ 1529	$3,38 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,68 \cdot 10^{-2}$	0,49	4	68	Powell	$9 \cdot 10^{-5}$	0,75	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	0,01	0,5

На рис. 8 в качестве примера показаны кривые переменных v_z , p_H и p_1 , что в сравнении с аналогичными кривыми рис. 5 подтверждает эффективность динамической компенсации.

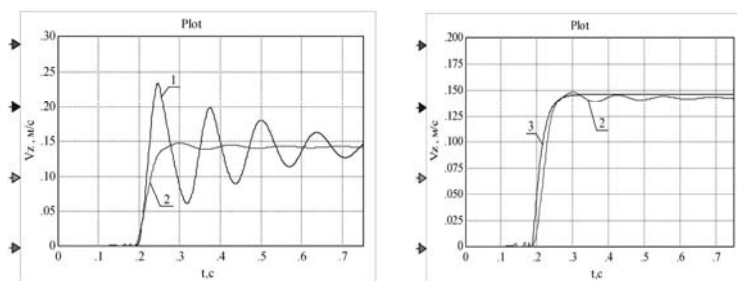


Рис. 7. Кривые скорости перемещения штока гидроцилиндра при моделировании ГА в режиме подъема и выхода на установившееся движение НО и желаемая скорость при $G = 15000$ Н и $m_{HO} = 1529$ кг:

1 – без КУ; 2 – с КУ согласно уравнению (6); 3 – v_{ZEL}

Fig. 7. Curves of the rod motion velocity of hydraulic cylinder during the hydraulic unit design in conditions of lifting and reaching of the mounting equipment steady motion and desired velocity for $G = 15000$ Н and $m_{HO} = 1529$ kg : 1 – without the compensating device;

2 – with the compensating device according to equation (6); 3 – v_{ZEL}

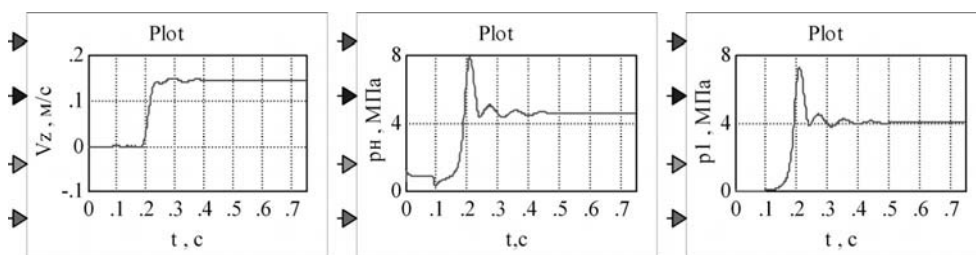


Рис. 8. Осциллограммы скорости перемещения штока гидроцилиндра, давлений рабочей жидкости на выходе насоса и в нагнетательной полости гидроцилиндра при моделировании ГА с КУ в режиме подъема и выхода на установившееся движение НО (при $G = 5000$ Н и $m_{HO} = 510$ кг)

Fig. 8. Oscillograms of motion velocity of hydraulic cylinder rod, of the working liquid pressure in the pump outlet and in hydraulic pumping cavity during the design of hydraulic unit with the compensating device in condition of lifting and reaching of the steady motion of mounting equipment (for $G = 5000$ Н , $m_{HO} = 510$ kg)

ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ литературных источников показал, что в теории линейных систем разработаны принципы, позволяющие скомпенсировать существенные

инерционные свойства объекта управления и реализовать желаемые переходный процесс с улучшенными показателями качества.

2. Среди сформулированных общих принципов динамической компенсации предложен принцип неполной компенсации, связанный с приближенным равенством правой и левой частей операторного уравнения замкнутой системы за счет выбора параметров компенсационного устройства. Этот принцип применим для широкого класса систем, в том числе и нелинейных.

3. Обоснован выбор вида передаточной функции компенсационного устройства для нелинейного ГА НО и предложена методика определения его оптимальных параметров на основе относительной интегральной оценки близости модельной кривой скорости перемещения штока гидроцилиндра и желаемой кривой.

4. Выполненные исследования математической модели ГА НО, как нелинейной замкнутой системы, с вводом в прямую цепь компенсатора позволили улучшить рабочий процесс в части существенного снижения пульсации скорости перемещения штока гидроцилиндра, а следовательно, навесного оборудования, давлений РЖ на выходе насосной установки и в нагнетательной полости гидроцилиндра.

5. Предложенная методика динамической компенсации может быть использована и для других гидроагрегатов различных мобильных машин с существенными инерционными свойствами рабочего органа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорф Р. К., Бишоп Р. Х.: Современные системы управления / Перевод с английского Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
2. Жерняк А. И., Лурье З. Я., Дмитерко В. Н.: Компьютерная система регулирования скорости гидротурбины // Вестник НТУ «ХПИ». Технологии в машиностроении. – 2001. – № 7. – С. 90 – 92.
3. Лурье З. Я., Бездетко В. Н., Дмитерко В. Н. и др. : Система управления частотой вращения ротора гидротурбины, пути ее развития // Проблемы машиностроения. – 2003. – Т 6. – № 2. – С. 26 – 36.
4. Лурье З. Я., Дмитерко В. Н. : Оптимизация параметров ПИД-регулятора системы управления частотой вращения ротора гидротурбины // Вестник НТУ «ХПИ». Энергетические и технологические процессы и оборудование. – 2003. – № 9. – С. 118 – 123.
5. Лурье З. Я., Дмитерко В. Н., Лищенко И. Г. : Оптимизация параметров устройства управления частотой вращения ротора гидротурбины // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 5/2 (23). – С. 7 – 9.
6. Изерман Р. : Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 542 с.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Т. 3, 2004. – 616 с.
8. Лурье З. Я., Цента Е. Н. : Математическая модель узла «электрогидравлический преобразователь – золотник гидрораспределителя» гидроагрегата навесного оборудования трактора // Промислова гідроліка пневматика. – 2007. – № 3 (17). – С. 96 – 98.
9. Лурье З. Я., Цента Е. Н. : Математическая модель узла «гидрораспределитель –

- гидроцилиндр» гидроагрегата навесного оборудования трактора // Вісник Східноукраїнського університету Володимира Даля. – 2007. – Ч. 2. – № 3 (109). – С. 89 – 93.
10. Лурье З. Я., Цента Е. Н. : Математическая модель клапана давления гидроагрегата с чувствительностью к нагрузке // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета / Сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – Вып. 38. – С. 200 – 203.
 11. Лурье З. Я., Макей В. А., Цента Е. Н. : Математическое моделирование динамики гидроагрегата навесного оборудования трактора // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №2/4 (32). – С. 36 – 41.
 12. Первозванский А. А. : Курс теории автоматического управления. – М.: Наука, 1986. – 616 с.
 13. Иванов Г. М., Ермаков С. А., Коробочкин Б. Л., Пасынков Р. М. : Проектирование гидравлических систем машин. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.
 14. Теория автоматического регулирования. Теория нестационарных, нелинейных и самонастраивающихся систем автоматического регулирования / под. ред. В. В. Солодовникова. – М.: Машиностроение. – Кн. 3, ч. II. – 1969. – 367 с.
 15. Лурье З. Я., Цента Е. Н. : Динамические характеристики электрогидравлического преобразователя гидроагрегата навесного оборудования трактора // Промислова гідроліка і пневматика. – 2008. – № 2 (20). – С. 87 – 92.
 16. Лурье З. Я., Макей В. А., Лищенко И. Г., Цента Е. Н. : Исследование динамических характеристик гидроагрегата навесного оборудования трактора // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Осроградського. – 2007. – Ч. 2. – №2/2008 (49). – С. 89 – 91.
 17. Попов Д. Н.: Нестационарные гидромеханические процессы. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.
 18. Лурье З. Я. : Оптимизация параметров гидроагрегата навесного оборудования трактора по динамическому критерию / Панченко А. И., Макей В. А., Цента Е. Н. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2008. – Вып. 8 – Т. 8. – С. 3 – 15.
 19. Джон Траксел. : Синтез систем автоматического регулирования / Перевод с английского А. М. Егорова. – М.: Машгиз, 1959. – 614 с.

IMPROVEMENT OF INDICATORS OF WORKING PROCESS QUALITY OF MOBILE MACHINES NON-LINEAR HYDRAULIC UNIT BY MEANS OF DYNAMIC COMPENSATION

Summary. Problems of dynamic compensation of working units inertial characteristics of mobile machines, equipped with hydraulic units are discussing in article. Methods of dynamic compensation, allowed the improving of the working process in non-established conditions in part of the essential reduction of the motion velocity pulsation of hydraulic cylinder rod and of the liquid pressure in the different points are proposed on the example of non-linear hydraulic unit of the tractor hang equipment.

Key words: hydraulic unit, dynamic compensation, parameter optimization, working process, indicators of quality.

ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОАГРЕГАТОВ С ВИХРЕВЫМИ И СТРУЙНО-РЕАКТИВНЫМИ ТУРБИНАМИ

Сергей Ванеев, Зельман Финкельштейн*

Сумский государственный университет

*Донбасский государственный технический университет

Аннотация. Определены области рационального использования пневмодинамических агрегатов с вихревыми и струйно-реактивными турбинами, определены значения коэффициента комплексной мощности для этих турбин.

Ключевые слова: пневмоагрегат, струйно-реактивная турбина, вихревая турбина, коэффициент комплексной мощности.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих областях техники используются пневмоагрегаты относительно небольших мощностей и расходов, в частности, пневмодинамические агрегаты, в которых преобразование энергии сжатого воздуха, газа или пара в энергию выходного звена происходит в турбинах. Области их применения постоянно расширяются, и это мировая тенденция.

В 2000 г. В США был разработан стратегический план развития малых локальных энергоустановок [15]. Речь идет о малых энергоустановках мощностью от 25 до 1000 кВт и до 20 МВт. Предполагается поднять КПД энергоустановок на базе газовых турбин мощностью от 25 до 1000 кВт с существующего уровня 25-30 % до 40 %, обеспечить межремонтный ресурс 11000 ч, срок службы 45000 ч и получить их удельную стоимость ниже 500 долл/кВт.

Целью предлагаемой работы является оценка струйно-реактивных и вихревых турбин и агрегатов на их основе с точки зрения коэффициента комплексной мощности и определение областей их рационального применения.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Применяемые в настоящее время в различных пневмоагрегатах и энергоустановках малорасходные (маломощные, малоразмерные) центробежные и осевые турбины имеют КПД 20-70% [1], 10-50% [16]. Эти турбины имеют ряд специфических особенностей рабочего процесса, которые необходимо учитывать при выборе основных параметров, расчетах и проектировании. Часто требования простоты конструкции, габаритные ограничения приводят к необходимости применения турбин активного типа в одновенечном или двухвенечном исполнениях, с повышенными нагрузками на ступень или с

пониженными значениями приведенной окружной скорости u/c_s (отношение окружной скорости на наружном диаметре рабочего колеса u к скорости изэнтропного истечения c_s).

В работах [1], [16] сформулированы некоторые общие принципы оценки эффективности маломощных турбин для привода агрегатов, получены критериальные зависимости, связывающие параметры, характеризующие рабочий процесс, и параметры, задаваемые при проектировании турбины и агрегата, позволяющие выделить класс маломощных, малорасходных турбин. Эти зависимости подтверждены параметрическими исследованиями активной турбины, которая часто применяется в качестве турбопривода агрегатов. Параметрические исследования сочетались с газодинамическими исследованиями рабочего процесса. В этих работах [1], [16] получен критериальный комплекс, названный коэффициентом комплексной мощности, который позволяет по исходным данным на проектирование турбины оценить достижимый уровень КПД и ее «размерность», т.е. является турбина полноразмерной или малоразмерной (маломощной, малорасходной).

При расчете турбин для привода агрегатов обычно бывают заданы следующие параметры: N_T - мощность турбины; p_0^*, T_0^* - соответственно давление и температура на входе в турбину; $\pi_T = p_0^*/p_2$ - степень понижения давления до статического давления за турбиной; n - частота вращения ротора турбины; k, R - соответственно показатель изэнтропы (адиабаты) и удельная газовая постоянная, характеризующие свойства рабочего тела.

Коэффициентом комплексной мощности называется величина

$$\bar{N}_{\text{к.м.}} = \frac{N_T}{p_0^* \cdot \sqrt{T_0^*}} \cdot \left(\frac{n}{\sqrt{T_0^*}} \right)^2, \text{ имеющая размерность } \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}}{\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{0,5}} \cdot \left(\frac{\text{с}^{-1}}{\text{К}^{0,5}} \right)^2. \text{ Этот}$$

комплекс является критериальным комплексом для турбины, так как представляет собой произведение приведенной мощности на квадрат приведенной частоты вращения. Так как он состоит из параметров, задаваемых в качестве исходных данных, то известен на самой первой стадии оценки основных параметров и эффективности турбины. В работах [1], [16] также показано, что КПД турбины (с определенным значением π_T) можно представить в виде зависимости

$$\eta_T = f(\bar{N}_{\text{к.м.}} \cdot u/c_s). \text{ На рисунке 1 приведены графические зависимости КПД}$$

турбины от коэффициента комплексной мощности и приведенной окружной скорости рабочего колеса, рассчитанные по этому уравнению. Графические зависимости, приведенные на рис. 1 справа, получены из левых графиков рассечением их линиями постоянных значений параметра u/c_s . Анализ зависимостей, приведенные на рис. 1, показывает, что КПД ступени турбины существенно зависит от значения коэффициента комплексной мощности. В частности, оптимальные значения параметра u/c_s уменьшаются при снижении величины $\bar{N}_{\text{к.м.}}$. Величина коэффициента комплексной мощности однозначно определяет максимально достижимое значение КПД.

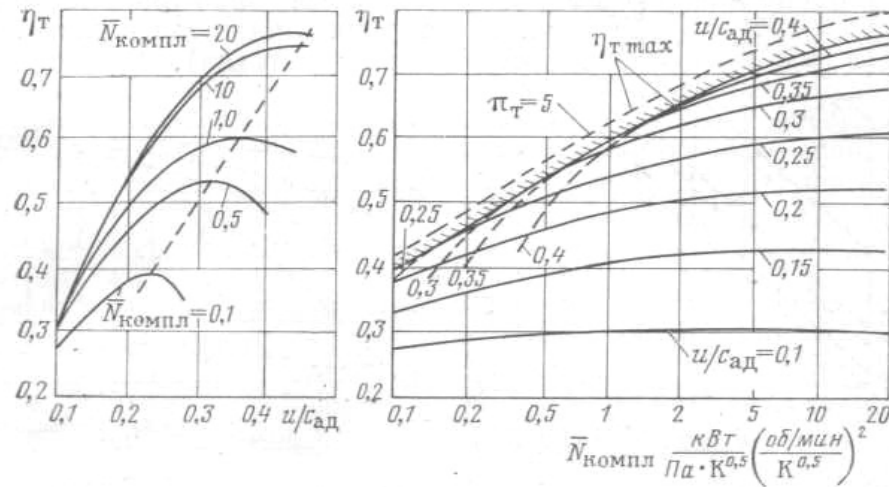


Рис. 1. Зависимости к. п. д. одновенечных активных турбин от коэффициента комплексной мощности и параметра u/c_s (при $\pi_T = 20$)

Fig. 1. Fig. 1. Relation between efficiency of single-row impulse turbine and complex power coefficient and parameter u/c_s (for $\pi_T = 20$)

Исходя из полученных результатов, авторы работ [1], [16] малоразмерной (малорасходной) или маломощной турбиной называют турбину с пониженным значением коэффициента комплексной мощности, т. е. турбину с небольшой приведенной мощностью или с пониженным значением приведенной частоты вращения. Наличие пониженных значений КПД у такой турбины, даже при оптимальной величине u/c_s , обусловлено малыми значениями ее производительности, т.е. расхода рабочего тела. Как видно из рис. 1, протекание зависимостей $\eta_{\text{от max}} = f(\bar{N}_{\text{еиie}})$ при $\bar{N}_{\text{еиie}} > 7,5 \div 15$ уже весьма пологое. Расчетное значение коэффициента комплексной мощности, начиная с которого ступень турбины становится, по общепринятому определению, полноразмерной ступенью и ее КПД перестает зависеть от $\bar{N}_{\text{еиie}}$ ($\eta_T = 0,78 \div 0,82$), составляет $\bar{N}_{\text{еиie.иie}} = 40 \div 50$ [1].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Сравнительно новыми и малоизученными являются струйно-реактивные турбины (СРТ) и вихревые турбины (ВТ), а также пневмоагрегаты на их основе. Они находят применение в качестве пневмоприводов шаровых кранов и в системах утилизации избыточного давления сжатых газов и паров.

Оценим области рационального применения вихревых и струйно-реактивных турбин и агрегатов на их основе с точки зрения коэффициента комплексной мощности.

В таблице 1 даны исходные данные и результаты расчета коэффициента комплексной мощности струйно-реактивных и вихревых турбин и агрегатов, созданных на их основе.

Таблица 1. Параметры струйно-реактивных и вихревых турбин

Table 1. Parameters of jet-reactive and vortex turbines

№ п/п	P_0^* , ата	T_0^* , К	$P_{\dot{a}\dot{\sigma}}$, ата	n , об/мин	N_T , кВт	$\bar{N}_{\dot{a}\dot{\sigma}}$ $\frac{\dot{a}\dot{\sigma}}{\dot{I}\dot{a} \cdot \dot{E}^{0,5}} \cdot \left(\frac{\dot{a}\dot{\sigma}}{\dot{E}^{0,5}}\right)^2$	u , м/с	c_s , м/с	$\frac{u}{c_s}$
1	56	300	4	23750	111	2,19	249	770	0,323
2	25	300	12	3050	9,5	0,0069	64	452	0,142
3	26	293	1,1	10300	18	0,149	135	592	0,228
4	62	300	1,1	20000	9,25	0,117	209	884	0,237

В таблице 1:

1 - СРТ турбодетандерного агрегата (ТДА) мощностью 100 кВт для газораспределительных станций (ГРС) (Агрегат ТДА-СРТ-100/130-5,5/0,6ВРД на "ГРС-1 Сумы", рис. 2);

2 - ВТ детандер-генераторной установки (ДГУ) мощностью 8 кВт для собственных нужд ГРС (ДГУ-8-380-Т-У1 на АГРС-5 г.Волгограда", рис. 3);

3 - СРТ для привода ротора прикаточного устройства;

4 - СРТ для приводов шаровых кранов магистральных газопроводов (для крана DN500 PN80 по результатам приемки опытного образца, рис. 4).



Рис. 2. Агрегат ТДА-СРТ-100/130-5,5/0,6ВРД на "ГРС-1 Сумы"

Fig. 2. Unit ТДА-СРТ-100/130-5,5/0,6ВРД at "GDS-1 Sumy"



Рис. 3. Установка ДГУ-8-380-Т-У1 на "АГРС-5 Волгоград"

Fig. 3. Installation ДГУ-8-380-Т-У1 at "AGDS-5 Volgograd"

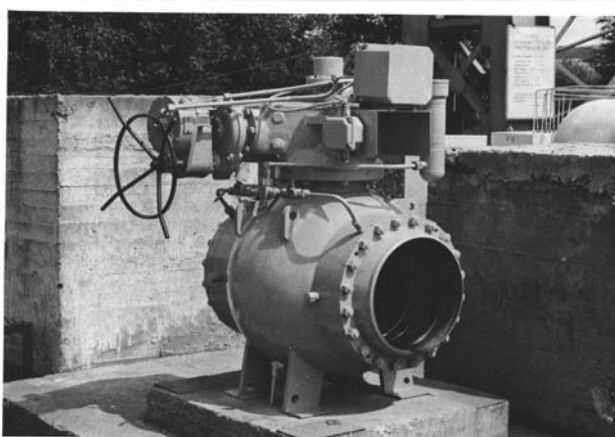


Рис. 4. Кран шаровой DN500 PN80 со струйно-реактивным приводом

Fig. 4. Ball valve DN500 PN80 with jet-reactive drive

Струйно-реактивные и вихревые турбины можно использовать для создания ТДА для ГРС мощностью до 500 кВт, при этом максимальный коэффициент комплексной мощности $\bar{N}_{\text{еи}} = 11$.

Таким образом, струйно-реактивные и вихревые турбины однозначно являются маломощными, малорасходными турбинами, согласно принятому в [2], [3] определению. При этом приведенная окружная скорость для этих турбин $u/c_s < 0,35$.

На рис. 5, 6 показана конструктивная схема струйно-реактивной турбины в реверсивном (рис.5) и в нереверсивном (рис. 6) исполнениях. Основными элементами СРТ (рис.5) являются: подводящее устройство (простое или регулируемое сопло) 1 и ротор, состоящий из полого вала 2 с радиальными трубками 3, закрепленными на боковой поверхности вала, на концах которых имеются тяговые сопла 4. Для обеспечения реверса турбины в валу выполняется перегородка. Результаты исследований этих турбин изложены в работах [2, 3, 4, 19].

Основными преимуществами струйно-реактивной турбины (см. рис. 5, 6) перед классическими турбинами (центростремительными и осевыми) являются: простота конструкции (особенно в реверсивном исполнении), низкая себестоимость изготовления, производственная технологичность, отсутствие сложных профилированных лопаточных элементов газового тракта, малая инерционность, возможность эффективно срабатывать в одной ступени большие отношения давлений, высокая надежность работы на загрязненном и влажном рабочем теле, особенно при малых расходах и низких температурах, что обусловлено сплошным (одноканальным) газовым трактом (в классических турбинах в этих условиях газовый тракт, разбитый лопатками на множество малоразмерных каналов, может замерзнуть или забиваться).

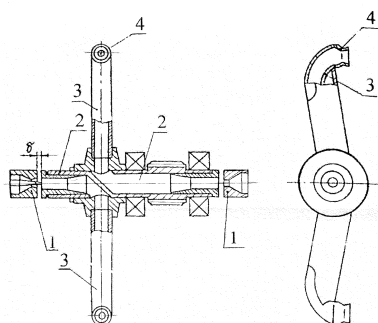


Рис. 5. Схема реверсивной струйно-реактивной турбины

Fig. 5. Scheme of reversible jet-reactive turbine

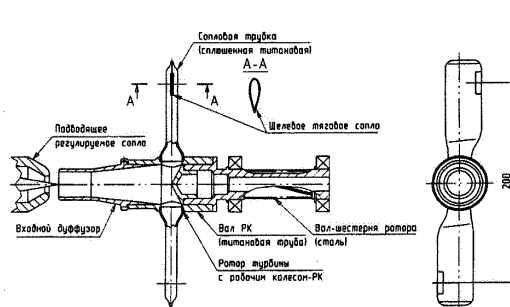


Рис. 6. Схема нереверсивной струйно-реактивной турбины

Fig. 6. Scheme of irreversible jet-reactive turbine

При малых диаметрах рабочего колеса (\approx до 0,2 м) и больших отношениях давления КПД струйно-реактивной турбины может быть соизмерим с КПД классической турбины. Кроме того, ротор струйно-реактивной турбины обладает меньшим моментом инерции по сравнению с ротором классической турбины, что позволяет получить более динамичную систему, увеличивает быстродействие.

На рис. 7 показана схема проточной части вихревой турбины с внешним периферийным каналом. Рабочее тело через сопло 1 поступает в проточную часть, образованную каналом 2 корпуса 3 и межлопаточными каналами 4 рабочего колеса 5, вращающегося в корпусе с малыми радиальными и торцевыми зазорами. Результаты

исследований вихревых турбин изложены в работах [5-10].

Вихревая турбина, в сравнении с осевой или центробежной, проще по конструкции и дешевле в изготовлении, технологичнее, проще реверсируется (без дополнительного рабочего колеса). В области малых расходов, малых мощностей, когда требуются малые габариты и вес, вихревая турбина, при прочих равных условиях (снимаемая мощность, габариты, КПД), позволяет исключить основной недостаток классических турбин (осевых и центробежных) – высокооборотность (приведенная окружная скорость для вихревых турбин $u/c_s \approx 0,15$). Поэтому при использовании вихревой турбины часто возможно безредукторное исполнение агрегата, что резко удешевляет машину, повышает ее надежность и сокращает расходы на обслуживание.

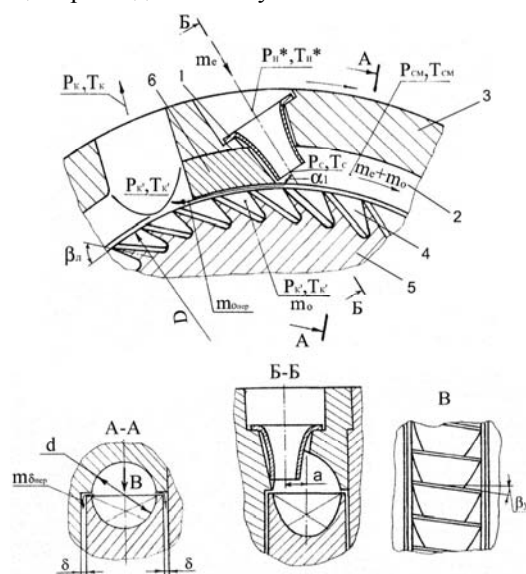


Рис. 7. Схема вихревой ступени с внешним периферийным каналом

Fig. 7. Scheme of vortex stage with external peripheral channel

Преимущества струйно-реактивных и вихревых турбин позволяют получить пневмоагрегаты на их основе максимально простые и надежные, со сроком окупаемости до 2-х лет. Эти агрегаты применяются там, где требуется простота конструкции и технологичность в изготовлении, невысокая стоимость, надежность и безопасность в эксплуатации. Такими областями, в частности, являются арматуростроение и системы утилизации избыточной энергии газов или паров.

Имеется множество редукторов и регуляторов давления на газораспределительных станциях (ГРС) и газораспределительных пунктах (ГРП) в газовой промышленности, в различных технологических процессах в химической и других отраслях промышленности, в коммунально-бытовом хозяйстве и т.п. Энергия сжатых газов и паров в процессе дросселирования на этих устройствах полезно не используется. Если сбрасывание перепада давлений производить не на дросселирующем органе, а на турбине, то значительную часть энергии можно

преобразовать в механическую работу на валу турбины, устанавливаемой параллельно или вместо редуктора или регулятора давления. С вала турбины энергия может быть использована для привода каких-либо машин (насосов, компрессоров, вентиляторов) или преобразована в электрическую энергию с помощью электрогенератора. Таким образом, альтернативой клапанным дросселирующим системам снижения давления газа являются утилизирующие системы, базирующиеся на турбодетандерных электрогенераторных установках и агрегатах, обеспечивающих одновременно с основной функцией (снижение и регулирование давления газа) получение механической работы на валу турбины с преобразованием ее в электроэнергию.

Анализ параметров газа на имеющихся ГРС, преимущества и результаты практического применения ТДА на базе струйно-реактивных и вихревых турбин представлены в работах [11, 17, 18, 20] и на рис. 2, 3.

Следующей важной народно-хозяйственной задачей, которая решается с использованием струйно-реактивных и вихревых турбин, является задача создания пневматического, эффективного, надежного и удобного в эксплуатации привода шаровых кранов больших проходных сечений ($DN > 300$ мм), устанавливаемых на компрессорных станциях и на линейной части магистральных газопроводов.

В соответствии с техническими требованиями приводы этих шаровых кранов должны использовать в качестве рабочего тела неподготовленный (непосредственно из газопровода) природный газ и обеспечивать управление краном при следующих минимальных давлениях газа на входе в привод: для PN63 - 1,5 МПа; PN80; 100 - 2,5 МПа; PN 160 - 3,5 МПа; PN 250 - 4,5 МПа; PN420 - 8,0 МПа. При этом температура газа на входе в привод для районов с различными климатическими условиями может изменяться в пределах от 243 К (-30 °С) до 353 К (+80 °С), окружающей среды (воздуха) – от 213 К (-60 °С) до 318 К (+55 °С).

Проблема создания пневматического привода шаровых кранов больших проходных сечений ($DN > 300$ мм) решается применением в качестве силовых элементов (пневмодвигателей) этих приводов струйно-реактивных и вихревых турбин. При работе на газе высокого давления, непосредственно забираемом из газопровода, целесообразно создание пневмоприводов на базе струйно-реактивных турбин (рис. 4), а в том случае, когда на привод подается сравнительно низкое давление управляющей среды (0,4-0,8 МПа), возможно создание пневматического турбопривода на основе вихревой турбины [12-14].

В газовой и нефтяной промышленности является также целесообразным создание аварийных турбогенераторов с вихревой или струйно-реактивной турбиной, работающих от сжатого воздуха, отбираемого от компрессора газотурбинного привода ГПА с давлением более 1,0 МПа, или от природного газа, отбираемого с выхода центробежного нагнетателя с давлением $5,6 \div 7,6$ МПа, а также турбогенераторов, устанавливаемых параллельно или взамен узлов дросселирования топливного газа для газотурбинных двигателей, используемых в газоперекачивающих агрегатах.

Может оказаться перспективным использование СРТ в случаях, когда возможно объединить две функции одновременно: двигателя и движителя, при конструктивном выполнении рабочего колеса в виде полых лопастей воздушного винта или вентилятора с тяговыми соплами на концах.

В заключении следует отметить, что рассмотренные в данном анализе несколько направлений использования вихревых и струйно-реактивных турбин а агрегатов на их основе не охватывают все возможные области их применения. В каждом конкретном случае необходимо проводить более глубокий анализ эффективности применения этих турбин а агрегатов.

ВЫВОДЫ

1. По коэффициенту комплексной мощности струйно-реактивные и вихревые турбины однозначно являются маломощными, малорасходными турбинами,
2. Приведенная окружная скорость рабочего колеса для этих турбин $u/c_s < 0,35$.
3. Наиболее перспективно применение пневмоприводов шаровых кранов магистральных газопроводов больших проходных сечений ($DN > 300$ мм) и турбодетандерных агрегатов относительно небольшой мощности (до 500 кВт) на основе струйно-реактивных и вихревых турбин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков Н.Н., Емин О.Н. : Выбор параметров и расчет маломощных турбин для привода агрегатов,- М.: Машиностроение, 1972.-228с.
2. Ванеев С.М., Королев С.К. : Исследования струйно-реактивной турбины// Труды юбилейной научно-технической конференции «Гидромеханика в инженерной практике». - К: ВПОЛ. 1998. - С. 49-50.
3. Ванеев С.М.: Структура потерь энергии и КПД струйно-реактивной газовой турбины // Вісник Сумського державного університету. Серія технічні науки, № 9(30)-10(31) – Сумы:2001.–С. 207-214.
4. Ванеев С.М.: Расчет характеристик струйно-реактивной турбины // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение: Вып.36.–К.:1999.–С. 263-269.
5. Ванеев С.М. : О рабочем процессе вихревой пневматической турбины // Вестник СумГУ, №10. – Сумы:1998.–С. 48-52.
6. Ванеев С.М. Исследования вихревой пневматической турбины для привода шарового крана // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение: Вып.35.–К., 1999.– С. 71-75.
7. Ванеев С.М.: Структура потерь энергии и КПД в вихревой пневматической турбине // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение: Вып.38, Т.2.–К., 2000.–С. 22-28.
8. Ванеев С.М.: Расчет КПД вихревого рабочего процесса пневматической турбинной ступени с внешним периферийным каналом // Вестник Национального технического университета. Сборник науч. трудов. Выпуск 129, Ч. 2. – Харьков, 2001. – С. 315-324.
9. Ванеев С.М. : Влияние отсекаателя на потери энергии в вихревой расширительной ступени // Вісник Сумського державного університету. Серія технічні науки, № 19. - Сумы:2000.–С. 22-27.
10. Ванеев С.М., Марцинковский В.С., Гриценко В.Г., Овсейко И.В.: Вихревые турбомашинны для сжимаемых сред //Компрессорная техника и пневматика. №3.- М. 2002. –С.2-7.

11. Ванеев С.М., Марцинковский В.С., Овсейко И.В., Нестеренко В.А., Кухарев И.Е.: Использование вихревых турбин в целях энергосбережения // Вісник Сумського державного університету. - 2005. - №1(73). - С. 102-108.
12. Ванеев С.М. : Газовые турбодвигатели на базе струйно-реактивных и вихревых турбин // Труды международной научно-технической конференции. Харьков,2000.
13. Ванеев С.М., Королев С.К., Рухлов Ю.Л., Федотов Ю.Т., Бостан И.А. : Струйно-реактивные двигатели для приводов шаровых кранов // Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты: теория, расчет, конструирование. Тематический сборник научных работ / Под ред. И.А. Ковалева .- К.: ИСДО, 1994.-С. 233-239.
14. Ванеев С.М, Королев С.К., Ена В.П.: Анализ конструктивных схем приводов шаровых кранов DN=300-1400 мм для компрессорных станций магистральных газопроводов // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. - Кіровоград, - 2000. – Вип.7. - - С.52-57.
15. Грицына В.П. : Энергетика за рубежом. Стратегический план развития малых локальных энергоустановок в США // Промышленная энергетика. -2001.-№ 12.- С. 50-53.
16. Емин О.Н., Зарицкий С.П. : Воздушные и газовые турбины с одиночными соплами,- М.: Машиностроение, 1975.-216с.
17. Ковалев И.А., Ванеев С.М., Королев С.К. : Пневмодинамический привод нового типа и его использование в целях энергосбережения //Технологические системы. Научные разработки и результаты исследований. - К.: 2002.-№2(13).-С.114-118.
18. Королев С.К., Ванеев С.М.: Использование струйно-реактивной турбины в системах редуцирования природного газа // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение: Вып.35.–К.:1999.–С. 76-83.
19. Королев С.К., Ванеев С.М. : Исследование вихревых и струйно-реактивных турбин // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение: Вып.42, Т.2. – К.: 2002. – С. 136-141.
20. Королев С.К., Ванеев С.М. : Исследование турбодетандерного агрегата на базе струйно-реактивной турбины мощностью 100 кВт // Сб. науч. трудов, Харьков. 2003. -С.293-296.

AREAS OF PNEUMATIC UNITS WITH VORTEX AND JET- REACTIVE TURBINES RATIONAL USE

Summary. Areas of pneumatic units with vortex and jet-reactive turbines rational use are defined, value of the complex power coefficients for these turbines is defined too.

Key words: pneumatic unit, jet-reactive turbine, vortex turbine, complex power coefficient.

К ВОПРОСУ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Владлен Корохов, Лилия Чечевич

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. В настоящей статье описаны способы сварки пластмассовых изделий, существенно отличающиеся от традиционных способов сварки металлов, что объясняется различием физико-химических свойств этих материалов. Рассмотрены рекомендации по профилактике и диагностике вероятных дефектов в сварных швах пластмассовых изделий. Указаны оптимальные методы дефектоскопии швов в зависимости от конфигурации соединяемых элементов и приемов сварки.

Ключевые слова: пластмассы, сварка, швы, дефектоскопия, ультразвук, конструкции, терморезистивные, полиэтилен, полипропилен.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При изготовлении светопрозрачных строительных конструкций из армированного пластмассового профиля, а так же при сварке трубопроводов из полипропилена для систем водоснабжения и отопления [1], [2], [3], а для газопроводов – из полиэтилена [4], то в целях обеспечения требуемой эффективности, надежности и безопасности эксплуатации этих конструкций, большое внимание необходимо уделять контролю качества сварных соединений [4], [5]. Это достигается определенными организационно-техническими мероприятиями, а так же комплексом профилактических и диагностических операций, направленных как на оценку качества исходных материалов, так и на качество сварных швов готовых изделий [6]. К комплексу указанных мероприятий следует отнести: проверку квалификации сварщиков, контроль технических показателей оборудования, входной контроль качества армированного профиля и труб, контроль качества сборки светопрозрачных конструкций и трубопроводов под сварку, контроль качества выполненных швов в образцах и готовых изделиях.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изготовления светопрозрачных строительных конструкций оконной и дверной группы применяется достаточно прочный пластиковый термопластичный материал поливинилхлорид (ПВХ) [7]. В системах водоснабжения и отопления используют трубы, изготовленные из полипропилена (ППР) [8], которые сохраняют свои качества при транспортировании питьевой и горячей воды, нагретой до 100°С с сохранением функциональной надежности до 50 лет. Они применяются как в жилых, так и в промышленных помещениях. Для подземных газопроводов основных магистралей и их отводов, изготавливаются трубы различного диаметра и сопряжения для них из полиэтилена (ПЭВД) [5], [9].

Использование указанных пластиковых материалов для перечисленных изделий потребовало новых технических решений по разработке методов сварки, которые должны исключать образование дефектов сварных соединений и обеспечивать надежность и долговечность конструкций [10], [11].

Наилучшим образом зарекомендовали себя три основных вида сварки пластиковых изделий, это стыковая сварка, раструбная и электромuftовая [12], [13].

Стыковая сварка осуществляется для соединения подготовленных заготовок светопрозрачных оконных и дверных строительных конструкций, а так же газовых трубопроводов. Ее выполняют с применением торцевателей, которые придают соединяемым торцам изделий требуемую плоскостность, параллельность или иную конфигурацию при малой шероховатости поверхности. В ряде случаев требуемая конфигурация и шероховатость поверхности достигается при раскрое заготовок высокооборотистыми пилами – без торцевателей. При этом припуск длины заготовок под сварку на каждый торец заготовки, например, для светопрозрачных конструкций делается примерно по 3 мм. Затем обработанные заготовки закрепляют в центраторах, устанавливая расстояние между торцами 10...15 мм, и в этот зазор вводится нагретый закладной электроинструмент, который, соприкасаясь с торцами, нагревает их до температуры в пределах 230...280 °С. После удаления инструмента разогретые до пластичного состояния торцы заготовок сдавливают гидравлическим устройством в том же направляюще-центрирующем приспособлении, которое обеспечивает строгое взаимное расположение соединенных заготовок в единое изделие. После выдержки 20...30 секунд при естественном охлаждении образуется достаточно прочное и плотное соединение.

Раструбная сварка применяется для соединения труб только в системах водоснабжения и отопления. Подлежащие соединению трубу и фитинг нагревают горячим закладным инструментом до пластичного состояния соприкасающихся при сборке плоскостей. Продолжительность нагрева от 10...20 секунд. После этого с трубы снимают кольцевой нагреватель, а из фитинга вынимают стержневой. Затем труба вставляется в фитинг с некоторым натягом, при котором происходит смятие нагретых пластичных поверхностей и, после охлаждения, образуется прочно-плотное соединение.

Электромuftовая сварка применяется для соединения полиэтиленовых труб подземных газопроводов. Она осуществляется с помощью пластиковой муфты из того же материала, которую надевают на концы соединяемых труб. Внутри этой муфты расположена нагревательная спираль, на которую подается электрический ток, нагревающий внутреннюю поверхность муфты и концы труб до оплавления. После выключения спирали муфты и охлаждения соединяемого стыка образуется нужное прочно-плотное соединение.

Рассмотренные способы сварки пластмасс и технология выполнения этих операций показывают очевидную и существенную специфичность процессов такой сварки, в отличие от сварки металлов [14]. Это обуславливает и существенные особенности дефектоскопии сварных швов соединений из пластиков [15], [16].

Существует несколько способов дефектоскопического контроля сварных швов различающихся глубиной достоверности и своей трудоемкостью. Тот или иной способ дефектоскопии швов назначается в зависимости от степени ответственности конструкции, условий эксплуатации изделий, действующих нагрузок и от планируемого объема производства пластиковых изделий – количество соединяемых

в них сварных стыков. Кроме того, для повышения надежности свариваемых конструкций осуществляется контроль качества исходных материалов при подготовке их к сварке.

В зависимости от вышеуказанных конкретных обстоятельств контроль исходных материалов и сварных швов может быть неразрушающим или разрушающим.

К разновидностям неразрушающего контроля [17] относятся внешний осмотр (визуальный контроль), ультразвуковая дефектоскопия, пневматические или гидравлические испытания.

Визуальному контролю подвергают поступающие исходные материалы: пластиковый профиль, трубы, отводы, муфты. Они по своей конфигурации, размерам, состоянию поверхности и другим признакам качества должны соответствовать требованиям стандарта. И только в этом случае возможно их использование в сварной конструкции. При возникновении сомнений в их качестве необходимо решать вопрос об инструментальной дефектоскопии или выполнении разрушающих испытаний образцов.

Визуальный контроль швов осуществляется путем сравнения их с контрольными образцами, а так же путем измерения размеров и конфигурации наружного сварочного грата на участках шва. При этом необходимо использовать шаблоны, штангенциркуль, измерительную лупу.

Критерии оценки качества сварных швов при их внешнем осмотре должны соответствовать требованиям стандарта [17], [18].

Одной из особенностей дефектоскопии сварных швов изделий из пластика является высокая результативность визуального контроля этих швов, что позволяет оперативно, достаточно верно и с малыми трудозатратами выявить наиболее характерные вероятные дефекты, возникающие при нарушениях режимах сварки или несоответствия принятого режима нестабильным физико-химическим свойством свариваемых материалов. Таким образом, весомость и достоверность визуального контроля именно при сварке пластмасс значительно превосходит подобный контроль сварки металлических изделий.

При визуальном контроле качества швов особое внимание уделяется внешнему виду образующегося грата – его размерам, конфигурации, цвету и сплошности материала [19].

При качественном соединении заготовок грат над швом должен быть:

- гладкий в виде валика округлой формы, а при соединении сварным швом труб, грат должен быть с двумя симметричными валиками тоже округлой формы;
- валики грата должны быть одного цвета с материалом пластиковых изделий и не иметь трещин или пор;
- ширина и высота валиков грата должны быть стабильной вдоль всего образованного шва, не отличаться от установленного номинала более чем на 30%;
- впадинами между валиками грата должна быть неглубокой;

К бракованным соединениям относятся:

- соединения стыкового шва с высокими и узкими валиками грата, значительно превышающими их ширину;
- со смещением наружных кромок свариваемых заготовок, превышающем 10% от толщины стенки изделия;
- с параллельным смещением соединяемых труб более чем на 40% высоты

валика грата, а при угловом смещении – более 5°;

- соединения изделий из фасонного профиля под углом 90° с недопустимым угловым отклонением, определяемым размерами и конфигурацией изделий;
- соединения с наружными раковинами и растрескиванием на поверхности грата;
- соединения седловых отводов с трубой и муфтовые соединения труб при неплотном облегании поверхности трубы седлом или муфтой, с зазором между ними;
- с искривлением осей муфты и трубы или несоосностью расположения труб в муфте;
- со следами температурной деформации или расплава полиэтилена по периметру шва, на наружной поверхности отводов, муфты и на ее торцах.

Помимо визуального контроля сварных швов пластмассовых изделий применяются и иные разновидности неразрушающей дефектоскопии швов конструкций, предназначенных для технической эксплуатации. Это такие методы, как ультразвуковое исследование, пневматические и гидравлические испытания. Они выполняются в тех случаях, когда возникают сомнения при визуальном контроле или же необходимо удостовериться в гарантированной работоспособности особо ответственных конструкций – нефтегазопроводов и магистральных водоводов высокого давления.

Ультразвуковая эхо-импульсная дефектоскопия с пьезоэлектрическим преобразователем с вогнутой поверхностью, соответствующей геометрической форме изделия для плотного примыкания к нему, используется для выявления газовых пор, посторонних включений в шве, несплошности сварки и трещин. Номинальная частота ультразвуковых колебаний принята 1,25 МГц.

Как показывает практика, к бракованным соединениям следует отнести выявленные посторонние включения и несплошности, суммарная протяженность которых составляет более 10% от длины шва изделия или периметра окружности трубы. Признаками брака являются так же трещины в шве или околшовной зоне.

Пневматические испытания, смонтированных полиэтиленовых газопроводов с отводами, позволяют проверить прочность и герметичность сварных швов. Для этого создается внутреннее давление воздуха в трубе до 6 кг/см². Трубы должны быть присыпаны землей на 20-25 см выше поверхности трубы, а незасыпанными остаются швы. В некоторых случаях величина давления назначается в соответствии с давлением газа, который будет транспортироваться по газопроводу. Положительными результатами испытаний являются такие, при которых показания давления по контрольному манометру не изменяется в течении несколько заданных часов испытаний.

Разрушающим испытаниям подвергают образцы исходных материалов, специально изготовленные образцы элементов трубопроводов, отводов, а так же вырезки из узлов сварных светопрозрачных конструкций. Цели разрушающих испытаний многоплановые: уточнение механических свойств исходных материалов, периодическая проверка качества сварных швов выполненных на заданных режимах сварки; поиск или уточнение режимов сварки при обнаружении однотипных повторяющихся дефектов, а так же при решении вопросов об изготовлении конструкций из вновь поступающих материалов иных марок или из материала с несколько измененными свойствами. В зависимости от геометрической формы,

размеров и условий эксплуатации сварных конструкций назначаются различающиеся виды разрушающих испытаний.

Осевое растяжение. Этому испытанию подвергают вырезки пластинчатых лопаток из образцов стыковых соединений, полиэтиленовых трубопроводов с целью определения прочности шва и типа разрушения соединения по шву или околошовной зоне, а также для определения предела текучести материала и его относительного удлинения при разрыве. Длина образца вырезанного из сваренных труб должна быть не менее 160 мм, без трещин, раковин или других дефектов. Растягивающие испытания выполняют не ранее чем через 24 часа после сварки.

Качество сварного соединения характеризуется типом его разрушения по одному из возможных трех вариантов.

Первый вариант, характеризующий требуемую прочность соединения и пластичность материала, при разрыве образца вне зоны шва с образованием шейки и относительном удлинении более 50%.

Второй вариант – характеризующий достаточную прочность шва, но низкую пластичность материала, когда разрушения образца также происходит вне зоны шва с образованием шейки, но при относительном удлинении в интервале от 50% до 20%, при разрушении менее 20% образцов.

Третий вариант, характеризующий недостаточную прочность шва, когда происходит хрупкое разрушение по шву при относительном удлинении материала менее 20%.

Испытание на длительное растяжение. Оно проводится одновременно с контрольными образцами для определения длительной несущей способности стыковых швов, выполняется в дистиллированной воде при температуре 80...95 °С в течение от 30 до 500 часов. Сварное соединение считается выдерживающим длительное растяжение, если оно разрушилось не быстрее чем контрольные образцы.

Испытание на отрыв. Им подвергают сварные соединения труб с седловыми отводами, которые приварены при помощи закладных нагревателей. Цель испытаний – определение требуемой прочности соединения. В приспособлении приваренный отвод отрывают от трубы. Испытания положительны, если место отрыва отвода от трубы характеризуется пластичным, а не хрупким разрушением.

Контроль качества и надежности швов угловых соединений светопрозрачных конструкций из пластикового профиля осуществляется путем их разрушения с определением действующего усилия, которое должно быть соизмеримым с усилием разрушения контрольного эталонного образца.

Испытание на сплющивание. Ему подвергают участки сваренных труб соединенных муфтами или закладными нагревателями, а также отводы, тройники, заглушки. Цель – определение прочности соединения. Сплющивающее усилие на трубу прикладывают рядом с присоединенным элементом и продолжают до соединения стенок трубы. При этом не должно быть отрыва приваренного элемента от трубы.

Испытаниям на статический изгиб подвергают вырезанные полоски стыковых соединений труб, сваренных нагретым инструментом. При изгибе образца под действием приложенного усилия сварной шов должен располагаться в растянутой зоне.

Допускается появление трещин при изгибе на угол не менее 160°.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Особенности ликвидации выявленных дефектов сварки пластика, в отличие от сварных швов металла [20], состоят в том, что они не подлежат исправлению наплавкой обнаруженного дефекта, а требует полного удаления – вырезки места сварки до чистого материала, не нарушенного температурой; в этих местах необходимо выполнять сварку заново [21].

2. При обнаружении повторяющихся дефектов сварки необходимо изготовить несколько одинаковых узлов, сварить их на различных режимах, а после разрушения каждого из узлов, выделить наиболее качественное соединение, выполненное на определенном режиме сварке, и для изготавливаемых изделий принять новый опробованный режим сварки.

ВЫВОДЫ

1. Специфичность свойств пластиковых конструкционных материалов определяет собой и особенности сварки изделий из них – технологию, режимы, технологическую свариваемость материала, строение и свойства сварного шва, что существенно отличает их от сварки металлов.

2. Возрастающее использование сварных пластиковых светопрозрачных конструкций и трубопроводов для транспортировки горючего газа, особые условия безопасности их эксплуатации накладывают высокие требования к качеству и надежности сварных швов и, соответственно, к методике дефектоскопического контроля, который осуществляется в одном из двух основных направлений: неразрушающий контроль готовых изделий или разрушающий контроль специально изготовленных образцов соединений.

3. Как показала практика неразрушающего контроля сварных соединений, в качестве достаточно надежных, производительных и менее трудоемких выделяют два основных способа контроля – это визуальный контроль качества швов путем их осмотра, измерения размеров и геометрической формы при одновременном сравнения с эталонными образцами швов. Второй – более надежный способ контроля – это ультразвуковой контроль [17], с дефектоскопом запоминающим и хранящим информацию о результатах контроля, которые можно выводить на стандартный принтер или экран персонального компьютера. По результативности этот способ заменяет собой рентгеновское просвечивание шва и околошовной зоны.

4. Разрушающий контроль распространяется только на специально изготавливаемые образцы сварных соединений трубопроводов и узлов из пластикового профиля других изделий с целью определения эффективности назначаемых режимов сварки, их уточнения или отработки новых режимов для новых материалов и изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровский Б., Лапина Е.: Технология аварии в системах газоснабжения и их предупреждение. Motrol, tom 11A, Lublin 2009, С.120-122.
2. Бородин М.М., Спектор Э.Н.: Рентгенографический анализ текстуры металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1981.

3. Бухин В.Е.: Поливинилхлорид. – 2007. Московская международная конференция: Т и Э, 2007, № 4, С.19.
4. Бухин В.Е.: Состояние нормативной базы обеспечения производства и применения труб из полимерных материалов: Т и Э, 2007, - № 1, С. 2-3.
5. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Сварные соединения. Радиографический метод.
6. Инженерные сети из полимерных материалов. -№ 25,- 2008. Полимерные материалы, используемые при строительстве трубопроводов. В.Е. Бухин, к.т.н., Учебный центр НПО «Стройполимер». М.М. Фаттахов, к.т.н. уфимский государственный нефтяной технический университет. «Трубопроводы и экология», 2008., №2. 20-26 с.
7. Инженерные сети из полимерных материалов. № 28, 2010. Вітчизняний ринок терморезисторних з'єднань у поліні імпорту, чи Модерне виробництво фітінгів made in Ukraine. М. Шевчук. 20-21 с.
8. Инженерные сети из полимерных материалов. -№ 28, -2010. Особенности сооружения полиэтиленовых трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях. Д.А.Виноградов. 22-25 с.
9. Инженерные сети из полимерных материалов. № 28, 2010г. Фитинги для монтажа полимерных трубопроводов. Публикацию подготовил В.Сиваков. 6-12с.
10. Контактная сварка пластмасс в строительстве: производственно-практическое издание /К.И.Зайцев – М.: Стройиздат, 1982-80 с.
11. Корохов В.Г., Мухопад А.А.: Сварка пластмасс. Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов, Вып. 18, Симферополь, НАПКС – 2007.
12. Методические указания по сварке полиэтиленовых трубопроводов. Правила безопасности в газовом хозяйстве Украины. ДБН В 2.5-20.2001.
13. Приватный дом. Ноябрь 2009 г. Теплые связи. Полипропиленовые и металлопластиковые трубы в системе отопления. 78-81 с.
14. Ромейко В.С., Бухин В.Е. и др.: Трубы и детали трубопроводов из полимерных материалов. М: ТОО «Издательство ВНИИМП», 2002.
15. Федько В.Н.: Сварка и резка в промышленности. –М., Металлургия, 1989.
16. Сварка полимерных материалов. Справочное издание/ ред. К.И.Зайцева – М.: Машиностроение, 1988 – 312 с.
17. СНиП 3.05.02. и СП 42-101 Контроль качества сварные соединений полиэтиленовых газопроводов.
18. СНиП 3.05.02-88. Газоснабжение.
19. Шевчук Н.: Терморезисторная сварка: просто, быстро и качественно //Инженерные сети из полимерных материалов. - № 27, 2010, С. 20-23.

THE QUESTION TESTING OF PLASTIC PRODUCTS

Abstract. This article describes how to weld plastic products are significantly different, schiesya from traditional ways of welding metals, due to the difference in physical and chemical properties of these materials. Consider recommendations for the prevention and diagnosis of probable defects in welds plastic products. Indicate best practices for inspection welds, depending on the configurations of connected elements and techniques of welding.

Keywords: plastics, welding, welds, inspection, ultrasonic, design, thermoset, polyethylene.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРА РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛИЩА

Геннадий Куликов, Альбина Казьмина, Нина Кондратьева

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы ряда предпроектных исследований, на основе которых необходимо разрабатывать детальный проект реконструкции, как единый процесс, обеспечивающий новый подход к энергосбережению.

Ключевые слова. Реконструкция, опорная застройка, климат, предпроектные исследования, энергосбережения.

ВВЕДЕНИЕ

Опыт реконструкции сложившихся жилых районов свидетельствует о том, что их последовательная модернизация должна осуществляться на основе комплекса предпроектных исследований и, особенно, проектирование в неразрывной связи решение социально-экономических, культурно-исторических и архитектурно-планировочных задач [1, 17, 19]. В каждом городе в зависимости от условий, имеющихся в сложившихся массивах, может преобладать одна или более задач, определяющих характер реконструкции.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИИ

Проблемами методологии реконструкции сложившихся районов посвящено значительное число работ, среди которых можно отметить такие, как «Рекомендации по составлению проектов планировки городов Украины», «Методические рекомендации по реконструкции городов», Закон Украины «О комплексной реконструкции кварталов (микрорайонов) старого жилищного фонда» и другие.

В этих публикациях не уделено внимание относительно благоприятной застройки кварталов, возникших в 50-60-е годы и не имеющих современного комфорта и благоустройства. Эти жилые районы ныне оказались вышедшими на главные городские магистрали, либо попали в границы городских центров. Так, например, в Симферополе улицы центра города с морально устаревшей застройкой требуют обновления.

Конечно, критерии оценки старых жилых районов в городах различного типа не могут быть идентичными. Поэтому цикл предпроектных исследований может быть расширен или сокращен, а в ряде случаев могут появиться и специфические задачи.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Актуальным вопросом до начала определения характера реконструкции зданий является разработка прикладных методик и адресное их решение.

Важнейшей особенностью сети украинских городов является преобладание больших, средних и малых городов [1, 2, 6]. Их типологические особенности необходимо учитывать при оценке старых жилых районов.

Обобщив характеристики городов Украины, следует сказать, что методы реконструкции морально и физически устаревших жилых зданий должны быть дифференцированы в зависимости от условий формирования родственных групп городов.

При реконструкции жилых районов нужно учитывать условно опорную застройку, считаться с различными условиями города (она сохраняется и поддерживается в ближайшей перспективе) и опорную (сохраняется и модернизируется в период существования генплана городов) [18].

Из развития городов видно, что жилые массивы должны по степени преобразования подразделяться на следующие группы [1,19]:

- сохраняемые без изменений, где старая застройка подлежит лишь плано-предупредительному ремонту, в соответствии с действующими правилами и нормами технической эксплуатации зданий;
- массивы, требующие благоустройства; в них застройка сохраняется без изменения или подлежит плано-предупредительному ремонту;
- жилые образования, подлежащие переустройству, т.е. помимо капитального ремонта и реконструкций зданий, в них должны сноситься ветхие строения, благоустраиваться внутриквартальные проезды, благоустраиваться и озеленяться территории.

Отнесение жилых массивов к той или иной группе имеет принципиальное значение для определения состава и методов решения задач, связанных с модернизацией и реконструкцией жилой застройки [19].

Так же до начала реконструкции необходим ряд предпроектных исследований, в результате которых будет определено, что районы реконструкции существенно различаются по: территории; качеству застройки (физический и моральный износ); числу памятников архитектуры; градостроительной значимости [18].

Опыт проектирования центральных городов показал, что на основе предпроектных исследований необходимо разрабатывать детальный проект реконструкции, который должен содержать следующие материалы:

- предложение по сохранению, пристройке и надстройке существующих зданий и размещению новых (на примере Джанкоя);
- предложения по использованию зданий;
- рекомендации по видам планируемого капремонта;
- предложения по санации территории;
- обоснование очередности проведения реконструкции;

– предложение по расселению жителей.

Одной из важнейших задач является реконструкцию жилищного фонда необходимо рассматривать как единый процесс, обеспечивающий не только наращивание площадей, рост числа квартир, повышение их комфортности, но и новый подход к энергосбережению [8, 9].

В детальном проекте реконструкции необходимо рекомендовать введение нового потребительского подхода к проектированию, когда не регламентируются отдельные составляющие, определяющие тепловой баланс здания, а нормируется здание в целом с энергетической точки зрения. Это позволяет определить характеристики архитектурно-конструктивных, теплотехнических и энергетических показателей [11,13]. Показатели энергоэффективности: энергетический показатель компактности формы здания; обобщенный приведенный коэффициент теплопередачи здания; среднее приведение сопротивление всей оболочки здания; показатель по индивидуальному годовому расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию 1 м^2 общей площади отапливаемого здания.

В ходе проектирования, строительства и эксплуатации здания должен осуществляться обязательный государственный метрологический контроль в области энергосбережения с помощью такого документа, как энергетический паспорт здания и определяться категориями здания по энергетической эффективности [14, 15].

В составе энергетического паспорта должен быть включен климатический паспорт города, так как учет факторов окружающей среды, воздействующих на здание и участвующих в формировании его внешнего объемно-пространственного решения является одним из важнейших требований к проектированию энергоэффективных зданий.

Комфортные условия для человеческого организма, которые должны приниматься во внимание при проектировании здания, складываются из двух элементов: внешних климатических условий и внутреннего микроклимата здания.

Взаимодействие между внешними климатическими условиями и микроклиматом помещения сказываются также на ограждающих конструкциях. В этих поверхностях происходит соприкосновение двух встречных энергетических потоков, поэтому, именно здесь также должен осуществляться контроль над энергетическими потоками.

Климатические факторы, включающие в себя микро- и макро- условия являются основным ключом при определении режима эксплуатации здания и его типологических особенностей.

Типологические особенности зависят от режима эксплуатации жилища и включают в себя особенности архитектурно-планировочных решений, инженерного оборудования и ограждающих конструкций.

В климатическом паспорте [8] указывается взаимосвязь этих типологических особенностей и климатических факторов, что важно при разработке энергетического паспорта.

Также в климатическом паспорте представлен график годового хода температур определяющий период отопления, данные которого используют при определении энергетических показаний.

ВЫВОДЫ

1. На основе предпроектных исследований необходимо разработать детальный проект реконструкции, содержащий технические решения и социально-экономические обоснования окупаемой реконструкции зданий кварталов и микрорайонов без сноса существующих зданий и при двух-, трехкратном приросте площадей жилья.

2. В детальном проекте реконструкции необходимо рекомендовать введение нового потребительского подхода к проектированию, когда не регламентируются отдельные составляющие, определяющие тепловой баланс здания, а нормируется здание в целом с энергетической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродач М.М.: Изопериметрическая оптимизация солнечной энергоактивности зданий. Гелиотехника 2, Ташкент, 1990.- 65с.
2. Бродач М.М.: Энергетический паспорт зданий/АВОК, 1993, № 12. –С.14-16.
3. Булгаков С.Н., Рыбалко И.В.: Окупаемая реконструкция пятиэтажной жилой застройки / Пром. и гражд. стр-во 2006, №5. –С.14-21.
4. Губернский Ю.Д., Лицкевич В.К.: Жилище для человека. -М.: Стройиздат, - 1991. -213с.
5. Дворецкий А.Т. Казьмина А.И.: Выбор и систематизации энергетических параметров энергоэффективности жилых зданий. Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов Национальной академии природоохранного и курортного строительства.
6. Казьмина А.И.: Климатический паспорт - первая ступень для проектирования зданий. Устойчивый Крым, инновационный потенциал Крымской академии природоохранного и курортно строительства, 2000. -234с.
7. Казьмина А.И.: Повышение уровня тепловой защиты зданий при их эксплуатации и реконструкции. Строительство и техногенная безопасность. Сборник научных трудов Национальной академии природоохранного к курортного строительства, выпуск 10, 2005. – 156 с.
8. Кратцер П.: Климат города Пер. с нем. -М.: 1988. 152с.
9. Матренинский С. И., Чернышев Е. М.: Проблемы функционирования и развития территорий массовой жилой застройки как системно-комплексных градостроительных образований // Вестник центрального регионального отделения РААСН. Воронеж - Липецк. Выл. 7. - 2008. С. 33-48.
10. Матренинский С.И., Мищенко В.Я., Спивак И.Е., Зубенко К.Ю.: Методологический подход к оценке морального износа территорий массовой жилой застройки. Пром. и гражд. стр-во. 2008. № 11.
11. Мвтренинский С. И., Мищенко В. Я., Спивак И. Е.: Методологический подход к оценке комфортности территорий массовой жилой застройки // Пром. и гражд. стр-во. 2008. № 12. С. 54-56.
12. Рагон М.: Города будущего. М.: Стройиздат, 1969. -120 с.

13. Развитие города: Сб. научн. тр. Под ред. проф. Л.В. Киевского.- М.: СвР-АРГУС, 2005. – 214 с.
14. Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник /Под общей ред. В. Н. Волковой и В. Н. Козлова. М.: Высш. шк., 2004. -616 с.
15. Системотехника строительства: энциклопедический словарь / Под ред. А. А. Гусакова. М.: Изд-во АСВ, -2004.- 320 с.
16. Табунщиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А.: Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений,- М.: Стройиздат, 1986. – 241с.
17. Хомич В.А.: Экология городской среды. -М: «АСВ», 2006. -145с.
18. Черешнев Н.В.: Экологические аспекты внедрения высокоплатной малоэтажной застройки в городах III климатического района. Дис... канд. архит. СПб, 1994. -163 с.
19. Jurobic S.A.: An investigation of the minimization of building energy load through optimization techniques. Los Angeles scientific center, IBM Corporation, Los Angeles, California.
20. Klaus Daniels: “The Technology of Ecological Building”, Birkhauser-Verlag fur Arhitektur, Basel, 1997. -213p.

INTERCOMMUNICATION OF PRE-PROJECT RESEARCHES AND CHARACTER OF RECONSTRUCTION OF DWELLING

Summary. Prior to the beginning of definition of character of reconstruction of buildings working out of applied techniques and their address decision.

Key words: reconstruction, climate, predesigned researches, the power passport.

ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УСТРОЙСТВ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ

Завалий Алексей

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины
«Крымский агротехнологический университет»

Аннотация. В двумерной постановке для решения задачи построения линии отражающей поверхности предложены оптико-геометрические модели, основанные на законах полного отражения, Ламберта и обратных квадратов для мощности излучения. Модели позволяют рассчитывать координаты линии зеркальной отражающей поверхности, обеспечивающей заданное правило распределения потока излучения на поверхности облучения.

Ключевые слова: инфракрасный, оптико-геометрическая модель, дискретизация.

ВВЕДЕНИЕ

Оптико-геометрическими моделями переноса излучения будем называть модели, построенные на основании законов полного отражения, закона Ламберта, закона обратных квадратов для мощности источника [1, 2].

С использованием этих законов можно построить линию зеркального отражателя, обеспечивающего заданное правило распределения потока излучения по облучаемой поверхности в устройствах инфракрасной сушки камерного и конвейерного типов [3], рабочий объем которых представлен плоскими сетчатыми лотками, источниками излучения и зеркальными отражателями (см. рис.1).

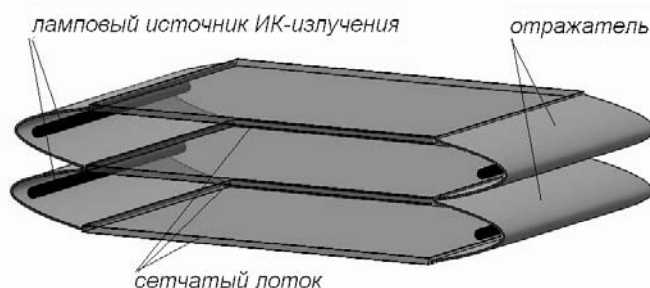


Рис.1 Рабочий объем установки инфракрасной сушки
Fig.1. The work unit volume of infrared drying

Схема поперечного сечения рабочего объема таких установок приведена на рис.2. Наиболее простой моделью будет та, которая реализует однократное

отражение зеркалом излучения, испускаемого источником, а наиболее простым правилом распределения потока излучения по поверхности является постоянство потока излучения:

$$q(x) = \text{const}, \quad (1)$$

где: x – координата длины поверхности.

Правило (1) для рассматриваемых рабочих объемов сушильных устройств может быть выполнено различными способами, к которым отнесем следующие: а) выполнение условия (1) каждым излучателем по всей длине поверхности облучения; б) выполнение условия (1) каждым излучателем на половине длины поверхности облучения; в) выполнение каждым i -м излучателем линейных зависимостей $q_i(x)$ по всей длине поверхности облучения, в сумме дающих правило (1) (см. рис.2).

Цель настоящей работы – разработка и сравнение моделей однократного отражения, обеспечивающих равномерность падающего потока излучения на поверхность облучения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Модели однократного отражения излучения от поверхности зеркала могут использовать разные алгоритмы построения линии зеркала. Рассмотрим два таких алгоритма.

Алгоритм 1. Модель равных косинусов углов падения излучения.

Линия поверхности облучения разбивается на равные по длине участки, для каждого из которых записывается условие равенства косинусов падения лучей от источника и от зеркала (см. рис.3):

$$\cos(\gamma_i) + \cos(\alpha_i) = \cos(\alpha_0) = \text{const}, \quad (2)$$

где: α_0 – угол падения луча от источника излучения в точку поверхности облучения с координатой $x=A$; i – номер участка поверхности облучения ($i=1, 2, \dots, n$).

Построение линии зеркала осуществляется в следующем порядке.

1. Для заданной длины поверхности облучения и высоты между поверхностями определяют место положения источника излучения в соответствии с правилом (2). Получают луч отраженного излучения АС, соединяющий начальный участок поверхности облучения с начальным участком линии зеркала (рис.3).

2. Из точки В следующего участка поверхности облучения строят луч под углом, соответствующим правилу (2). Из точки С строят линию, соответствующую закону полного отражения для источника излучения и точки В. Пересечение этих двух линий даст точку линии зеркала D. Это построение выполняют для всех участков поверхности облучения.

3. Линию зеркала получают симметричным отображением полученного массива точек относительно горизонтальной оси симметрии моделируемого объема. Так как для линии зеркала используют только часть полученных точек, участки поверхности облучения, расположенные ближе к краю поверхности, «остаются» без отраженных лучей.

В рассмотренном алгоритме закон обратных квадратов учитывается уточнением выражения (2):

$$\cos(\gamma_i) + \cos(\alpha_i) - ki = \cos(\alpha_0) = \text{const}, \quad (3)$$

где: k_i – коэффициент учета закона обратных квадратов, имеющий максимальное значение для участка с номером $i=1$ и равен 0 для последнего участка с $i=p$.

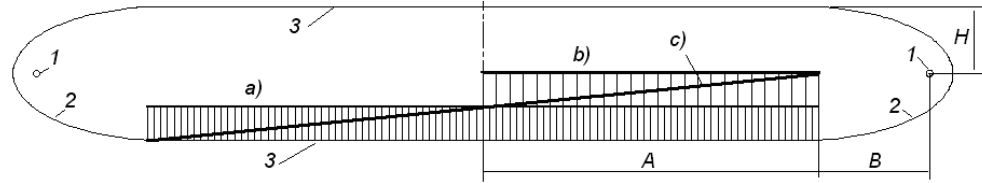


Рис.2. Схема рабочего объема устройства сушки
1 – источник излучения; 2 – зеркальный отражатель; 3 – поверхность облучения
Fig.2. The scheme of work unit volume of drying
1 - light source, 2 - mirror reflector, 3 - surface radiation

Алгоритм позволяет получить профили зеркала отражающей поверхности, тем лучше удовлетворяющие правилу (1), чем меньше размер участка разбивки поверхности облучения, то есть при $n \rightarrow \infty$. При конечном числе n линия зеркала представляет собой ломаную, состоящую в простейшем случае из отрезков прямых. В пределах каждого отрезка величина коэффициента k_i становится переменной. Степень изменения k_i существенно (по квадратичной зависимости) зависит от расстояния между источником и участком линии зеркала. То есть каждый участок линии зеркала будет отражать излучение в направлениях, ограниченных некоторым углом, охватывающим расчетный луч отражения. Угол будет тем больше, чем ближе участок зеркала к источнику.

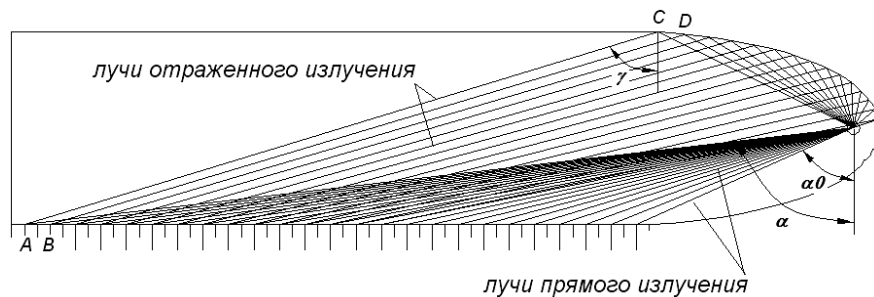


Рис.3. Рассеивание отраженных лучей для поверхностей зеркала
Fig.3. Dispersion of backbeams for the surfaces of mirror

На рис.4 приведены примеры рассеяния отраженных лучей для поверхностей зеркала, построенного с различной степенью дискретизации линии поверхности. Исходные данные для расчета: длина поверхности облучения $A=500$ мм; высота размещения источника излучения $H=50$ мм; удаление источника от границы поверхности $B=177,7$ мм.

На рис.4 γ – расчетный угол падения отраженного луча; β – наибольший угол отклонения от расчетного в пределах участка линии зеркала; $a(j)$ – координата места падения расчетного луча на поверхность облучения под углом γ ; $b(j)$ – координата места падения луча под углом β .

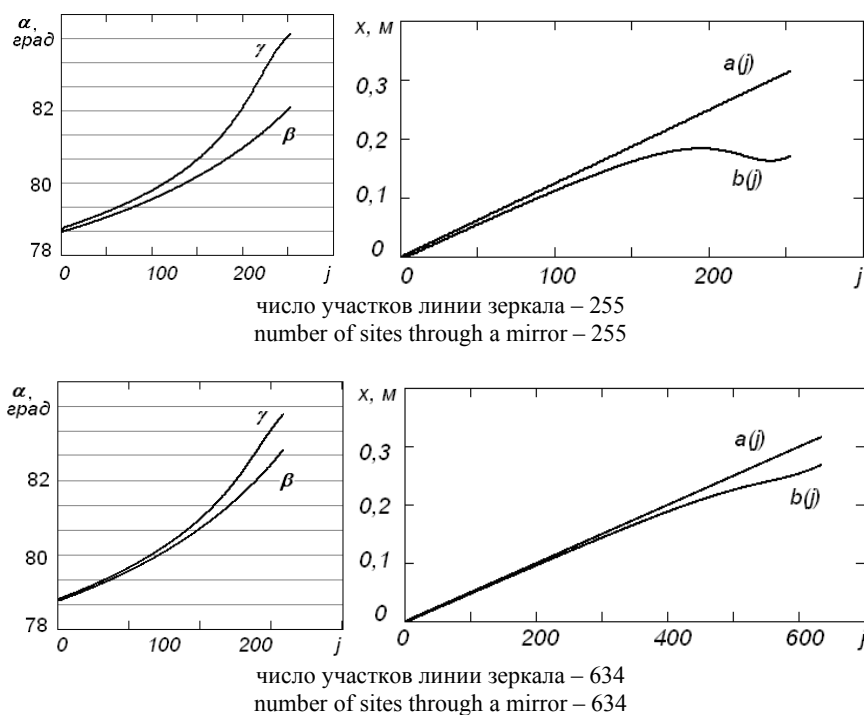


Рис.4. Рассивание отраженных лучей для поверхностей зеркала, построенного с различной степенью дискретизации линии поверхности
Fig.4. Dispersion of backbeams for the surfaces of mirror, built with the different degree of diskretizacii of line of surface

Как следует из рис.4, уменьшение размера участка линии зеркала уменьшает степень рассеяния лучей. Малое количество участков линии зеркала приводит к значительному рассеиванию и, как следствие, к «размыванию» распределения отраженных лучей. Отраженные лучи накладываются друг на друга, образуя сглаженную картину распределения потока излучения по поверхности облучения.

Алгоритм 2. Модель равных телесных углов излучения.

Линия поверхности облучения разбивается на равные по длине участки, а сектор излучения источника на поверхность зеркала на такое же количество равных углов излучения (рис.5). Для выбранных точек линии зеркала определяется угол наклона поверхности зеркала, обеспечивающий отражение в заданном направлении. Алгоритм обеспечивает перенос равных долей потока излучения от источника к соответствующим участкам поверхности облучения. Так как длина участков

поверхности одинакова, то и поток падающего излучения будет одинаков. Алгоритм не учитывает прямого излучения от источника в силу его малости по сравнению с отраженным излучением.

Построение линии зеркала осуществляется в следующем порядке.

1. Для заданной длины поверхности облучения и высоты между поверхностями определяют место положения источника излучения в соответствии с правилом (2). Получают луч отраженного излучения АС, соединяющий начальный участок поверхности облучения с начальным участком линии зеркала (см. рис.3).

2. Из центра положения источника излучения проводят лучи с одинаковым угловым смещением $d\phi$. Начальный луч АС расположен под углом ϕ :

$$\phi = \pi - \psi, \text{ где } \psi = \arctg(H/B), \quad (1)$$

где: H – высота размещения источника над поверхностью, м; B – удаление источника от края поверхности облучения, м.

Величина углового смещения: $d\phi = \phi/n$, где n – число участков поверхности облучения.

$$\text{Угол } i\text{-го луча определяется выражением: } \beta_i = \pi - (\psi + d\phi \cdot i). \quad (2)$$

Конечный луч направлен по горизонтальной оси симметрии к поверхности зеркала. Количество лучей равно количеству участков поверхности облучения.

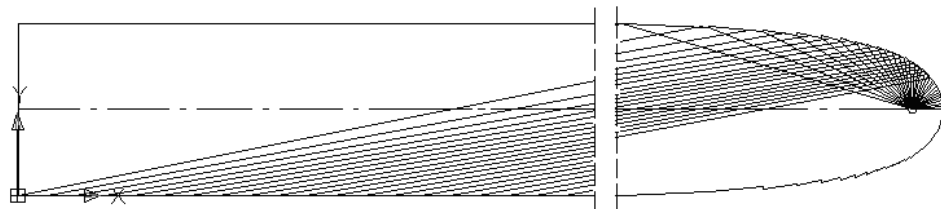


Рис.5. Разбиение поверхности облучения
Fig.5. Breaking up of surface of irradiation

3. Устанавливают правило изменения высоты (координата y_i) линии зеркала при переходе от луча к лучу, построенных в п.2, например: $y_i = Y_0 - dy \cdot i$, где $Y_0 = 2 \cdot H$.

Вычисляют координату x_i точки поверхности зеркала на i -м луче:

$$x_i = \frac{y_i + \operatorname{tg}(\beta_i) \cdot X_c - Y_c}{\operatorname{tg}(\beta_i)}, \quad (3)$$

где: X_c, Y_c – координаты центра источника излучения.

4. Вычисляют угол наклона линии зеркала, обеспечивающего отражение луча в конец i -го участка поверхности облучения:

$$\text{для начального луча АС: } \gamma_0 = \frac{\psi - \arctg(Y_0/X_0)}{2}, \text{ где } X_0 = A;$$

$$\text{для } i\text{-го луча: } \gamma_i = \frac{\arctg\left(\frac{x_i - a_i}{y_i}\right) - \left(\beta_i - \frac{\pi}{2}\right)}{2}, \text{ где } a_i = \frac{A}{n} \cdot i.$$

Результат вычислений – отрезки линии зеркала (см. рис.6а).

Луч, исходящий из точки линии зеркала, расположенной между точками 1 и 2 (см. рис.6), должен попасть на соответствующий участок поверхности облучения. Для этого угол наклона линии зеркала между точками 1 и 2 должен возрастать. Непрерывная линия зеркала в этом случае может быть только ломаной. Требуемое распределение потока излучения по поверхности облучения будет выполнено тем точнее, чем меньше размер участка линии зеркала.

Алгоритмы 1 и 2 построения линии зеркала позволяют проектировать зеркальные поверхности, обеспечивающие заданное правило распределения потока излучения по поверхности облучения. Алгоритм 1 позволяет строить гладкие поверхности линии зеркала, алгоритм 2 – ступенчатые линии зеркала. Конечное число участков линии зеркала в алгоритме 1, ступенчатая форма и конечное число участков линии зеркала в алгоритме 2 приводят к рассеянию потока излучения. Алгоритм 1 строит профиль зеркала, вычисляя расстояние от источника до точки на линии зеркала, алгоритм 2 позволяет выбирать это расстояние. Такая возможность позволяет размещать поверхность зеркала дальше от источника, что обеспечивает меньший нагрев поверхности зеркала конвективными потоками тепла от источника.

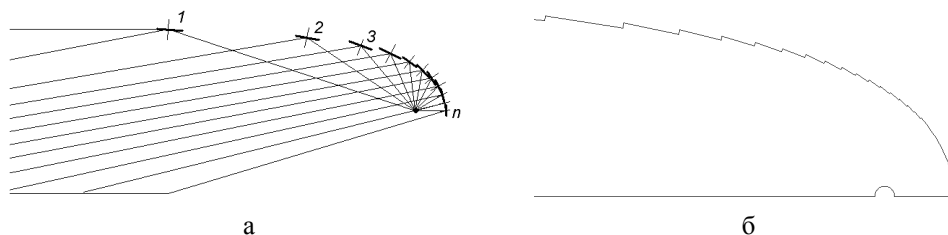


Рис.6. Построение профиля: а – алгоритм 1; б – алгоритм 2.
Fig.6. Construction of type: а - an algorithm 1; б - an algorithm 2.

Для обоих алгоритмов перераспределение потоков излучения возможно изменением углового положения участков линии зеркала. Для этого необходимо знать влияние каждого участка линии зеркала на распределение потока излучения.

Приведем пример построения профиля с использованием алгоритмов 1 и 2. Для построения примем значение полудлины поверхности облучения $A=500\text{мм}$, высоту положения источника излучения $H=50\text{мм}$. Количество участков разбивки поверхности $n=30$, то есть длина участка $dA=A/n=16,7\text{мм}$.

Используя алгоритм 1, определим смещение источника от края поверхности: $V=168\text{мм}$. Построим профиль зеркала. Затем линию зеркала разобьем на 30 участков равными углами. Получим координаты точек на линии зеркала, для этих координат вычислим углы положения участков линии зеркала в соответствии с алгоритмом 2. Построим отрезки линии зеркала, соединим их и получим ломаную линию зеркала. Результат построения представлен на рис. 7.

Как следует из рис.7, профили, построенные по обоим алгоритмам, геометрически очень близки, «ступеньки» зубцов профиля равных телесных углов, представленные в зоне увеличения на рис.6, не превышают 0,2мм.

С целью определения распределения теплового потока излучения по поверхности облучения для построенных профилей отражающих поверхностей решим задачу лучистого теплопереноса с помощью конечно-элементной модели переноса лучистой энергии [4]. Исходные данные для моделирования примем следующие: диаметр источника излучения – 5мм; тепловой поток источника излучения – 20000 Вт/м²; среда расчетного объема – воздух. Источник излучения и поверхность облучения - абсолютно черное тело, отражающая поверхность – поверхность зеркального отражения с коэффициентом отражения 1. Внешние условия теплообмена поверхности облучения и поверхности отражения соответствуют условиям естественного конвективно-лучистого теплообмена.

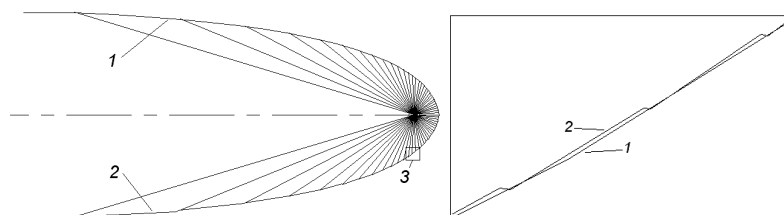


Рис.7. Построение профилей: 1 – профиль равных косинусов углов; 2 – профиль равных телесных углов; 3 – зона увеличения

Fig.7. Construction of types: 1 - profile of equal cosines the angles, 2 - profile of equal solid angles, 3 - zone increases

На рис.8 представлены контурные картины интенсивности падающего излучения для профиля «равных косинусов углов падения излучения» (рис.8а) и профиля «равных пространственных углов» (рис.8б).

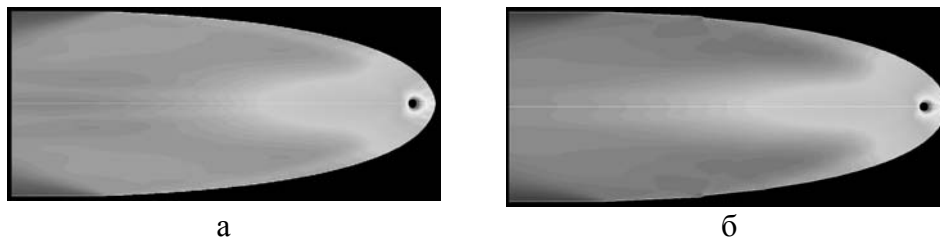


Рис.8. Контурные картины интенсивности падающего излучения для профилей:
а - «равных косинусов углов падения излучения»; б - «равных пространственных углов»;
Fig.8. Contour pictures of Intensities of falling radiation for types:
а - «equal cosines of angles of incidence of radiation»; б - «equal solid angles».

На рис.9 приведены графики изменения величины потока излучения по длине поверхности облучения $q(x)$. Зависимости $q(x)$ для обеих профилей аппроксимируются одной полиномиальной зависимостью 5-й степени со среднеквадратическим отклонением не более 4% от среднего значения падающего потока излучения.

Уменьшение величины потока падающего излучения $q(x)$ от периферии поверхности облучения к ее центру обусловлено конечным числом линейных участков линии зеркала, построенной обоими алгоритмами. Повысить степень равномерности $q(x)$ можно либо увеличением числа отрезков линии зеркала, либо изменением угла положения отдельных участков. Изменение угла положения представляется более технологичным приемом. Поэтому рассмотрим результат модификации профиля для модели «равных косинусов углов падения излучения» изменением углов положения участков, прилегающих к поверхности облучения, и участков вблизи источника излучения (рис.10).

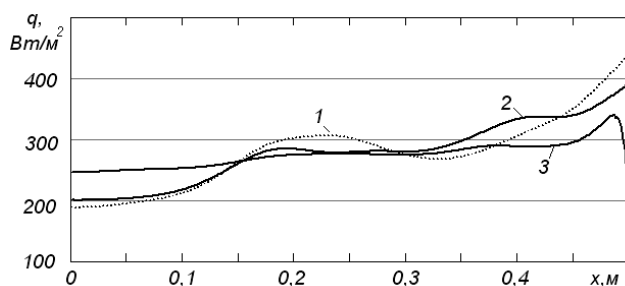


Рис.9. Зависимости величины потока излучения по длине поверхности облучения
1 – модель равных косинусов; 2 – модель равных телесных углов; 3 – модификация профиля для модели равных косинусов

Fig.9. Dependences of size of stream of radiation on length of surface of irradiation
1 - cosine model equals; 2 - a model of equal solid angles; 3 - modify the profile for the model equal to the cosine

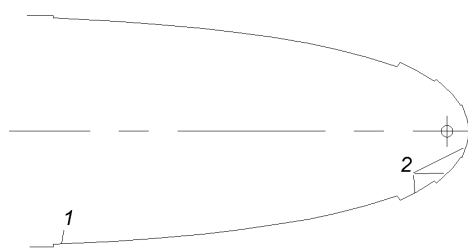


Рис.10. Модификация профиля для модели равных косинусов
1 – участки, прилегающие к поверхности облучения; 2 – участки вблизи источника излучения

Fig.10. Modify the profile for the model equal to the cosine
1 - areas adjacent to the surface irradiation, 2 - sites near the source of radiation

Распределение потока падающего излучения на поверхность облучения для приведенной модификации изображено кривой 3 на рис.8. Выполненные изменения линии зеркала позволили существенно уменьшить неравномерность $q(x)$. Так, если кривые 1 и 2 на рис.8 характеризуются максимальным отклонением $\pm 50\%$ от среднего значения, то кривая 3 имеет значение максимального отклонения $\pm 15\%$. Для кривых 1 и 2 среднее квадратичное отклонение составляет $58-60 \text{ Вт/м}^2$, для кривой 3 – 20 Вт/м^2 .

ВЫВОДЫ

Предложенные алгоритмы, реализующие модели однократного отражения, позволяют проектировать отражающие поверхности, обеспечивающие равномерное распределение потока излучения по облучаемой поверхности в устройствах инфракрасной сушки. Результирующая неравномерность обусловлена конечным числом участков линии зеркала и может быть существенно уменьшена изменением угла положения отдельных участков линии зеркала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. Учебное пособие: Для вузов. – 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848с.
2. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. Пер с англ. М.: Мир, 1975. – 934с.
3. Завалий А.А., Янович И.В. Инфракрасная камера для сушки плодов и овощей. // Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Выпуск 10. Том 6.- Мелитополь: ТДАТУ, 2009г. - С. 103-110.
4. Завалий А.А., Янович И.В. Оптимизация параметров дискретизации при моделировании систем инфракрасного нагрева методом конечных элементов. // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 12D. – Simferopol-Lublin. - 2010. С. 201-211.

OPTO-GEOMETRICAL MODELS FOR DESIGN OF REFLECTING SURFACE FOR DEVICE OF INFRARED DRYING

Annotation. To solve the problem of constructing the line proposed by the reflecting surface of the optical and geometric model based on the laws of total reflection, Lambert and the inverse square for the radiation power. The models allow us to calculate the coordinates of a line of mirror reflecting surface, providing a given rule of distribution of the radiation flux on the surface exposure.

Key words: infrared, opto-geometrical model, digitization, optimization.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ РОЗКИДАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

А. Кобець, Н. Нагієва

Дніпропетровський державний аграрний університет

Анотація. Досліджено конструкційні особливості роторного робочого органу та їх вплив на якісні показники роботи розкидачів мінеральних добрив. Проведено експериментальні дослідження, на основі яких зроблено висновки та вибрано модель для подальшого впровадження в виробництво.

Ключові слова: мінеральні добрива, розкидач відцентрового типу, експериментально-дослідна установка, напрямні ребра, відцентровий робочий орган, диск.

ВСТУП

Основну масу мінеральних добрив та хіммеліорантів (МДХ), що застосовуються в нашій країні і передових країнах світу, вносять за технологією основного удобрення ґрунту суцільним способом по його поверхні. Аналогічно проводять і підживлення окремих сільськогосподарських культур [1,3,8].

За останні 15 років ситуація з використанням мінеральних добрив в сільськогосподарському виробництві країн СНГ дуже змінилася. Одним з визначних факторів є висока вартість мінеральних добрив та машин для їх внесення. Не меншу роль відіграє і дороговизна паливо-мастильних матеріалів, оскільки питомі витрати пального і матеріальних ресурсів дуже високі.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

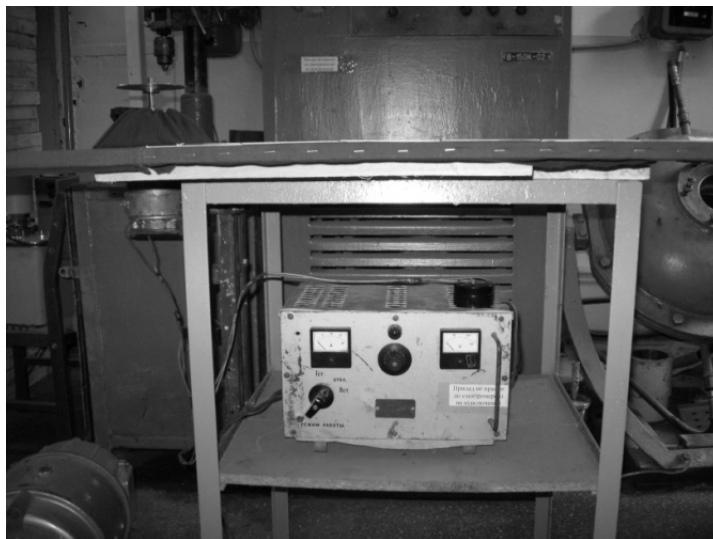
За спостереженнями вчених, рівень впливу на врожайність вирощуваних культур агротехнічних заходів та інших чинників при сумісному їх застосуванні становить: удобрення ґрунту – 50%, обробіток ґрунту – 20%, вибір сорту – 10%, захист від шкідників – 20% [2, 10, 19].

Вітчизняні виробники випускають машини для внесення мінеральних добрив МВД-900 (0,9м³) та МВД-0,5 (0,5м³), а також МВД-5СПРО і МД-4. За технічними характеристиками вищезгадані машини поступаються аналогам ведучих західних фірм (Amazone, Accord, Sulky, Diadem і ін.). Останні забезпечують високу рівномірність внесення мінеральних добрив, продуктивність але відрізняються високою вартістю.

Існуючі конструкції розкидачів мінеральних добрив відцентрового типу не забезпечують рівномірного внесення мінеральних добрив по поверхні поля. З метою підвищення цього показника було спроектовано та виготовлено чотири дослідних зразки роторних робочих органів діаметром 120 мм.[4,9,12,20] та один еталонний горизонтальний диск з чотирма лопатями. Висота лопатей дорівнювала 0,2 радіуса диска.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліди проводились на експериментальній установці ДДАУ у навчально-виробничій лабораторії.



а



в

Рис. 1. (а,в) Експериментально-дослідна установка

Fig. 1. Experimentally experimental setting

Дослідження були проведені на різних конструкціях робочих органів і робочим матеріалом був пісок та гранульовані мінеральні добрива (розмір гранул 1 мм).



№1



№2



№3



№4

Рис.2. Експериментальні робочі органи

Fig. 2. Experimental workings organs

На рис. 2 показано розроблені робочі. Диск №1 [11] із закріпленими на ньому ребрами, розташованими симетрично відносно осі обертання, а в утворених лопатях секторів встановлені напрямні ребра, кут нахилу яких та висота становить відповідно 15, 14 та 12 градусів та 0,12, 0,1 та 0,08 довжини радіуса у міру віддалення від осі обертання.

№2 – робочий орган для розсіювання мінеральних добрив з міжреберними прорізами, що включає диск із закріпленими на ньому ребрами, розташованими симетрично відносно осі обертання, кут нахилу яких та висота становить 15, 14 та 12 градусів та 0,12, 0,1 та 0,08 довжини радіуса у міру віддалення від осі обертання і в них зроблено вирізи в чотирьох місцях по радіусу кожного з ребер, з перекриттям цих вирізів. Такий кут нахилу ребер та величина радіуса проводилось з метою

забезпечення найбільшої дальності польоту робочої маси та рівномірності розташування її по поверхні ґрунту [15].

Під № 3 зображено робочий орган для розсіювання мінеральних добрив, ребра якого при піднятті над робочою поверхнею диску та розташовані під кутом до розкидаючого диску, відповідно з кутами раніше визначеними (згідно першого варіанту). Останні знаходяться над робочою поверхнею диска на деякій висоті і закріплені на ньому в двох місцях кожне [14].

Диск із закріпленими на ньому ребрами, розташованими симетрично відносно осі обертання, в утворених лопатями секторах встановлені напрямні ребра, з кутом нахилу 12 градусів та висотою, що дорівнює 0,08 радіуса диску, які беруть початок і кінець у точках зовнішнього радіуса вищезгаданих перпендикулярних лопатей - №4 [16]. №5 - серійний, горизонтальний робочий орган з чотирма радіально розташованими прямокутними лопатями.

Дослідження впливу різних експериментальних конструкцій роторних робочих органів на рівномірність внесення робочої суміші та продуктивності, проводились згідно розробленої методики [6,13,18] в десятикратній повторюваності. В порівнянні з серійним робочим органом відцентрового типу наші зразки були зменшені в 5 разів. Використовувались коефіцієнти подібності при перерахуванні рівномірності розташування робочої суміші по поверхні та при визначенні ширини захвату робочого органу [5,7,8,17].

Таблиця 1. Результати досліджень п'яти робочих органів відцентрового типу

Table 1. Results of researches of five workings organs of centrifugal type

Показники	Зразки робочих органів				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Пісок					
Коефіцієнт варіації, %	43	43	35	26	95
Похибка дослід, %	3,5	4,3	4,3	4,0	4,0
Робоча ширина захвату, м	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85
Карбамід					
Коефіцієнт варіації, %	35	25	23	10	89
Похибка дослід, %	4,0	4,5	4,0	3,9	4,0
Робоча ширина захвату, м	1,3	2,3	0,57	2,5	2,3

Аналіз експериментальних досліджень, представлених в таблиці, дозволяє зробити наступні висновки стосовно типу робочого органу розкидача мінеральних добрив відцентрового типу. Така робоча суміш, як пісок, яку ми вносили відповідними робочими органами, має нерівномірність розташування по поверхні установки 26% - орган для розсіювання мінеральних добрив, з встановленими напрямними ребрами, які беруть початок і кінець у точках зовнішнього радіуса лопатей. У інших випадках нерівномірність зростає, зокрема у серійного - до 95%. При використанні відповідних відцентрових дисків робоча ширина захвату становить 0,9 м та 0,85м.

При внесенні – карбаміду, коефіцієнт варіації нерівномірного внесення коливається від 10% до 89%, або нерівномірність розташування робочої суміші по поверхні установки у зразку №4 порівняно з №5 менша на 88%. При порівнянні

робочої ширини захвату ми бачимо, що найбільшого значення вона досягає у цього самого зразку. У дослідному елементі № 3 ширина захвату зменшується порівняно з еталонним на 75%. Це свідчить про те, що робочий орган під номером 4 має самі високі результати, порівняно з досліджувальними.

Отже найкращим варіантом для створення нового удосконаленого робочого органу є зразок №4. Його ми і створимо в натуральному виді.

ВИСНОВКИ

Експериментальний роторний робочий орган №4 забезпечив коефіцієнт варіації 10% при проведенні досліду на експериментальній установці. Ширина розкидання становила 2,5 м. При внесенні піску цим робочим органом відповідні показники становили 26% та 0,9м. При порівнянні даних з зразками №1-3, №5, ми бачимо, що вони суттєво (на 40%, 25% та 75%) втрачають переваги у нерівномірності внесення, але конструктивні параметри, практично, не впливають на ширину захвату агрегату. Що ж стосується внесення карбонату, то на 35%, в середньому по всіх дослідних зразках, №4 перевищує ширину розкидання робочої суміші, а нерівномірність внесення підвищується у №1 - на 71%, №2 – 60%, №3 – 57% та у співвідношенні з №5 – 95%.

Рекомендуємо виготовлення та впровадження в роботу роторного робочого органу №4. Вбачається подальший напрямок роботи з аналітичного обґрунтування поверхні диска, визначенні кута нахилу лопатей та обґрунтуванні їх кутів відносно горизонту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адамчук В.В.: //Резерви оптимізації внесення добрив. -Farmer, 2008. – С.24-27.
2. Адамчук В.В.: Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів: Автореф. дис... док. техн. наук: 05.05.11. –Національний аграрний університет, Київ, 2006. -17с.
3. Баловнев В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин. –Москва: Машиностроение, 1974. -234с.
4. ГОСТ 28714 – 2007. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытания.
5. Капустин Ю.А.: Причины снижения качества внесения МУ/ Э.А. Шарикова, И.И. Шихев// Техника в сельском хозяйстве. – 1987, №12. – С.32-33.
6. Кегелес Ю.С.: Обґрунтування форм вітрозахисного пристрою однодискового ввідцентрового розкидача.Зб.-2005. -145с.
7. Кравчук В.І.: Сучасні тенденції розвитку конструкції с/г техніки/ М.І. Грицигінна, С.М. Ковалюк, - К.: Аграрна наука, 2004 –396с.
8. Либерман К.Е.: Зарубежные машины для применения минеральных удобрений/ М. «Колос» - 1966. – 145с.
9. Михайленко В.А.: Теоретическое обоснование диаметра роторного рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений. В сб.: Комплексная механизация и электрификация с.-х. производства. Труды Днепорпетровского СХИ, т. XXXIII, 1976.-213 с.

10. Орган для розсіювання мінеральних добрив Патент на корисну модель № 56441 від 10.01.2011 р. Кобець А.С., Деркач О.Д., Ільченко В.Ю., Пугач А.М., Нагієва Н.О.
11. Пилипенко О.М.: Визначення параметрів ротора пневмівідцентрового туковисівного апарата/ Г.Р. Гаврилюк// Зб. «Механізація і електрифікація сільського господарства», - К. «Урожай». -198с.
12. Программа и методика испытания машин по внесению минеральных удобрений. ЦМИС, Солнечногорск, В/о «Союзсельхозтехника», 1965. -45с.
13. Робочий орган для розсіювання мінеральних добрив. Патент на корисну модель № 09385 Кобець А. С., Деркач О. Д., Ільченко В. Ю., Пугач А. М., Нагієва Н. О.
14. Робочий орган для розсіювання мінеральних добрив. Патент на корисну модель № 59632. Кобець А.С., Кухаренко П.М., Деркач О.Д., Ільченко В.Ю., Пугач А.М., Нагієва Н.О.
15. Робочий орган для розсіювання мінеральних добрив. Патент на корисну модель № 54408 Кобець А. С., Кобець О. М., Деркач О. Д., Волик Б. А., Пугач А.М., Нагієва Н.О.
16. Сендряков И.Ф.: Методика и техника проведения опытов по изучению влияния неравномерности внесения минеральных удобрений на урожай // Химия в сельском хозяйстве. - 1970, №8. -С. 23-25.
17. Сидоренко С., Ярмош І.: //Економічні аспекти використання дискових борін різної модифікації на операції дискування стерні. /Техніка і технології АПК, Науково-виробничий журнал. №9(12) вересень, 2010. –С.20-22.
18. Сметнев С.Д.: Состояние и перспективы механизация применения минеральных удобрений //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1971, №5 –С.56-59.
19. Хоменко М.С.: Исследование технологического процесса рассева минеральных удобрений центробежными аппаратами. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Челябинск, 1960. -152с.

RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF ROTOR WORKINGS ORGANS IS ON HIGH-QUALITY INDEXES OF WORK OF THROWING ABOUT OF MINERAL FERTILIZERS

Summary. Investigational construction features of rotor working organ and their influence on the high-quality indexes of work of throwing about of mineral fertilizers. Experimental researches on the basis of which conclusions are done and a model is chosen for the subsequent applying in industry are conducted.

Key words: mineral fertilizers, throwing about of centrifugal type, experimentally experimental setting, sending ribs, centrifugal working organ, disk.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКУССТВЕННОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТКОВЫХ СИСТЕМ

Николай Любомирский, Денис Воробьев

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. Проведен анализ исследований искусственной карбонизации в различных странах Мира. Установлены общие тенденции развития ускоренной искусственной карбонизации как эффективного инновационного метода борьбы с глобальным потеплением. Проанализированы экспериментальные данные ведущих бельгийских, японских, итальянских, австралийских и испанских ученых по изучению процесса искусственной карбонизации известковых систем и растворов, представленных на международных конференциях АСЕМА. Отмечены практические внедрения технологий производства строительных материалов на основе известки путем их искусственной карбонизации.

Ключевые слова: Строительные материалы и изделия, карбонизация, углекислый газ, известь.

ВВЕДЕНИЕ

Ускоренный процесс поглощения углекислого газа изучается учеными многих стран Мира в качестве перспективного процесса, применяемого к большому числу веществ и материалов различного происхождения и для различных целей. Интенсивное увеличение концентрации в атмосфере парниковых газов, вызывающих глобальное потепление, в настоящее время заставляет международное сообщество разрабатывать и применять эффективные технологии улавливания и хранения газа СО₂ [14]. Были предложены многочисленные щелочные материалы для использования их в качестве сорбентов для обеспечения безопасного и постоянного секвестрирования («хранения») диоксида углерода в результате применения ускоренной карбонизации. Са- и Mg-содержащие минералы, включая воллстонит, оливин, серпентин, известь и тальк, а также промышленные отходы, такие как угольные золы, зола-унос, доменный шлак, отходы целлюлозной промышленности и др. были определены как потенциально пригодные для этих целей [3].

Ускоренная карбонизация выше упомянутых отходов производств, а также материалов на основе цемента и известки, выступает как реальный способ улучшения свойств материала с точки зрения физико-механических характеристик и повышения их стойкости к воздействию окружающей среды. Кроме того, ускоренная карбонизация загрязненных почв была исследована как возможный шаг в процессе рекультивации, направленный на химическую стабилизацию неорганических загрязнителей, сокращению их выщелачивания из почвы, а также для улучшения геотехнических свойств почвы [2, 9, 12, 19]. Недавние исследования также определили карбонизацию как перспективный путь для повышения качества биогаза [14, 18].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проблема искусственной карбонизации извести была поставлена учеными еще в начале прошлого века (Takeo Aono, Nissan Zalmanoff, A.D. Cowper, A.A. Байков, Л.М. Розенфельд, Н.Н. Петин, И.Н. Завьялов, К.С. Зацепин и др.) [1, 7, 16, 17, 18, 20]. В современных условиях процесс искусственной карбонизации становится не только технологическим способом придания материалу заданных физико-механических свойств, но и дает возможность эффективно решить одну из главных проблем поставленным перед человечеством – снижения количества выбрасываемых промышленностью парниковых газов. Получение искусственных материалов на основе извести карбонизационного типа твердения активно изучается во многих странах Мира [15]. Эти исследования носят систематический комплексный характер, позволяющий уже сейчас целенаправленно использовать полученные результаты для внедрения их в экологически чистые и энергосберегающие технологии производства строительных материалов и изделий.

Целью настоящей статьи является анализ современного состояния исследований искусственной карбонизации известковых вяжущих, а также оценка исследований в данной области, которые проводятся в Украине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В европейском сообществе уделяется большое значение искусственной карбонизации, как одному из наиболее эффективных методов улавливания и использования диоксида углерода. В начале августа 2007 года университет Ноттингема (University of Nottingham) получил грант на общую сумму порядка 2,2 млн. долларов США на создание Центра инноваций по улавливанию и захоронению углерода (Center for Innovation in Carbon Capture and Storage – CICCS). Одной из программ Центра является использование углекислого газа для производства строительных материалов на основе полученного магнезита при искусственной карбонизации серпентина ($3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). К 2012 году после полной разработки данного процесса планируется использовать инновационное производство совместно с нефтедобывающими, химическими предприятиями, электростанциями и производителями строительных материалов для дальнейшей коммерциализации технологии.

С 2006 года проводится Международная конференция по ускоренной карбонизации для окружающей среды и материаловедения (International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering – ACEMA). Первая конференция ACEMA состоялась в 2006 году в Великобритании (Лондон), вторая – в 2008 году в Италии (Рим), третья – в 2010 году в Финляндии (Турку).

В конференциях ACEMA приняли участие более 100 ученых и инженеров из 23 стран, включая Австрию, Австралию, Бельгию, Бразилию, Канаду, Данию, Эстонию, Финляндию, Францию, Германию, Италию, Японию, Мексику, Норвегию, Польшу, Корею, Словакию, Испанию, Швецию, Швейцарию, Нидерланды, Великобританию и США.

Конференции посвящены теоретическим и прикладным исследованиям искусственной карбонизации различных видов природных материалов и промышленных отходов. Одним из основных направлений конференций была оценка условий и ограничений в применении карбонизации в технологиях улавливания и

использования углекислого газа. Целью конференций было также поощрение научных исследований и опытно-конструкторских работ по ускоренной карбонизации на международном уровне.

Традиционно конференции проводятся по 11 направлениях:

- Principles of accelerated carbonation (Принципы ускоренной карбонизации);
- Soils treated by carbonation (Карбонизированные почвы);
- Kinetics of accelerated carbonation (Кинетика ускоренной карбонизации);
- Accelerated carbonation of alkaline wastes (Ускоренная карбонизация щелочных отходов);
- Accelerated carbonation of minerals (Ускоренная карбонизация минералов);
- CO₂ capture by carbonation of raw materials (Улавливание CO₂ карбонизацией сырья);
- CO₂ storage by mineral carbonation (Захоронение CO₂ путем минеральной карбонизации);
- Accelerated carbonation of lime, cement and concrete (Ускоренная карбонизация извести, цемента и бетона);
- Accelerated carbonation of soils and sediments (Ускоренная карбонизация почв и донных отложений);
- Physical waste stabilization/chemical waste stabilization (Физическая/Химическая стабилизация отходов);
- Pilot- and full-scale applications for CO₂ capture and storage by accelerated carbonation (Ведущие и полномасштабные решения улавливания и захоронения CO₂ путем ускоренной карбонизацией).

В свете полномасштабных научно-исследовательских работ проводимых на Украине Национальной академией природоохранного и курортного строительства в области искусственной карбонизации известковых и известково-карбонатных систем, большой интерес составляют работы бельгийских ученых (Katholieke Universiteit Leuven), представленных на Международной конференции АСЕМА [4, 5, 6].

Искусственную карбонизацию гидратной извести проводили на экспериментальной установке при 20 и 100 % концентрацией углекислого газа, поглощение диоксида углерода выражалось функцией уменьшения концентрации CO₂ от времени. Непрерывно в процессе химической реакции исследовали изменение относительной влажности образцов. Также был проведен анализ влияния удельной поверхности гидроксида кальция на скорость реакции карбонизации. Кристаллографические исследования показали различную морфологическую структуру в зависимости от толщины карбонизированного слоя, от типа извести и концентрации CO₂. Учеными отмечено образование коррозии на поверхности скаленоэндрических кристаллов кальцита. Было установлено, что скаленоэндрический кальцит претерпевает существенные изменения при переходе в ромбоэндрическую форму при воздействии высокой концентрации диоксида. Несмотря на высокую концентрацию CO₂, 2,0-4,5% мас. гидроксида кальция остается некарбонизированными из-за действия высокой температуры экзотермической реакции, а также по причине уменьшенной диффузии углекислого газа в глубь образца вследствие образования и осаждения кристаллов кальцита. Также, в режиме реального времени, используя метод XRD, изучали изменения фазового состава известковых образцов при измерении кинетики реакции в зависимости от влажности известкового теста.

Исследования факторов, интенсивно влияющих на процесс карбонизации известковых систем, в настоящее время проводится учеными международной фирмы инженерного консалтинга Ove Arup & Partners [13]. Используя новейшие методы электронной микроскопии, рентгеноструктурного и термического анализа, а также ртутной парометрии австралийские ученые изучают структурные карбонизационные матрицы, аморфные и кристаллические формы карбоната кальция, а также полиморфные переходы портландит-кальцит в искусственно карбонизированных известковых системах.

Процесс карбонизации известковых растворов с учетом пуццолановых и воздухововлекающей добавок в среде насыщенном CO_2 активно изучается испанскими учеными (University of Granada) [8]. Исследователям удалось доказать, что в зависимости от типа используемой добавки изменяется внутренняя карбонизированная макроструктура, а скорость преобразования портландит-кальцит существенно не меняется.

По данным The Getty Conservation Institute (The Project Bibliographies series. Preservation of lime mortars and plasters) с 1935 по 1988 годы исследования в области естественной и искусственной карбонизации известки активно проводились в США (F.Blaky, B.Kroone, W.Klemm, P.Berger, G.Wendell, B.Ivan, G.Judd), Японии (Y.Hideo, A.Takeo, G.Yamada, O.Matsuda, O.Sakaedo, Y.Hiderhary, A.Iwazawa, H.Hikkita, T.Matsubara), Швеции (P.Heddin), Германии (P. Wieden, R.Snathlage, Y.Deutsch, L.Heller-Kallai), Зимбабве (Paige-Green), Италии (S.Martinez-Ramirez, F.Puertas, M.Blanco), Франции (C.Perrault, J.Maso), Нидерландах (H.Koneczny, M.Mielczarec), Великобритании (L.McCaig) [15].

Наиболее широко вопросами химизма, минералогии, физико-химических явлений процесса карбонизации и производства карбонизированных изделий изучаются учеными Японии (Industrial Reserch Institute of Kochi) [10, 11]. Исследования проводились на образцах цилиндрах диаметром 20 и 45 мм, формованных при удельном давлении прессования 10 кг/см^2 и 200 кг/см^2 . В качестве наполнителя использовали молотый доломит и известняк. Карбонизацию проводили при 30 и 100 % концентрации CO_2 в течении 6 – 30 ч, начальная температура карбонизации составляла 20, 50 и 80 °С, начальную формовочную влажность принимали 10 – 20 %. Полученные карбонизированные образцы имели прочность на сжатие (в зависимости от количества наполнителя и времени карбонизации) $103 - 848 \text{ кг/см}^2$. В качестве регулятора влажности использовали CaCl_2 . Проводилась также кристаллография и дифференциально-термический анализ новообразований. В результате многочисленных экспериментов, были выведены оптимальный состав сырьевой смеси и необходимые условия получения карбонизированного материала: 50 % мас. наполнителя, 40 % мас. гашеной извести, 10 % мас. воды, формуемых при удельном давлении прессования 250 кг/см^2 , время карбонизации 24 ч, температура карбонизации 50 °С. При этом степень карбонизации составляет 90 %, прочность карбонизированных образцов – 700 кг/см^2 , средняя плотность – $2,0 \text{ г/см}^3$. В качестве модифицирующих добавок, повышающих износостойкость и прочность на изгиб принимали асбест, ПВХ и СБР. Как отмечают авторы, введение добавок не только повышает физико-механические характеристики материала, но и расширяет область его коммерческого использования за счет возможности применения различных красящих пигментов и полировки поверхности. Полученные результаты легли в основу технологии производства асбестоизвестковых карбонизированных плит для внутренней отделки зданий.

В табл. 1 представлен анализ проводимых в мире в настоящее время исследований в области ускоренной искусственной карбонизации известковых и известково-модифицированных систем.

Таблица 1. Ведущие исследования в области ускоренной искусственной арбонизации известковых и известково-модифицированных систем

Table 1. There are leading researches in area of speed-up artificial carbonating of the lime and lime-modified systems

Характер исследования	Страны				
	Украина	Бельгия	Япония	Австралия	Испания
1	2	3	4	5	6
Организация	Национальная академия природоохранного и курортного строительства	Katholieke Universiteit Leuven	Industrial Reserch Institute of Kochi	Arup (Ove Arup & Partners International Ltd)	University of Granada
Исследуемый материал	Известковые, известково-карбонатные плотные и ячеистые системы	Известковое тесто	Известковые, известково-карбонатные плотные системы	Известковое тесто	Известковое тесто
Модифицирующие добавки	Жидкое стекло, гипс, алюминиевая пудра, КМЦ	-	Асбест, ПВС, СБР, CaCl ₂	-	Пуццолановые и воздухововлекающие добавки
Факторы карбонизации	Концентрация CO ₂ ; Температура карбонизации; Время карбонизации	Концентрация CO ₂ ; Время карбонизации	Концентрация CO ₂ ; Температура карбонизации; Время карбонизации	Концентрация CO ₂ ; Время карбонизации	Время карбонизации
Факторы исследуемого материала	Начальное водосодержание известкового теста; Удельное давление формования; Количество наполнителя и добавок; Температура обжига известняка; Тип поризованной структуры; Количество порообразователя;	Начальное водосодержание известкового теста	Начальное водосодержание известкового теста; Удельное давление формования; Количество наполнителя и добавок	Начальное водосодержание известкового теста	Начальное водосодержание известкового теста

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6
Методы исследования	Колометрия; Потенциометрический метод рН; ДТА; Метод XRD; Электронная микроскопия; Высокочастотный и ультразвуковой анализ	Колометрия; ДТА; Метод XRD; Электронная микроскопия	Колометрия; ДТА; Метод XRD; Электронная микроскопия	Колометрия; ДТА; Метод XRD; Электронная микроскопия; Ртутная парометрия	Колометрия; ДТА; Метод XRD; Электронная микроскопия
Направления исследования	Исследования макро- и микроструктуры; Фазовый состав и морфология новообразований; Физико-механические характеристики карбонизированного материала; Технология производства карбонизированных строительных материалов	Исследования макро- и микроструктуры; Фазовый состав и морфология новообразований	Исследования макро- и микроструктуры; Физико-механические характеристики карбонизованного материала; Технология производства карбонизованных строительных материалов	Исследования макро- и микроструктуры; Фазовый состав и морфология новообразований	Исследования макро- и микроструктуры; Фазовый состав и морфология новообразований

ВЫВОДЫ

Из проанализированной информации можно сделать вывод, что наиболее масштабные исследования по изучению ускоренной, искусственной карбонизации известковых систем проводятся в Украине и Японии. Исследования находятся в начале пути, представляют широкое поле для будущих исследований и являются перспективным направлением создания экологически чистых безотходных технологий получения безклинкерных малоэнергоёмких строительных материалов и изделий, имеющих особое экономическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aono T.: Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO_2 by CaO and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – 1931. – № 6. – P. 319 – 324.
2. Antemir A., Carey P.J., Hills C.D.: Pyrotechnic waste contaminated soil remediated by accelerated carbonation. [Электронный ресурс] / Second Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering.: <http://w3.uniroma1.it/> 28.01.2011.

3. Brouwer J.P. and Feron P.H.M. Mineral carbonation for CO₂ storage. [Электронный ресурс] / First International Conference on Accelerated Carbonation. –: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.
4. Cizer O., K. Van Balen and D. Van Gemert. Carbonation reaction of lime hydrate and hydraulic binders at 20°C. [Электронный ресурс] / Forum italiano calce.: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.
5. Cizer O., K. Van Balen and D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Forum italiano calce. – <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.
6. Cizer O., K. Van Balen and D. Van Gemert. Carbonation reaction kinetics of lime binders measured using XRD. [Электронный ресурс] / Forum italiano calce. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.
7. Cowper A.D. Lime and lime mortars. Building Research special report. [Электронный ресурс] / Project Bibliographies. Режим доступа: <http://www.getty.edu/> 28.01.2011.
8. Cultrone G., Sebastián E. and Ortega Huertas M. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural // Cement and Concrete Research Volume 16. – 2005. – Issue 12. – P. 278-289.
9. Garrabrants A.C., H.A van der Sloot, Meeussen J.C.L. & D. S. Kosson. Effects of atmospheric and leachant carbonation on retention of contaminants in cement-based waste forms. [Электронный ресурс] / First International Conference on Accelerated Carbonation. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.
10. Matsuda O., Yamada H. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 8 – 17.
11. Matsuda O., Yamada H. Investigation of the manufacture of building materials by carbonation hardening of slaked lime // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 170 – 179.
12. Melton J.S. and Tarabadkar K.M. Accelerated carbonation of contaminated sediments and its application. [Электронный ресурс] / First International Conference on Accelerated Carbonation. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.
13. Moorehead A., Cementation by the carbonation of hydrated lime // Cement and Concrete Research Volume 16. - 1986. - September. - P. 700-708.
14. Reddy K.J., John Sanil. Accelerated Carbonation mineral carbonation of flue gas carbon dioxide pilot scale study. [Электронный ресурс] / Third International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering. – Режим доступа: <http://web.abo.fi/> 27.01.2011.
15. The Getty Conservation Institute. The GCI Project Bibliographies series. Preservation of lime mortars and plasters. [Электронный ресурс] / Project Bibliographies. Режим доступа: <http://www.getty.edu/> 28.01.2011.
16. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building // Rock Products. – 1956. – September. – P. 84 – 90.
17. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186.
18. Zevenhoven R., Sipilä J., Teir S. – FI. Motivations for carbonating magnesium silicates using a gas-solid process route. [Электронный ресурс] / Second International

Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering. – Режим доступа: <http://w3.uniroma1.it/> 29.01.2011

19. Гасанов А., Нестеренко Е., Люлько А.: Ресурсосбережение в производстве строительных материалов // Motrol. Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 134 – 137.

20. Розенфельд Л.М.: Исследования пенокарбоната. Научное сообщение // М.: ЦНИИС. – 1952. – № 23. – 51 с.

MODERN STATE OF RESEARCHES OF ARTIFICIAL CARBONATING OF LIME SYSTEMS

Annotation. The analysis of researches of the artificial carbonating is conducted in the different countries of the World. General progress of the speed-up artificial carbonating trends are set as an effective innovative method of fight against the global warming. Experimental data of the leading Belgian, Japanese, Italian, Australian and Spanish scientists are analysed on the study of process of the artificial carbonating of the lime systems and solutions, presented on the international conferences of ACEMA. Practical introductions of technologies of production of building materials are marked on the basis of lime by their artificial carbonating.

Key words: building materials and wares, carbonating, carbon dioxide, lime.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИСКУССТВЕННО КАРБОНИЗИРОВАННОГО КАМНЯ

Николай Любомирский, Татьяна Бахтина, Александр Бахтин,
Арсен Джелял

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Аннотация. Исследовано изменение прочности известковых образцов в зависимости от качества извести и концентрации углекислого газа в процессе карбонизации. Проведена оптимизация технологических параметров получения известковых карбонизированных образцов с использованием методов оптимального планирования эксперимента. Построены трехмерные области оптимальных параметров получения карбонизированных материалов, позволяющие комплексно оценить совместное влияние качественных показателей известкового вяжущего, концентрации углекислого газа, водосодержания сырьевой смеси и продолжительности карбонизации.

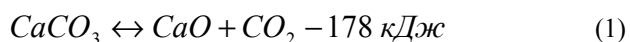
Ключевые слова: известь, концентрация углекислого газа, карбонизационное твердение, оптимизация технологических параметров, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Основным направлением развития строительной отрасли является расширение высококачественных строительных материалов и изделий, интенсификация производственных процессов, разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий [5]. Внедрение в производство новых технологий получения строительных материалов и изделий требует тщательного изучения всех этапов и параметров процесса. Авторами статьи была предложена технология производства стеновых материалов на основе извести методом искусственной карбонизации по замкнутому циклу, состоящая в получении комовой негашеной извести, гашении извести в пушонку, формовании кирпича из смеси гидратной извести и карбонатного наполнителя, обработке кирпича отходящими печными газами [7]. Предыдущими исследованиями установлено, как на физико-механические свойства карбонизированных материалов влияют параметры их формования и продолжительность карбонизации [10]. В перспективе промышленного производства, помимо уже полученных данных, важными факторами, которые могут существенно повлиять на свойства получаемых строительных материалов, являются качественные характеристики извести, определяемые технологическими параметрами ее изготовления, а также концентрация углекислого газа в отходящих печных газах.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Основным технологическим процессом при производстве извести является обжиг известняка:



Из работ, посвященных изучению обжига известняка при получении негашеной извести, известно, что температура образования окиси кальция оказывает исключительно большое влияние на ее реакционную способность [3, 4]. Различие в реакционной способности извести, обожженной в неодинаковых условиях, обусловлено размерами ее кристаллитов, их удельной поверхностью. Процесс спекания протекает во времени, причем каждой температуре соответствует определенное состояние кристаллической решетки, и как следствие, определенная реакционная активность CaO. Плотный известняк, из которого углекислый газ удален при 800°C, практически не меняется в объеме, средняя плотность при этом очень близка к теоретическому значению – 1,57 г/см³. Такой низкотемпературный обжиг приводит к появлению кристаллитов окиси кальция размером около 0,3 мкм, причем все частицы имеют примерно одинаковую величину. При повышении температуры обжига CaCO₃ происходит рост кристаллов CaO. Так при 900°C размер их составляет 0,5 – 0,6 мкм, при 1000°C – 1 – 1,5 мкм, при 1100°C – 2,5 мкм. При 1200°C частицы сначала увеличиваются до 6 – 13 мкм, а затем наступает спекание. Каждому размеру частиц соответствует определенная величина их плотности. Так, спекание начинается при плотности 2,45 – 2,5 г/см³. Длительная выдержка при температуре 1400°C и выше дает полностью спекшиеся образцы с плотностью 3,3 г/см³, так называемый «пережог».

Согласно литературным источникам [3, 4], наибольшей активностью и скоростью гашения характеризуется известь, обожженная при температуре 900 – 1000 °C.

О влиянии концентрации углекислого газа на процесс карбонизации известкового теста существует несколько взглядов. К.С. Зацепин и З.Л. Борисова [6] считали, что процесс нормальной карбонизации возможен при концентрациях углекислого газа не менее 25 – 30 %. При более низких концентрациях образуется поверхностная пленка, замедляющая интенсивность процесса. Розенфельд Л.М. [9] опроверг данное утверждение и показал, что процесс карбонизации в пористых массах не зависит от концентрации в газовой смеси углекислого газа, а является функцией времени процесса карбонизации. В работе бельгийских ученых О. Cizer, К. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert [11] показано, что процесс карбонизации в известковых образцах проходит как при 100 %-й концентрации CO₂, так и 20 %-й. При этом степень карбонизации достаточно высокая в обоих случаях, но не полная, т.к. данные термического анализа показывают присутствие гидроксида кальция в известковом растворе в количестве 3 % и 5 %, соответственно. Главное отличие в структуре образцов по данным исследователей состояло в размере кристаллов кальцита – структура образцов, карбонизированных в среде 100 % CO₂, была представлена ромбоэдрическими кристаллами кальцита размером до 2 мкм, а образцы, карбонизированные в среде 20 % CO₂, состояли из ромбоэдрических кристаллов кальцита размером менее 1 мкм. Это, вероятно, приводит к различию не только в структуре и пористости, но и в физико-механических свойствах известковых карбонизированных образцов. Подобные исследования проводятся в различных странах мира [12 – 20].

Концентрация углекислого газа в отходящих печных газах зависит от типа и мощности печного агрегата и в среднем составляет 20 – 40 % [7].

Целью данной работы является исследование закономерностей изменения физико-механических свойств карбонизированных материалов на основе извести в зависимости от качества исходных компонентов и технологических параметров процесса карбонизации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения совместного влияния температуры обжига известняка, концентрации углекислого газа в карбонизационной камере, водосодержания сырьевой смеси и времени карбонизации на свойства карбонизированных известковых образцов, применялись методы математического планирования эксперимента. Оптимизацию проводили на основе рототабельного центрального композиционного плана (РЦКП).

Условия планирования эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1. Условия планирования эксперимента

Table 1. Terms of planning of experiment

Наименование фактора	Ед. изм.	Код	Уровни варьирования				
			-2	-1	0	1	2
Температура обжига, T	°С	X ₁	800	900	1000	1100	1200
Концентрация CO ₂	%	X ₂	10	30	50	70	90
Время карбонизации, t	ч	X ₃	1	3	5	7	9
Влажность сырьевой шихты, W	%	X ₄	5	10	15	20	25

Для обжига использовали нуммулитовый известняк Бахчисарайского месторождения, фракцией 10-20 мм. Химический состав нуммулитового известняка представлен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав известняка Бахчисарайского месторождения

Table 2. Chemical composition of limestone of the Bakhchisarai deposit

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	п.п.п.
0,67	0,3	0,24	54,3	0,34	0,02	44,13

Обжиг известняка осуществляли в электрической лабораторной муфельной печи. Исследуемая температура изотермической выдержки составляла 800, 900, 1000, 1100, 1200 °С. Время подъема температуры до температуры изотермической выдержки составляло 60 мин. Время изотермической выдержки – 180 мин.

После охлаждения известь затворяли водой в количестве 60 % мас. для получения извести-пушонки с остаточной влажностью 1 – 2 % мас., после чего полученный продукт высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105 °С.

Из полученной извести-пушонки методом полусухого прессования формовали образцы-цилиндры. Удельное давление прессования было постоянным и составляло 7,5 МПа. Изготовленные образцы подвергали обработке углекислым газом разной концентрации в лабораторной карбонизационной камере [8] в течение 1 – 9 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В результате обжига известняка при различной температуре было получено несколько видов извести, свойства которых представлены в табл. 3.

Таблица 3. Свойства извести, обожженной при различной температуре

Table 3. Properties are a lime, burnt at a different temperature

№ образца	Температура обжига, °С	Активность извести, %	Удельная поверхность, см ² /г
1	800	22,8	-
2	900	-	14555
3	1000	100	13245
4	1100	-	11420
5	1200	94,3	8130

Данные об удельной поверхности подтверждают уменьшение кристаллов извести с уменьшением температуры обжига.

Физико-механические свойства карбонизированных известковых образцов представлены в табл. 4 – 5.

Таблица 4. Физико-механические характеристики карбонизированных известковых образцов, полученных из известкового теста влажностью 10 % и хранившихся в нормальных воздушно-сухих условиях

Table 4. Physical and mechanical descriptions of the carbonated lime standards got from lime dough humidity 10 % and kept in normal air-dry terms

Параметры получения опытных образцов			Прочность, R _{сж} , МПа, в возрасте, сут			Коэффициент размягчения K _p в возрасте, сут	
температура обжига, °С	время карбонизации, час	концентрация CO ₂ , %	после карбонизации	7	160	после карбонизации	160
900	3	30	6,2	6,6	7,7	0,94	0,92
		70	7,1	5,9	6,9	0,68	0,68
	7	30	5,8	4,8	7,9	0,91	0,87
		70	8,0	7,0	7,2	0,82	0,93
1100	3	30	8,4	10,5	12,9	0,88	0,73
		70	8,4	7,7	9,5	0,75	0,67
	7	30	13,4	12,0	14,6	0,60	0,80
		70	10,8	8,2	11,4	0,78	0,72

Таблица 5. Физико-механические характеристики карбонизированных известковых образцов, полученных из известкового теста влажностью 20 % и хранившихся в нормальных воздушно-сухих условиях

Table 5. Physical and mechanical descriptions of the carbonated lime standards got from lime dough humidity 20 % and kept in normal air-dry terms

Параметры получения опытных образцов			Прочность, $R_{сж}$, МПа, в возрасте, сут			Коэффициент размягчения K_p в возрасте, сут	
температура обжига, °С	время карбонизации, час	концентрация CO_2 , %	после карбонизации	7	160	после карбонизации	160
900	3	30	8,8	7,7	8,7	0,69	0,92
		70	9,3	8,0	9,9	0,72	0,79
	7	30	13,0	11,9	13,2	0,77	0,89
		70	7,0	6,1	9,7	0,7	0,82
1100	3	30	17,1	12,7	17,1	0,7	0,82
		70	15,2	13,1	18,3	0,9	0,88
	7	30	4,7	3,5	9,5	0,4	0,55
		70	17,1	13,7	15,3	0,69	0,81

Табличные данные показывают, что образцы, полученные из извести низкотемпературного обжига обладают меньшей прочностью, по сравнению с образцами на основе извести, полученной при 1000 – 1100 °С. Прочность на сжатие большинства образцов увеличивается после продолжительного хранения. Время карбонизации незначительно влияет на прочность испытываемых образцов – после 7 ч карбонизации прочность увеличивается в среднем на 10 – 20 % по сравнению с образцами, карбонизированными в течение 3 ч.

Стандартная обработка рототабельного плана [9] позволила вывести уравнения регрессии (1) – (2), описывающие аналитическую функцию изменения технологических параметров от исследуемых факторов, на основании которых были построены график (рис. 1), отображающий зависимость прочности известковых карбонизированных образцов от температуры обжига известняка, концентрации CO_2 в камере карбонизации и водосодержания известкового теста, и трехмерные поверхности отклика (рис. 2 – 3), отображающие оптимальные области и их сечения для получения карбонизированных известковых образцов прочностью 10 и 15 МПа, обладающих водостойкостью не менее 0,8.

Полученные уравнения регрессии прочности на сжатие, Y_1 (2) и водостойкости, Y_2 (3) карбонизированных образцов в сухом состоянии в возрасте 1 сут после карбонизации, отображающие влияние исследуемых факторов, имеют следующий вид:

$$Y_1 = 10,9 + 1,76X_1 + 0,4X_2 + 0,4X_3 + 1,5X_4 - 0,17X_1^2 - 0,53X_2^2 - 0,1X_3^2 - 0,5X_4^2 + 0,46X_1X_2 - 0,3X_1X_3 + 0,2X_1X_4 + 0,2X_2X_3 + 0,1X_2X_4 - 0,98X_3X_4, \quad (2)$$

$$Y_2 = 0,92 - 0,03X_1 + 0,02X_2 - 0,02X_3 - 0,03X_4 - 0,02X_1^2 - 0,03X_2^2 - 0,09X_3^2 - 0,03X_4^2 + 0,06X_1X_2 - 0,05X_1X_3 + 0,03X_2X_3 + 0,04X_2X_4 - 0,03X_3X_4. \quad (3)$$

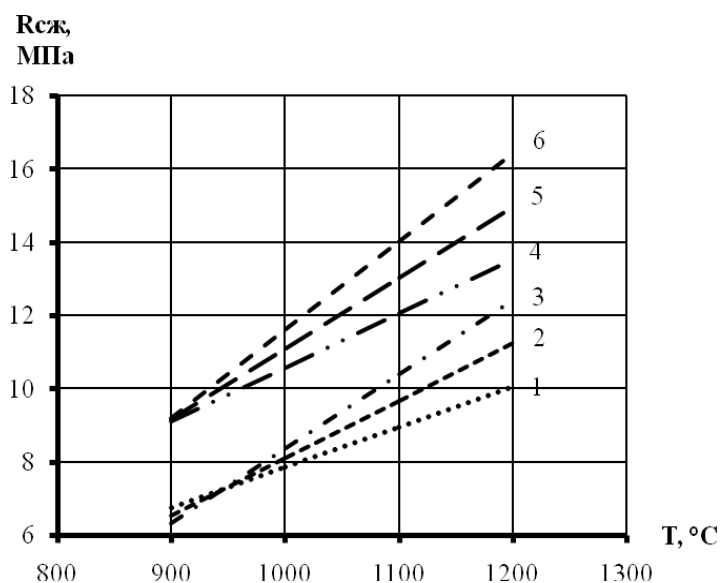


Рис. 1. Прочность на сжатие опытных образцов, карбонизированных в течение 5 ч, в зависимости от температуры получения исходной извести, влажности формующей смеси, % мас. и концентрации углекислого газа, %:
1 – 10 и 30; 2 – 10 и 50; 3 – 10 и 70; 4 – 20 и 30; 5 – 20 и 50; 6 – 20 и 70.

Fig. 1. Durability on the compression of the pre-production models carbonated during 5 hours, depending on the temperature of receipt of initial lime, to humidity of mouldable mixture, % mas. and concentrations of carbon dioxide, %:
1 – 10 and 30; 2 – 10 and 50; 3 – 10 and 70; 4 – 20 and 30; 5 – 20 and 50; 6 – 20 and 70.

Из графиков, представленных на рис. 1 следует, что прочность карбонизированных образцов возрастает с увеличением температуры обжига известняка и концентрации углекислого газа в карбонизационной камере. С увеличением температуры получения извести с 900 до 1200 °С и концентрации CO₂ в камере карбонизации с 30 до 70 % при водосодержании формовочной смеси 10 и 20 % мас. прочность увеличивается в среднем в 1,6 – 2 раза. Следует отметить, что 30 %-ная концентрация CO₂ в карбонизационной камере является достаточной для прохождения процесса карбонизации и получения образцов с прочностью не менее 10 МПа. Продолжительность карбонизации при этом должна составлять не менее 5 ч. Существенным фактором, определяющим прочность образцов на сжатие, является водосодержание известкового теста. Так, при прочих равных условиях получения, прочность на сжатие карбонизированных образцов из теста, содержащего 20 % мас. воды, на 30 % выше прочности образцов из теста, содержащего 10 % мас. воды.

Из сечений оптимальной области, представленных на рис. 2, следует, что получение карбонизированных образцов с прочностью не менее 10 МПа в условиях

30 %-й концентрации CO_2 возможно из мягко обожженной извести при температурах 900 и 1000 °С, продолжительность карбонизации при этом должна составлять не менее 5 ч, а водосодержание сырьевой смеси находиться в пределах 15 – 20 % мас.

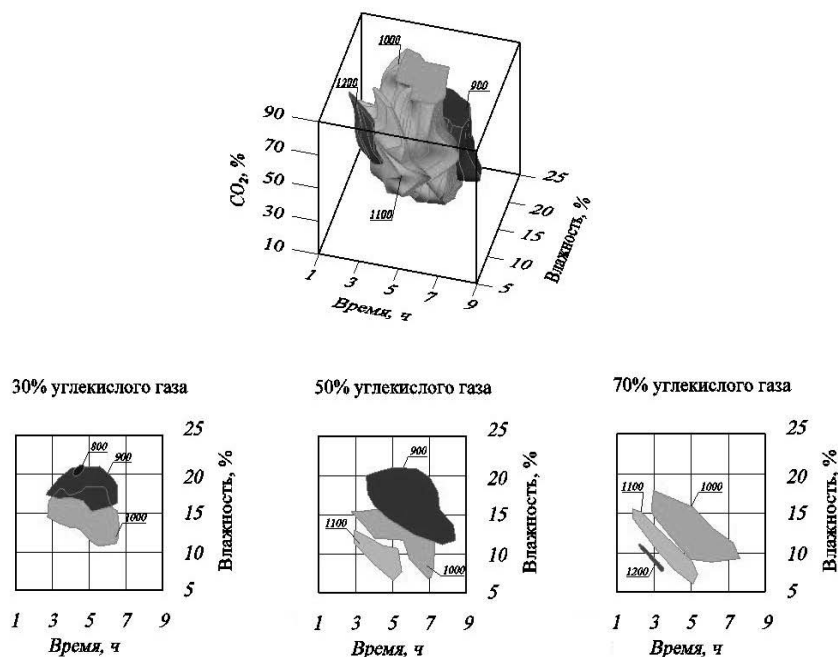


Рис. 2. Поверхности отклика оптимальных значений параметров для получения карбонизированных образцов прочностью на сжатие 10 МПа и водостойкостью 0,8 в зависимости от исследуемых факторов

Fig.2. Surfaces of response of optimal values of parameters for the receipt of the carbonated standards durability on a compression 10 MPa and water resistance 0,8 depending on the investigated factors

Сечения, представленные на рис. 3 свидетельствуют, что для получения материала на основе извести карбонизационного твердения прочностью не менее 15 МПа требуется известь, полученная при более высоких температурах (1100 и 1200 °С) и более высокая концентрация углекислого газа в камере карбонизации (порядка 40 % и выше). Водосодержание сырьевой смеси и длительность обработки углекислым газом при этом составляют 15 – 20 % мас. и 5 ч, соответственно.

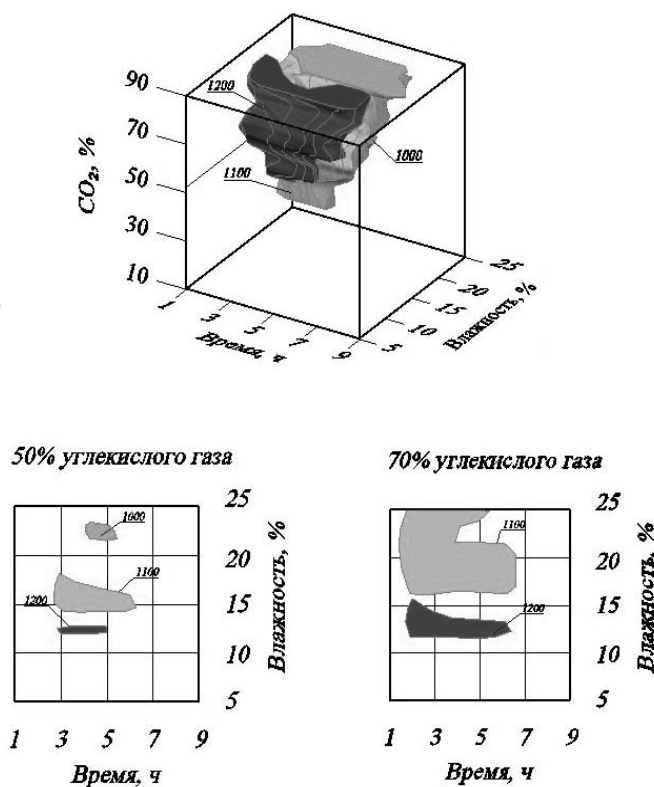


Рис. 3. Поверхности отклика оптимальных значений параметров для получения карбонизированных образцов прочностью на сжатие 10 МПа и водостойкостью 0,8 в зависимости от исследуемых факторов

Fig.3. Surfaces of response of optimal values of parameters for the receipt of the carbonated standards durability on a compression 10 MPa and water resistance 0,8 depending on the investigated factors

ВЫВОДЫ

1. Определено влияние температуры обжига известняка при получении извести и концентрации углекислого газа на процесс ее карбонизации. С увеличением температуры получения извести с 900 до 1200 °С и концентрации CO₂ в камере карбонизации с 30 до 70 % при водосодержании формовочной смеси 10 и 20 % мас. прочность увеличивается в среднем в 1,6 – 2 раза.

2. Установлено, что 30%-ная концентрация углекислого газа в камере карбонизации является достаточной для получения известковых карбонизированных образцов, обладающих прочностью не менее 10 МПа и водостойкостью более 0,8. Для получения образцов с большей прочностью необходимо увеличение концентрации CO₂ в камере до 40 – 50 %.

3. Получены уравнения регрессии изменения прочности на сжатие и водостойкости карбонизированных известковых образцов в зависимости от основных технологических факторов – качества исходной извести (температуры обжига известняка), концентрации углекислого газа в камере карбонизации, времени карбонизации и водосодержания сырьевой смеси. Построены трехмерные поверхности отклика, позволяющие оптимизировать технологические условия получения карбонизированных изделий на основе извести с требуемыми свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическая установка и методика изучения процесса карбонизации извести / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин, Т.А. Локтионова, В.Г. Носатов // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2007. – вып. 19-20. – С. 74 – 78.
2. Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З. и др.: Под ред. Г.К. Круга. Статистические методы в инженерных исследованиях. – М.: Высш. школа, 1983. – 216 с.
3. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В.: Химическая технология вяжущих материалов. Под ред. Тимашева В.В. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
4. Бутт Ю.М.: Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю.М. Бутт, Л.Н. Рашкович. – М.: Стройиздат, 1965. – 223 с.
5. Гасанов А., Нестеренко Е., Люлько А.: Ресурсосбережение в производстве строительных материалов // Motrol. Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – 2009. – Vol. 11A. – P. 134 – 137.
6. Зацепин К.С.: Известковые карбонизированные строительные материалы: сборн. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам. Т. 2 / Зацепин К.С. – М.: Московская правда, 1952. – С. 283 – 290.
7. Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С.: Технология производства кирпича на основе известково-карбонатной композиции карбонизационного твердения / Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2010. – вып. 32. – С. 60 – 69.
8. Монастырев А.В.: Глубокая переработка карбонатного сырья при производстве извести // Строительные материалы. – 2008. – №5. – С. 100-106.
9. Розенфельд Л.М.: Исследования пенокарбоната / Розенфельд М.Л. – М.: Госстройиздат, 1955. – 52 с.
10. Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С.: Оптимизация технологических параметров получения лицевого кирпича на основе извести карбонизационного твердения // Сб. научн. трудов. Строительство, материаловедение, машиностроение. – Дн-вск: ПГАСА. – 2010. – Вып. 56. – С. 265 – 270.
11. Cizer O., K. Van Balen and D. Van Gemert.: Crystal morphology of precipitated calcite crusted calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Forum italiano calce. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.

12. Cizer O., K. Van Balen and D. Van Gemert.: Carbonation reaction kinetics of lime binders measured using XRD. [Электронный ресурс] / Forum italiano calce. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.

13. Cowper A.D.: Lime and lime mortars. Building Research special report. [Электронный ресурс] / Project Bibliographies. Режим доступа: <http://www.getty.edu/> 28.01.2011.

14. Cultrone G., Sebastián E. and Ortega Huertas M.: Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural // Cement and Concrete Research Volume 16. – 2005. – Issue 12. – P. 278-289.

15. Garrabrants A.C., H.A van der Sloot, Meeussen J.C.L. & D. S. Kosson. :Effects of atmospheric and leachant carbonation on retention of contaminants in cement-based waste forms. [Электронный ресурс] / First International Conference on Accelerated Carbonation. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.

16. Matsuda O., Yamada H.: Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 8 – 17.

17. Matsuda O., Yamada H.: Investigation of the manufacture of building materials by carbonation hardening of slaked lime // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – 1973. – № 125. – P. 170 – 179.

18. Melton J.S. and Tarabadkar K.M.: Accelerated carbonation of contaminated sediments and its application. [Электронный ресурс] / First International Conference on Accelerated Carbonation. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> 28.01.2011.

19. Moorehead A.: Cementation by the carbonation of hydrated lime // Cement and Concrete Research Volume 16. - 1986. - September.- P. 700-708.

20. Reddy K.J.: John Sanil. Accelerated Carbonation mineral carbonation of flue gas carbon dioxide pilot scale study. [Электронный ресурс] / Third International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering. – Режим доступа: <http://web.abo.fi/> 27.01.2011.

TO EXTERMINATE INFLUENCE OF QUALITY CONCENTRATION OF CARBON DIOXIDE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE ARTIFICIALLY CARBONATED STONE

Annotation. The change of durability of lime standards is investigational depending on quality to exterminate the concentrations of carbon dioxide in the process of carbonating. Optimization of technological parameters of receipt of the lime carbonated standards is conducted with the use of methods of the optimal planning of experiment. The three-dimensional areas of optimal parameters are built receipts of the carbonated materials, allowing complex to estimate joint influence of quality indexes lime astringent, concentrations of carbon dioxide, humidity of raw material mixture and carbonating duration

Key words: lime, concentration of carbon dioxide, carbonating hardening, optimization of technological parameters, durability

ОПІР ПІЩАНОГО ГРУНТУ ПРИ ЩІЛИННОМУ РІЗАННІ ШИРОКИМ НОЖЕМ

Михайло Сукач, Роман Новіков

Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація. Змодельований процес утворення щілини у піщаному ґрунті під геостатичним тиском. Експериментально встановлено величину лобового опору широкому плоскому ножу із двостороннім загостренням.

Ключові слова: Піщаний ґрунт, опір різанню, щілина, широкий ніж.

ВСТУП

Згідно з технологією влаштування горизонтальних порожнин [1, 9, 10] у масиві ґрунту на глибині 5 м пробурюють із кроком 1...2 м декілька паралельних свердловин діаметром від 40 до 80 мм на всю довжину споруди, під якою створюється протифільтраційний екран. У просторі між сусідніми свердловинами закріплюється рухомий ріжучий ніж. За допомогою тягових канатів по напрямним трубам переміщують вздовж свердловин ніж, який утворює таким чином щілину у ґрунті. Останню заповнюють протифільтраційним матеріалом для запобігання обваленню ґрунту, спричиненому його вагою, а також вагою розташованої над ним споруди.

Закономірності занурення робочих органів землерийних машин у ґрунт із утворенням стружки достатньо повно висвітлено у роботах [2, 3, 8, 11, 12] та ін. авторів. Різання ґрунту без утворення стружки відбувається при зануренні паль штампів або при так званому закритичному різанні [4, 13]. Відмінність вертикального занурення від горизонтального полягає в тому, що воно відбувається в умовах перемінного опору по глибині.

Відомі способи розробки ґрунту канатом, пропущеним між двома блоками, які переміщуються вздовж напрямку різання. Канат може бути споряджений ріжучими елементами, наприклад у вигляді зубців, або циліндрів з ріжучою кромкою для відбивання міцної породи, як це виконується у гірничій справі. Щодо рекомендацій із визначення лобового опору в глибині масиву, то вони досить приблизні і не враховують багатьох факторів, що впливають на ефективність процесу розробки ґрунту [5, 15].

За прийнятою технологією ширина ножа значно більша за діаметр каната, тому сили різання по боковій поверхні інструмента не мають суттєвого значення і залишаються сталим на всій розроблюваній порожнині. Отже, для тягових розрахунків і підбору обладнання в першу чергу необхідно визначити лобовий опір ріжучого ножа.

МЕТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою дослідження є постановочний експеримент щодо визначення опору піщаного ґрунту різанню широким плоским ножем під геостатичним тиском в умовах, наближених до натурного процесу.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РІЗАННЮ ҐРУНТУ

Випробування проведено за допомогою приладу ПГС-2М конструкції інституту «Гідропроєкт», який дозволяє визначати деформації зсуву ґрунту під вертикальним тиском до 1,25 МПа, що відповідає геостатичному тиску ґрунту на глибині до 6,5 м. Для збільшення робочого ходу серійного приладу (рис. 1), який складає 50 мм, в НДІ будівельного виробництва розроблено спеціальну приставку до нього (рис. 2), що дозволило вивчати процес різання довжиною до 280 мм. Приставка представляє собою ґрунтовий лоток розміром 400×140×130 мм, споряджений рухомою у вертикальному напрямі кришкою, яка сприймає тиск, що утворюється важільним механізмом [1].

На рис. 1, 2 позначено: 1 – серійний прилад; 2 – приставка; 3 – механізм горизонтального пересування ножа; 4 – механізм моделювання вертикального тиску; 5 – ніж; 6 – тяговий трос; 7 – вузол кріплення ножа; 8 – кришка рухома; 9 – перегородка знімна; 10 – противаги; 11 – індикатор годинникового типу; 12 – пісок.

Змінні ножі мають ріжучу кромку з центральним кутом від 30 до 90° і з одностороннім зрізом – від 10 до 30°; ширину 60 мм та висоту (товщину прорізу) – 10 мм (табл. 1). В експериментах оцінювались зусилля, що виникають при зануренні плоских ножів з різним кутом різання (фактор X_1) у дрібнозернистий пісок вологістю (фактор X_2) до 18 % при наявності вертикального навантаження (фактор X_3) на глибині 3...5 м від денної поверхні ґрунту.

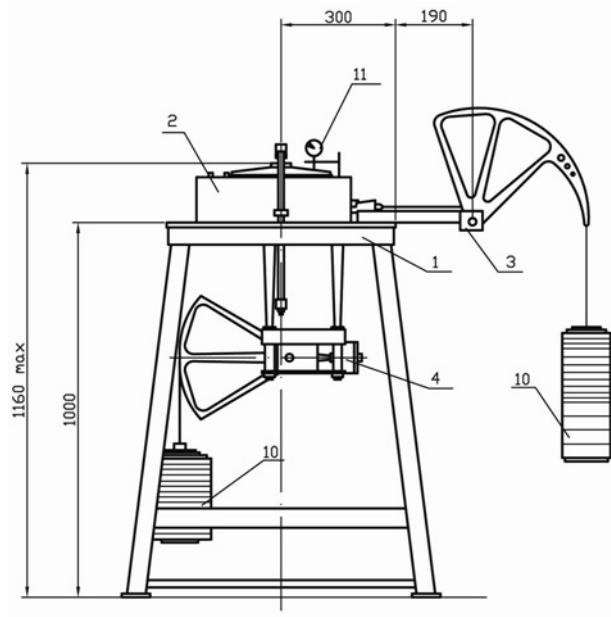


Рис. 1. Зсувний прилад ПГС-2М

Fig. 1. Device of change ПГС-2М

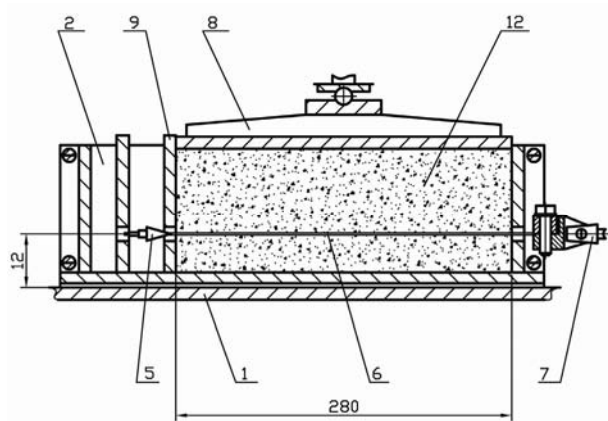


Рис. 2. Приставка до зсувного приладу
Fig. 2. Prefix is to the device of change

У дослідженнях застосовано 9 різновидів кута загострення ножів, дві величини вологості ґрунту (повітряно-сухий і водонасичений), два значення вертикального обтискування ґрунту, що відповідають глибині від 3 до 5 м. Отже, загальна кількість експериментів повинна бути не менше $9 \times 2 \times 2 = 36$ (а з урахуванням їх повторюваності – щонайменше $36 \times 3 = 108$). Тому використовували метод планування експериментів [6, 14], згідно з яким кількість дослідів при повному факторному експерименті складає $2^3 = 8$ (табл. 2).

Таблиця 1. План експерименту
Table 1. Plan of experiment

Найменування	Кодоване значення фактора	Рівні варіювання		
		-1	0	+1
Кут загострення ножів, град.	X_1	30	60	90
Вологість піску, %	X_2	0	9	18
Зовнішнє навантаження, МПа	X_3	0,057	0,0785	0,1

У процесі досліджень за допомогою комплексу [7] визначались фізичні властивості піску до і після проведення дослідів (густина, вологість); зусилля, необхідні для переміщення ножів різної конфігурації (за допомогою гир на підвісці); вертикальне переміщення кришки вантажного відсіку приставки при переміщенні під нею ножів різної конфігурації (індикатором годинникового типу).

В якості інтерпольованої функції прийнято поліном першого ступеню у вигляді

$$Y = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3. \quad (1)$$

Коефіцієнти полінома визначаються за формулою $b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_i^j}{N}$, де j – номер фактора; i – номер дослідів; N – загальна кількість дослідів.

Згідно з одержаними даними шукана функція має вигляд

$$Y = 25,27X_0 + 4,34X_1 + 3,88X_2 + 7,28X_3 + 0,29X_1X_2 - 0,3X_1X_3 + 1,83X_2X_3 - 0,36X_1X_2X_3. \quad (2)$$

Таблиця 2. Матриця вимірювань та розрахунків
Table 2. Matrix of measuring and calculations

№ дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8	Коефіцієнти
X_0	+	-	-	+	-	-	+	+	25,27
X_1	-	-	+	+	-	-	+	+	4,34
X_2	-	+	-	+	-	+	-	+	3,88
X_3	+	-	-	+	-	+	+	-	7,28
$X_1 X_2$	+	-	-	+	+	-	-	+	0,29
$X_1 X_3$	-	-	+	+	+	+	-	-	-0,3
$X_2 X_3$	-	+	-	+	+	-	+	-	1,83
$X_1 X_2 X_3$	+	+	+	+	-	-	-	-	-0,36
Y_1	23,90	17,74	16,64	40,46	12,52	31,29	36,70	26,44	
Y_2	21,24	18,71	16,33	44,60	12,0	24,76	33,50	25,16	
Y_3	22,90	20,49	14,13	41,78	11,48	29,22	35,34	24,33	
Y^*	22,68	18,98	15,70	42,28	12,00	30,09	35,18	25,31	202,22

* Середнє значення питомого опору різанню за трьома дослідями, рандомізованими у часі, МПа.

Відновлюваність експерименту оцінювали за критерієм Кохрена

$$G_{\max} = \max \frac{s_j^2}{\sum_{j=1}^m s_j^2}, \quad (3)$$

де $s_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_j)^2$ – дисперсія відклику; $N = 8$; $m = 3$ – число паралельних дослідів. Табличне значення критерію Кохрена $|G_{N_1, N_2}|$ за рівнем значимості $\alpha = 0,05$, числі ступенів вільності $k_1 = m - 1 = 2$ та кількості дослідів $N = 8$ становить $|G_{N_1, N_2}| = 0,82$. Результати експерименту відновлювані, оскільки $G_{\max} = 0,29 < |G_{N_1, N_2}| = 0,82$ (табл. 3).

Таблиця 3. Параметри статистичної обробки даних
Table 3. Parameters of the statistical processing of data

Дисперсії відклику										Критерій Кохрена		
s_1^2	s_2^2	s_3^2	s_4^2	s_{12}^2	s_{13}^2	s_{23}^2	s_{123}^2	s_{12}^2	s_{13}^2	s_{23}^2	G_{k_2, k_3}	$ G_{k_2, k_3} $
1,80	1,94	1,87	4,47	0,27	1,15	0,46	0,13	1,90	1,96	0,29	0,29	0,82
<i>t</i> -критерій Стьюдента										Критерій Фішера		
t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{123}	$t_{k_2, q/2}$	F	$F_{k_2, k_3, q}$		
90,25	15,50	13,85	26,00	1,03	1,07	6,53	1,29	2,12	3,09	3,24		

Перевірку значимості оцінок коефіцієнтів регресії проводили за *t*-критерієм Стьюдента

$$t_i = \frac{b_i}{s_{b_i}} \quad (4)$$

де $s_{b_i} = \frac{s_{\epsilon}^2}{\sum x_{ij}^2}$; $s_{\epsilon}^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}$ – дисперсія шуму. При числі ступенів вільності $k_2 = N(m-1) = 16$ і рівні значимості $q = 0,05$ табличне значення *t*-критерію Стьюдента $t_{k_2, q/2} = 2,12$. Оскільки коефіцієнти b_{12} , b_{13} , b_{123} виявились незначними для вибраного рівня значимості, уточнене рівняння регресії

$$y = 25,27 + 4,34X_1 + 3,88X_2 + 7,28X_3 + 1,83X_2X_3 \quad (5)$$

Адекватність лінійної моделі функції відклику перевіряли за критерієм Фішера

$$F = \frac{ms^2}{s_{\epsilon}^2} \quad (6)$$

де $s_{\epsilon}^2 = \frac{1}{N-d} (\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 - N \sum_{i=1}^m b_i^2)$. Табличне значення $F_{k_2, k_3, q} = 3,24$, де $k_3 = N - d = 3$. Одержане рівняння регресії адекватно описує процес утворення плоским ножом порожнини у піщаному ґрунті, оскільки $F = 3,09 < F_{k_2, k_3, q} = 3,24$.

Величина питомого опору різанню (при найбільшому розмаху факторів) змінювалась від 1,2 до 4,23 МПа; при цьому його максимальне значення не перевищувало рекомендований опір для безтраншейної прокладки трубопроводів [2, 14]. Найбільший вплив на опір різанню в досліджуваному діапазоні має вертикальне навантаження (X_3), потім – форма загострення ножа (X_1), найменший – вологість піску (X_2). Із збільшенням вологості піску до 18 % спостерігалось зростання питомого опору на 15...20 %.

ВИСНОВКИ

Дослідження підтвердили можливість утворення горизонтальної щілини широким плоским ножом у піщаному ґрунті під геостатичним тиском до 0,1 МПа. При достатній однорідності і вологості ґрунтового масиву у природному стані питомий опір різанню для ножів із двостороннім кутом загострення до 90° і співвідношенням ширини до висоти 6 : 1 складає 1,2...4,23 МПа.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернухин А.М., Галинский А.М. Новая технология устройства тонкого противодиффузионного экрана под картой полигона токсичных отходов с поврежденной гидроизоляцией // Нові технології в будівництві.– 2001.– Вип. № 1.– С.51-53.
2. Зеленин А.Н. Физические основы теории резания грунтов.– М.: АН СССР, 1950.– 412 с.
3. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами.– М.: Машиностроение, 1971.– 356 с.
4. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій (Основи теорії, проектування та створення). Навч. посіб.– Рівне: Вид-во РДТУ, 1999.– 277 с.
5. Кюн Г., Шойбле Л., Шлик Х. Закрытая прокладка непроходимых трубопроводов.– М.: Стройиздат, 1993.– 168 с.
6. Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мирошніченко В.И. Планирование эксперимента в технике.– К.: Техніка, 1984.– 200 с.
7. Сукач М.К., Литвиненко І.М., Бондар Д.В. Система автоматизованого керування та вимірювання параметрів технологічних процесів // Motrol, 2010.– Вип. 11В.– С.186-195.
8. Баладінський В.Л., Лівінський О.М., Хмара Л.А. та ін. Будівельна техніка: навч. посібник.– К.: Либідь, 2001.– 368 с.
9. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин.– М.: Машиностроение, 1977.– 288 с.
10. Сукач М.К., Филонов Ю.П. Модель перемещения грунта по ножу при вырезании щели в глубине массива // Ґірн., буд., дор. і меліорат. машини: Всеукр. зб. наук. праць.– Вип. 66.– 17-21 с.
11. Моисеенко В.Г. Прогнозирование рабочих нагрузок землеройных машин в особых условиях.– К.: Вища шк., 1987.– 199 с.
12. Ветров Ю.А., Кархов А.А., Кондра А.С., Станевский В.П. Машины для земляных работ: учебник.– К.: Вища школа, 1981.– 384 с.
13. Мусійко В.Д. Екскаватори поздовжнього копання: навч. посіб.– К.: НТУ, «ЗАТ» Віпол, 2008.– 240 с.
14. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие.– М.: Высш.школа, 1981.– 335 с.
15. Сукач М.К., Дворніченко А.П., Кривоблоцька Л.М., Джирма С.О., Особливості проходки свердловин великого діаметра в міцних ґрунтах // Конструювання,

виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. між від. наук.-техн. зб.– Кіровоград: КНТУ, 2007.– Вип. 37.– С.311-314.

RESISTANCE OF SANDY SOIL IS AT CRACK CUTTING
BY WIDE KNIFE

Michael Sukach, Roman Novikov

Annotation. The modelled process of formation of crack is in sandy soil under geostatic pressure. The size of head-resistance is experimentally set to the wide flat knife with the bilateral intensifying.

Keywords: Sandy soil, resistance to cutting, crack, wide knife

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС НА ДИНАМІКУ РАДІОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ, ЯКІ РОЗТАШОВАНО У ЗОНІ ЇЇ ВПЛИВУ.

Олександр Холопцев*, Л. Жебет **

*Севастопольський національний технічний університет

** Севастопольський національний університет ядерної енергії та промисловості

Анотація. Функціонування Південноукраїнської АЕС суттєво впливає на зміни активності Н-3 у водах Ташликського та Олександрівського водосховищ, хоча практично не змінює динаміку змісту Cs-137, Co-60, Mg-54 у них. Мінливість у цих водоймах активності Sr-90 тим більше, чим більше середні обсяги їх «продувки», що свідчить про впливовість змін режиму випадіння атмосферних опадів у регіоні, які посилюють поверхневий стік до Ташликського водосховища вод з навколишньої території.

Ключові слова: АЕС, екологічна безпека, активність радіонуклідів, динаміка, водосховище, кореляція.

ВСТУП

Динаміка радіологічних режимів водних об'єктів, які використовуються для забезпечення питною та технологічною водою багатьох регіонів Світу, суттєво впливає на здоров'я їх населення, а також особливості суспільного та економічного розвитку[1, 2]. Тому оцінка впливів на неї тих чи інших чинників є актуальною проблемою не тільки геохімії, але й екологічної безпеки.

Одним з головних джерел радіонуклідів, що потрапляють до водних об'єктів, прийнято вважати функціонування розташованих поблизу них АЕС, на яких діють реактори типу ВВЕР[3, 4]. Особливістю цих реакторів є те, що вода, яка охолоджує їх зовнішній контур, періодично потрапляє до водоохолоджувальної водойми, з якої потім частково скидається до тої чи іншої річки, що розташована поблизу них. Оскільки на цю воду впливали небезпечні чинники, що пов'язані з функціонуванням реактору, її прийнято вважати носієм радіонуклідів і тому екологічно небезпечною рідиною.

Розробка атомних реакторів типу ВВЕР була вперше здійснена у СРСР колективом вчених, яким керували академіки І. В. Курчатова та М. А. Доллежаль, а також професор С. М. Фейнберг. Перший енергоблок з ректором ВВЕР почав працювати на Нововоронежській АЕС у 1964 р. [5].

Саме ВВЕР є основним типом реакторів, що працюють на сучасних АЕС України[6]. Однією з них є Південноукраїнська АЕС, яка розташована у Миколаївській області, на східному березі річки Південний Буг, біля міста Південноукраїнськ. До комплексу водних об'єктів, що розташовано у зоні впливу Південноукраїнської АЕС належать річка Південний Буг та водосховища: Ташликське, Проміжне та Олександрівське[7].

Охолодження енергоблоків АЕС, які створено на основі реакторів ВВЕР, здійснюється водою Ташликського водосховища. Ця вода циркулює у зовнішньому контурі кожного реактора, та скидається з нього у це ж водосховище, що використовується як водоохолоджувальна водойма АЕС.

Обсяг Ташликського водосховища складає 86 млн. м³, площа його поверхні – 8.6 км², а середня глибина -10м. Його поверхня підтримується на постійному рівні 99.5 м, незважаючи на те, що з неї відбувається випаровування води, її фільтрація через насипну греблю, а також щодобовий скид (т.з. «продувка») до Олександрівського водосховища.

Олександрівське водосховище - найнижче у череді водосховищ, що розташовано на Південному Бугі. Воно використовується у рибогосподарських потребах а також для забезпечення водою населених пунктів, котрі розташовані на його узбережжі. Це досягається завдяки підкачці до Ташликського водосховища води з річки Південний Буг, яка також здійснюється щодобово.

Добовий обсяг підкачки та скиду вод до Олександрівського водосховища визначається середньодобовими витратами води у річці Південний Буг. Таке регулювання водообміну Ташликського водосховища з іншими водними об'єктами у зоні АЕС забезпечує припустимий рівень мінералізації її вод (1201±53 мг/л.), що потрапляють до реакторів, та до Олександрівського водосховища (при продувках). Деякий вплив на екологічний стан Ташликського водосховища здійснюють фільтраційний потік з шламонакопичувача Південноукраїнської АЕС, який розташовано поруч з ним, поверхневий та підземний стік з навколишньої території, а також очисних споруд міста Південноукраїнськ.

Головним чинником, що визначає динаміку гідрохімічних та радіологічних режимів Ташликського, а також Олександрівського водосховищ є зміни відповідних характеристик вод річки Південний Буг.

Площа басейну цієї річки до створу Олександрівського водосховища – 46200км². У його межах розташовано 110 водосховищ, сумарний об'єм яких дорівнює 1 км³. З них сезонне регулювання річкового стоку здійснюють лише Ладижинське водосховище, обсягом 72 млн.м³ та рибні пруди, сумарний обсяг яких досягає 75 млн.м³.

Середні багаторічні витрати річки Південний Буг – 91.3 м³ /с. Живлення річки здійснюється не тільки поверхневим, але й підземним стоком з території її басейну, який здійснюється через породи Українського кристалічного шита, що містять граніти. Її води є мало мінералізованими (солоність -556±67 мг/л) та належать до гідро-карбонатного класу кальцієвої групи[8]. Вони характеризуються також складним радіологічним складом, та суттєвою залежністю активності його компонентів від часу. Тому зміни активності деяких радіонуклідів у водних об'єктах, що розташовані у зоні впливу Південноукраїнської АЕС, можуть бути викликані не тільки особливостями її функціонування, але й багатьма іншими причинами [9-11].

Серед радіонуклідів, що присутні у водах річки Південний Буг, Ташликського та Олександрівського водосховищ, до найбільш активних належать: Н-3, SR-90, Cs-137, Со-60, Mg-54. За період функціонування Південноукраїнської АЕС їх активність у зазначених водних об'єктах змінювалась у декілька разів. Разом з тим роль АЕС у змінах їх активності є дослідженою недостатньо, що не дозволяє оцінити реальну

ефективність заходів, щодо забезпечення радіаційної безпеки, що вживаються на неї, та визначити напрямки їх удосконалення.

Ураховуючи на це як об'єкт дослідження обрано зміни активності Н-3, SR-90, Cs-137, Co-60, Mg-54 у водах річки Південний Буг, Ташликського та Олександрівського водосховища у період функціонування Південноукраїнської АЕС.

Предметом дослідження є оцінка впливу Південноукраїнської АЕС на сучасну динаміку активності зазначених радіонуклідів у згаданих водних об'єктах.

Метою дослідження є визначення ефективних напрямків подальшого розвитку систем попередження радіаційного забруднення навколишнього середовища, що діють на АЕС, енергоблоки яких побудовано з використанням реакторів типу ВВЕР.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФАКТИЧНИЙ МАТЕРІАЛ

Для досягнення зазначеної мети розглядалися часові ряди, що відображають динаміку активності Н-3, Sr-90, Cs-137, Co-60, Mg-54 у водах річки Південний Буг за межами зони впливу Південноукраїнської АЕС, Ташликського водосховища, поблизу шандори, через яку здійснюється «продувка», та Олександрівського водосховища, поблизу випуску «продувних» вод. Розташування пунктів, у яких відбирались проби води з цих об'єктів представлено на рис. 1.

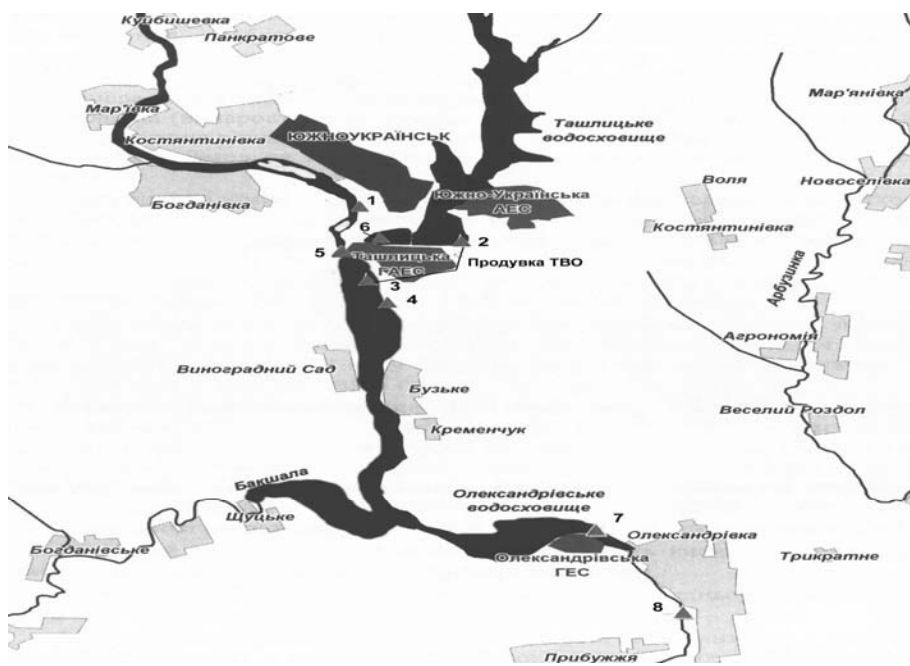


Рис. 1. Розташування пунктів, у яких здійснювався моніторинг змін активності радіонуклідів, що вивчалися.

Fig. 1. Locations of points, monitoring of changes of activity of radionuclide which was studied was carried out in which.

Умовні позначення на рисунку:

1. фоновий створ на річці Південний Буг;
2. Ташликський водоем-охлодитель (пункт забору вод сбросиваемих при продувке);
3. вхід продувальних вод в Александровське водосховище;
4. контрольний створ, розташований на 500 м нижче по теченню відносно точки 3;
5. фоновий створ Александровського водосховища
6. верхнє водоймище Ташликської гідроакумуляуючої електростанції
7. верхній б'єф Александровської ГЕС
8. нижній б'єф Александровської ГЕС

Як бачимо з цього рисунка, точку 1 розташовано там де здійснювався водозабор (біля насосної підпитки Ташликського водосховища), на відстані 500 м вище по річці відносно пункту, де здійснювався скид «продувних» вод. Це дозволяє розглядати отримані у неї данні як результати моніторингу фонові активності вод річки Південний Буг.

Точка 2 знаходиться безпосередньо у Ташликському водосховищі, на відстані приблизно 200 м від шандори на греблі. Відібрані тут проби характеризують активність радіонуклідів у його водах, що при «продувках» потрапляють до Олександрівського водосховища.

Точка 5 відповідає створу, що розташований у Олександрівському водосховищі, на відстані 500 м від пункту скиду «продувних» вод. Активність радіонуклідів у пробах, що відібрані тут, являє собою результат впливу «продувних» вод з Ташликського водосховища.

Неважко бачити, що при потраплянні до Олександрівського водосховища «продувних» вод може реалізуватись один з наступних трьох сценаріїв. При першому суттєвих змін динаміки деякого радіонукліду не відбувається. При другому, має місце деяке забруднення (його активність у водах Олександрівського водосховища зростає). При третьому активність цього радіонукліду у точці 5 зменшується.

При сценарії, коли вплив АЕС на динаміку деякого радіонукліду є відсутнім, значення його активності у пробах, які синхронно відібрані у точках 1, 2 та 5, повинні бути практично однаковими. Значення коефіцієнту кореляції відповідних часових рядів повинні бути наближеними до 1.

У випадках, коли вплив АЕС на Олександрівське водосховище викликає його забруднення, активність відповідного радіонукліду у пробі, яка відібрана у точці 2, повинна бути суттєво вище ніж у інших пробах. Її рівень у пробі, що відповідає точці 5, повинна бути також вище ніж у точці 1. Значення коефіцієнту кореляції часового ряду, що відповідає спостереженням у точці 2, з рядами, що характеризують динаміку процесу у точках 1 та 2, повинні бути близькими до 0.

При здійсненні третього сценарію кореляція між цими рядами також не буде суттєвою, але активність проби, що відібрана у точці 2, буде нижче ніж у інших пробах.

Ураховуючи на це, для досягнення мети, що визначено у роботі, здійснювалось порівняння значень активності Н-3, SR-90, Cs-137, Co-60, Mg-54 у пробах, які відбирались у точках 1, 2, 5, а також здійснювався кореляційний аналіз відповідних часових рядів.

Як фактичний матеріал використовувались результати радіологічного моніторингу динаміки активності зазначених радіонуклідів за вісь період їх спостережень, який здійснювався лабораторією радіологічного контролю Південноукраїнської АЕС згідно [1, 12]. Спостереження за динамікою активності H-3, SR-90, Cs-137 відбувались, по декілька разів на місяць, у період з березня 1994 року. За змінами Co-60, Mg-54 вони відбувались з січня 2006 року. До кожного ряду, що вивчався, розраховували середньомісячні значення активності того чи іншого радіонукліду, які розраховувались як середнє арифметичне для всіх проб, котрі біли відібрані у відповідному місяці.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Порівняння часових рядів, що містять середньомісячні значення активності деякого радіонукліду у точках 1, 2, 5 дозволило встановити, що до впливу АЕС на її динаміку є практично відсутнім для Cs-137, Co-60 та Mg-54.

Як приклад, на рис. 2 відображені залежності від часу середньомісячної активності у точках 2 та 5 Mg-54.

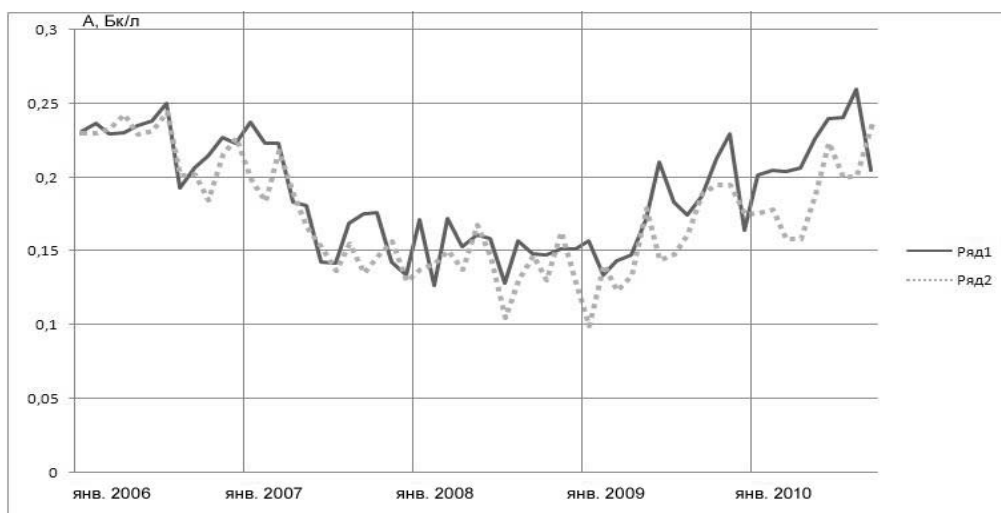


Рис. 2. Залежності від часу середньомісячної активності Mg-54 –А у Ташликському (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2), з 2006- 2010.

Fig. 2. Dependences are on time of average monthly activity of Mg-54 –А in Tashlikskomu (row 1) and Oleksandrivka storage pool (row 2), from 2006- 2010.

Як бачимо з рис. 2, обидві залежності є майже аналогічними. Значення коефіцієнту кореляції між ними 0.84, що суттєво більше ніж значення 99% порогу достовірної кореляції за критерієм Стьюдента, який дорівнює лише 0.33[13]. Ураховуючи те, що відповідні залежності, які відповідають точкам 1 та 2, практично співпадають, цей результат свідчить про те, що ніякого впливу на динаміку

активності Mg-54 у Олександрівському водосховищі «продувні» води не завдають. Тому вплив Південноукраїнської АЕС на динаміку активності цього радіонукліду у Олександрівському водосховищі слід вважати відсутнім.

Встановлено також, що ефект забруднення вод Олександрівського водосховища при потраплянні до нього «продувних» вод має місце для таких радіонуклідів як Sr-90 та H-3. Як підтвердження цього, на рис. 3 представлені залежності від часу середньомісячної активності Sr-90 у пробах, що відібрано у точках 2 та 5.

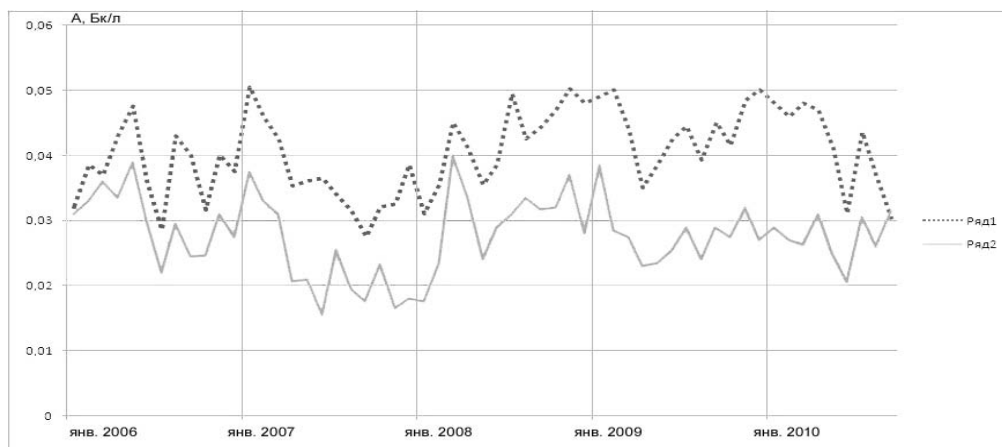


Рис. 3. Залежності від часу середньомісячної активності Sr-90 -А у Ташликському (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2).

Fig. 3. Dependences are on time of average monthly activity of Sr-90 –А in Tashlikskomu (row 1) and Oleksandrivka storage pool (row 2).

З рис. 3 бачимо, що середній рівень активності Sr-90 води у Ташликському водосховищі майже у півтори рази вище ніж у Олександрівському. Коефіцієнт кореляції між обома часовими рядами дорівнює лише 0.2. Середня за період з червня 1994 по вересень 2010 рік активність Sr-90 у Олександрівському водосховищі (точка 2) вище ніж у річці Південний Буг (точка 1) на 20%, та нижче ніж у Ташликському водосховищі (точка 2) на 25%. Незважаючи на те, що ефект забруднення Sr-90 води у точці 5 є присутнім, його рівень не перевищує припустимих меж. Тому цей чинник у сучасному стані не викликає екологічних ризиків.

Рисунок 4 містить залежності від часу середньомісячної активності H-3 у пробах, що відібрано у точках 2 та 5.

Аналіз залежностей з рис. 4 свідчить про те, що активність H-3 у водах Ташликського водосховища більше ніж у 10 разів перевищує його активність у Олександрівському водосховищі. Коефіцієнт кореляції між відповідними часовими рядами дорівнює 0.05, що свідчить про те що третій, який присутній у водах Ташликського водосховища, не потрапив до цієї водойми з річки Південний Буг, а утворився саме тут. Це дозволяє припускати, що ефект забруднення Олександрівського водосховища тритієм при «продувках» може бути суттєвим. Як

підтвердження цього на рис. 5 представлені аналогічні залежності, що відповідають точкам 2 та 5.

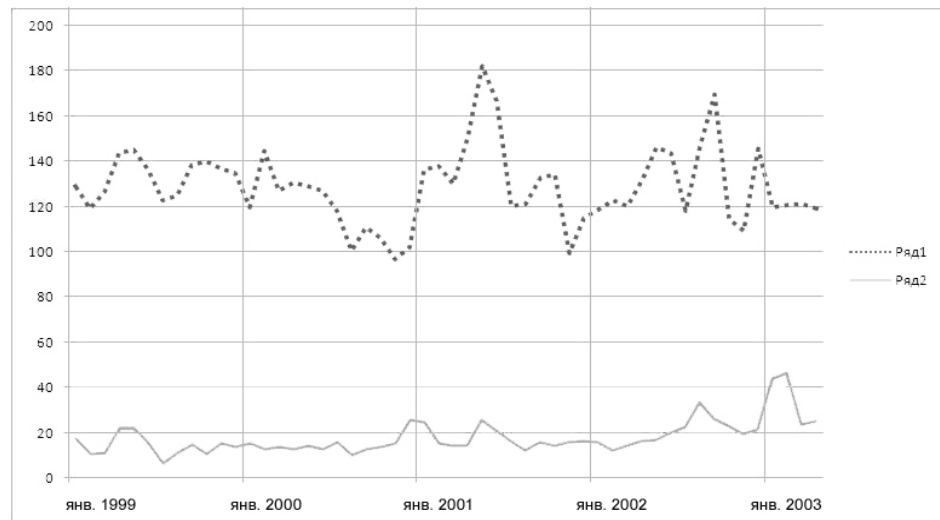


Рис. 4. Залежності від часу середньомісячної активності Н-3 у Ташликському (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2).

Fig. 4. Dependences are on time of average monthly activity of H-3 in Tashlikomku (row 1) and Oleksandrivka storage pool (row 2).

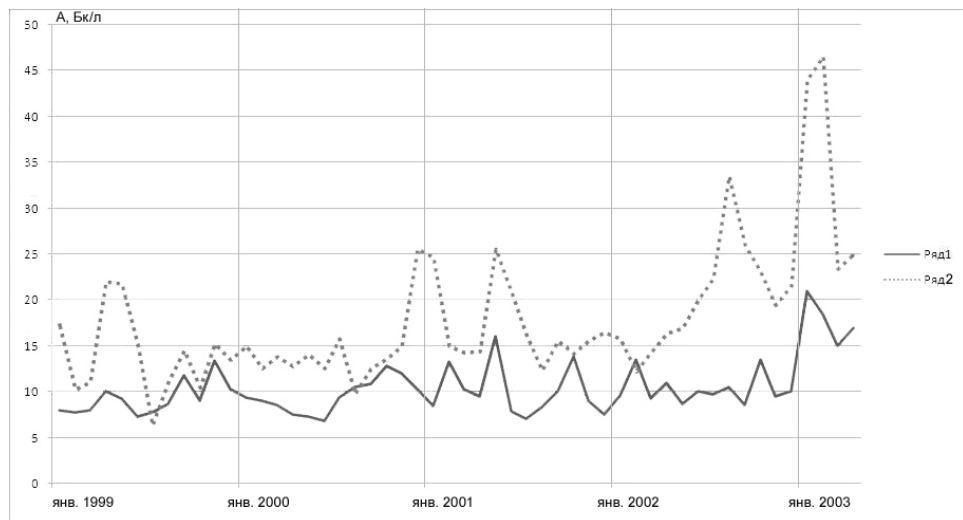


Рис. 5. Залежності від часу середньомісячної активності Н-3 – А у річці Південний Буг (ряд 1) та Олександрівському водосховищі (ряд 2).

Rice. 5. Dependences on time of average monthly activity of H-3 – A in the river South Bug (row 1) and the Oleksandrivka storage pool (row 2).

Неважко бачити, що активність Н-3 у Олександрівському водосховищі (точка 3) суттєво перевищує її рівень у річці Південний Буг поза зоною впливу АЕС. У 2010 році вона вище у 2...3,5 разів, хоча й не перевищує припустимий рівень [1, 14]. Останнє свідчить про те, що саме Н-3, який виникає у Ташликському водосховищі, є головним радіологічним забруднювачем Олександрівського водосховища, хоча й не викликає якоїсь екологічної небезпеки.

Не викликає сумнівів, що ефект забруднення Олександрівського водосховища Н-3 та Sr-90, що містяться у «продувних» водах, виникає як результат утворення цих радіонуклідів у Ташликському водосховищі. Причинами цього явища можуть бути чинники або природні, або техногенні – функціонування АЕС.

Головним з таких природних чинників є мінливість місячних сум атмосферних опадів у районі АЕС, що посилюють поверхневий або підземний стік до Ташликського водосховища з навколишньої території (де знаходяться шламонакопичувачі та ділянки забрудненого ґрунту). Цей чинник може викликати також зростання витрат річки Південний Буг, а разом з ними й обсягів «продувки» Ташликського водосховища. Тому у випадку, коли саме цей метеорологічний чинник керує динамікою активності деякого радіонукліду у Ташликському водосховищі, кореляція між нею та змінами місячних обсягів «продувки» може бути суттєвою та позитивною.

Якщо причина змін активності радіонукліда в водах Ташликського водосховища техногенна, збільшення обсягів «продувки» повинне викликати зменшення її рівня, та навпаки. Тому кореляція відповідних часових рядів повинна бути негативною, або не суттєвою.

Аналіз статистичних зв'язків між рядами динаміки активності Sr-90 у Ташликському водосховищі (точка 2) та обсягів його «продувки», показав, що коефіцієнт їх кореляції дорівнює 0.48, що суттєво вище ніж 99% поріг достовірної кореляції за критерієм Стьюдента (0.33).

Тому більш вірогідним є припущення, згідно до якого джерело Sr-90 у Ташликському водосховищі – забруднені ділянки навколишньої території та шламонакопичувачі, а головна причина мінливості його потоку – метеорологічна.

Аналогічне дослідження зв'язків між змінами активності Н-3 у Ташликському водосховищі та обсягів його продувки показало, що коефіцієнт їх кореляції дорівнює 0.27. Тому гіпотеза про техногенну обумовленість динаміки активності Н-3 у Ташликському водосховищі здається адекватною.

Динаміка активності Н-3 у Ташликському водосховища є слідством змін його балансу. Його прибутковою частиною є потік Н-3, який потрапляє до нього з технологічною водою, що скидається до нього з зовнішнього контуру кожного реактора.

Причиною утворення цього потоку є взаємодія потоку нейтронів з атомами водню, які складають молекули води, що охолоджує контур, або його іонами. Як результат утворюється або атомарний Н-3, радикали (Н-3, О), важка (Н-1, Н-3, О), (Н-2, Н-3, О), або надважка (Н-3, Н-3, О) вода [15, 16].

У Ташликському водосховищі атомарний Н-3 та радикали (Н-3, О) здатні реагувати з органікою, та у її складі частково переходити у мул, що накопичуються на дні, а частково споживатись водними організмами. Тому більша частина Н-3, який потрапляє у складі «продувних» вод у Олександрівське водосховище, перебуває у вигляді важкої або надважкої води, які розчинені у воді звичайній. Оскільки при

розпаді Н-3 утворюється He-3 та β -частка, присутність цих речовин у воді Олександрівського водосховища могло б впливати на стан здоров'я лише її споживачів та водних організмів.

При утворенні водного аерозоллю молекули важкої або надважкої води, що потрапили до його крапель, як і молекули звичайної води, випаровуються. У складі часток, що утворюються після цього здатні залишатись переважно сполуки, що практично не випаровуються, зокрема такі що містять SR-90, Cs-137, Co-60, Mg-54. Тому порівняно високий, хоча й не перевищуючий припустимі межі, рівень активності Н-3 у водах, що потрапляють з Ташликського до Олександрівського водосховища, не являє собою суттєвої небезпеки для населення його узбережжя.

ВИСНОВКИ

1. Функціонування Південноукраїнської АЕС суттєво впливає на динаміку активності у водах Ташликського та Олександрівського водосховищ лише такого радіонукліду як Н-3. При цьому сучасний рівень активності Н-3 у цих водоймах не являє собою якоїсь небезпеки для їх екосистем та населення прибережних територій.

2. Найвірогідніша причина того, що рівень активності SR-90 у водах Ташликського водосховища, порівняно до інших водойм у зоні впливу Південноукраїнської АЕС, є підвищеним, це фільтрація з шламонакопичувача, а також поверхневий та підземний стік з навколишніх територій.

3. На зміни активності у водах річки Південний Буг, Ташликського та Олександрівського водосховищ таких радіонуклідів як Cs-137, Co-60, Mg-54 функціонування Південноукраїнської АЕС практично не впливає.

4. Перспективним напрямком подальшого розвитку систем попередження радіаційного забруднення навколишнього середовища, що діють на АЕС, енергоблоки яких побудовано з використанням реакторів типу ВВЕР є розробка заходів щодо зменшення потоку Н-3, який з технологічними водами потрапляє до відповідних водойм водоохолоджувачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДГН 6.6.1-65.001-98 Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)/ МОЗ України 14.07.97 Наказ №208.

2. Апплби Л.Дж. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля / Л.Дж. Апплби, Л. Девелл, Ю.К. Мишра. Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона; Пер. с англ. под ред. А.Г. Рябошапка// М.: Мир. - 1999. -512 с.

3. И.А.Андрюшин, А.К.Чернышёв, Ю.А.Юдин Укрощение ядра. Страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. — Саров: 2003. - 481 с .

4. Камерон И. Ядерные реакторы. / И. Камерон //М.: Энергоатомиздат. - 1987. - 320 с.

5. Атомная наука и техника СССР/ под редакцией А.М. Петросьянца. – Москва Энергоиздат, 1987. – 309 с.

6. Концепція державної енергетичної політики України на період до 2020 року. Центр Розумкова. Національна безпека і оборона, 2001. - №2, с.2-33.
7. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. / В.І. Вишневський. – К.: Віпол, 2000. – 376 с.
8. Вишневський В.І. Гідрохімічний режим нижньої течії Прип'яті/ В.І. Вишневський, І.В. Серета // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2009. – Т. 5. – С. 42–49.
9. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии/ С.П. Горшков// Смоленск: Изд-во СГУ. - 1998. - 447 с.
10. Бреховских В.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в донных отложениях и высшей водной растительности заливов Иваньковского водохранилища/ В.Ф. Бреховских, З.В. Волкова, Н.В. Кирпичникова // Водные ресурсы. 2001. - Т. 28. - № 4. - С. 441 - 447.
11. Прыткова М.Я. Экологические проблемы использования малых озер/ М.Я. Прыткова // География и природные ресурсы. 1999. - № 1. - С. 40 - 44.
12. Унифицированные методы исследования качества вод Ч.1 Методы химического анализа вод, Т.1. основные методы. Издание четвертое/ М. – 1987.-512с.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. / А. И. Кобзарь// М.: Физматлит, - 2006. — 816 с.
14. Беспаятнов Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник./ Г.П. Беспаятнов, Ю.А.Кротов //— Л.: "Химия". - 1985.-340с.
15. Валантэн Л., Субатомная физика: ядра и частицы, пер. с франц/ Валантэн Л.// М.: Мир. - т. 2. - 1986. – 520С.
16. Бор Н. Захват нейтрона и строение ядра/ Н. Бор // УФН. - 1936. - В. 4. -Т. 14. - № 4. - С. 425—435.

Abstract. Functioning of Pivdennoukrainskoy AES substantially influences on changing of activity of N-Z in waters of Tashlikskogo and Aleksandrivskogo of storage pools, although practically does not change the dynamics of maintenance of Cs-137, Co-60, Mg-54 for them. Changeability in these reservoirs of activity of Sr-90 the more so, than anymore middle volumes of their «produvki», which testifies to influentialness of changes of the mode of fall of atmospheric fallouts in a region, which strengthen a superficial flow to Tashlikskogo of storage pool of waters from surrounding territory.

Keywords: AES, ecological safety, activity of radionuklidiv, loud speaker, storage pool, correlation.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НАСОСОВ

Павел Андренко, Антон Лебедев

Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”

Аннотация. Получена математическая модель стенда для испытаний насосов при их работе на газожидкостной смеси и газожидкостной смеси с добавлением поверхностно-активных веществ, которая, вместе с математической моделью насоса, позволяет рассчитать рабочие характеристики насоса, определить пульсации давления на его выходе.

Ключевые слова: стенд, насос, математическая модель, рабочая характеристика, газожидкостная смесь.

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические агрегаты широко используются в современных мехатронных системах технологического оборудования, транспортных машинах, и других гидрофицированных машинах. В первую очередь это обусловлено тем, что они имеют высокую долговечность, надежно защищены от перегрузок, обеспечивают исполнительным механизмам машин высокую механическую жесткость, точность позиционирования и реверса. Их применение значительно упрощает автоматизацию производственных процессов и повышает качество машин, позволяет значительно уменьшить вес и габариты последних. Они надежно работают в любых климатических условиях [1]. Одним из основных элементов гидроагрегатов является насос, превращающий механическую энергию в потенциальную энергию рабочей жидкости. Все, без исключения, насосы проходят контрольные испытания, в том числе динамические согласно ГОСТ [2]. Эти испытания проводят на специализированных стендах, при разработке и проектировании которых необходимо обеспечить условия работы максимально близкие к реальным. Для динамических насосов используемых в нефтедобывающей, химической и других отраслях промышленности актуальной есть задача определения их характеристик при работе на газожидкостной смеси и газожидкостной смеси с добавлением поверхностно-активных веществ.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам проектирования и расчета гидравлических гидроагрегатов, в том числе и стендов для их испытаний, посвящено достаточно большое количество работ Т.М. Башты, В.П. Бочарова, Н.С. Гамынина, Г.Й. Зайончковского, Р.Д. Искович – Лотоцкого, Б.Л. Коробочкина, В.А. Лещенко, З.Я. Лурье, К.Л. Навроцкого, В.Н. Прокофьева, Д.Н. Попова, А.Н. Скляревского, В.Б. Струтинского, З.Л. Финкельштейна, Е.М. Хаймовича, О.М. Яхно и других. В их работах рассмотрены

фундаментальные основы построения гидроагрегатов которые базируются на их полных математических моделях и позволяют получить гидроагрегаты с заданными рабочими характеристиками. Информация относительно математических моделей гидравлических стендов для испытаний насосов при их работе на газожидкостной смеси и газожидкостной смеси с добавлением поверхностно-активных веществ в научно-технической литературе отсутствует. Таким образом, построение математической модели такого стенда, которая позволит повысить точности определения рабочих характеристик насосов, является актуальной научно-технической задачей.

В связи с этим перед нами была поставлена задача: разработать математическую модель стенда для испытаний насосов при их работе на газожидкостной смеси и газожидкостной смеси с добавлением поверхностно-активных веществ, которая, вместе с математической моделью насоса, позволяет рассчитать рабочие характеристики насоса, определить пульсации давления на его выходе.

УЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТЕНДА

Точность моделирования рабочих процессов в гидроагрегатах зависит от правильного определения параметров жидкости. Так как, при исследовании таких процессов используют дифференциальные уравнения, содержащие плотность, вязкость и модуль объемной упругости жидкости. Большинство исследователей при расчете и моделировании таких процессов принимают значения этих параметров постоянными и равными их средним значениям. Однако в процессе работы гидроагрегатов параметры жидкости изменяются. Отметим, что жидкость, как правило, содержит растворенное и нерастворенный воздух, при этом последний существенным образом влияет на ее свойства [3]. Среднее значения содержания воздуха в гидроагрегате может составлять от 0,1 до 5,0 % [4].

Для определения характеристик газожидкостной смеси использовали аналитические зависимости с работ [3, 5], которые записывали в виде:

модуль объемной упругости

$$E_c(t) = k(p(t) + 10^5)(Ap(t) + B) \frac{(1 - m_0) \sqrt[4]{\frac{Ap_0 + B}{Ap(t) + B}} + m_0 \sqrt[4]{\frac{p_0 + 10^5}{p(t) + 10^5}}}{k(p(t) + 10^5)(1 - m_0) \sqrt[4]{\frac{Ap_0 + B}{Ap(t) + B}} + m_0(Ap + B) \sqrt[4]{\frac{p_0 + 10^5}{p(t) + 10^5}}}; \quad (1)$$

плотность

$$\rho_c(t) = \rho_{p0} \left\{ (1 - m_0) \left[1 + \frac{p(t) - p_0}{E_c(t)} \right] \left[\frac{1}{1 + \alpha(T(t) - T_0)} \right] \right\} + \rho_{g0} m_0 \frac{p(t)}{p_0} \frac{T_0 + 273^\circ}{T(t) + 273^\circ}; \quad (2)$$

коэффициент динамической вязкости

$$\mu_C(t) = \mu_0(1 + 1,5m_0) \left[1 + a \frac{p(t) - p_0}{p_0} \right] e^{-\lambda_T(T(t) - T_0)}; \quad (3)$$

коэффициент кинематической вязкости

$$\nu_{iC}(t) = \mu_C(t) / \rho_C(t). \quad (4)$$

В формулах (1) – (4) обозначено: t – время; k – показатель политропы; p_0 , $p(t)$ – соответственно начальное и рабочее давление жидкости; A , B – параметры жидкости, с статьи [3], учитывающие ее температуру и марку; $m_0 = V_{g0}/V_{c0}$ – отношение фазы нерастворенного воздуха V_{g0} , к полному объему смеси V_{c0} ; ρ_{p0} и ρ_{g0} – плотность жидкости и ее газовой составляющей при нормальных условиях соответственно; α – температурный коэффициент объемного расширения жидкости; T_0 и $T(t)$ – начальная и текущая температура жидкости соответственно; a , λ_T – коэффициенты ($a = 0,003$, [6]; λ_T , зависит от типа жидкости и для рабочих жидкостей гидроагрегатов находится в интервале $0,023 - 0,028$, [7]).

Отметим, что изменение в процессе работы температурного режима работы гидроагрегата зависит от нагрузки [8], следовательно законом изменения температурного режима необходимо задаваться используя значения температуры полученные в результате теплового расчета.

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НАСОСОВ

Их проводят согласно ГОСТ 6134-87, на стенде с замкнутой циркуляцией жидкости, рис. 1. При этом снятие каждой точки характеристики проводят не менее трех раз. Полученные характеристики сравнивают с теоретическими, расчет которых проводят, используя соответствующие математические модели насосов. Отличительной особенностью разработанного стенда является то, что он оснащен смесительным баком БСМ для смешивания воды с маслом или поверхностно-активными веществами, диспергатором Д, для смешивания воздуха с рабочей жидкости, и системой подачи воздуха: ресивером РС, дросселем ДР1 и ротаметром Р1.

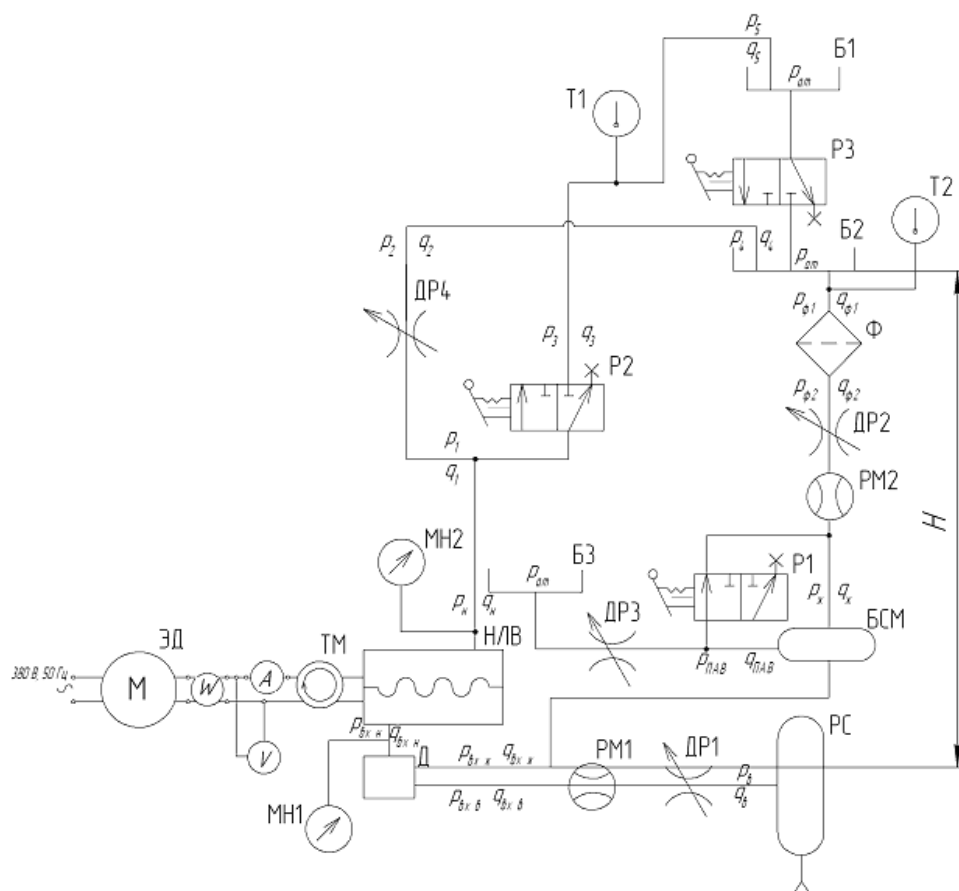


Рис. 1. Расчетная схема стенда: ЭД – электродвигатель; ТМ – тахометр; МН1, МН2 – манометры; Д – диспергатор; НЛВ – насос лабиринтно-винтовой; РМ1, РМ2 – расходомеры; ДР1-ДР4 – дроссели (вентили); Б1 – бак мерный; Б2 – бак рабочий; Б3 – бак масляный; БСМ – бак смесительный; P1-P3 – гидрораспределители; T1, T2 – термометры; РС – ресивер; Ф – фильтр

Fig. 1. Calculation chart of stand: ЭД – electric motor; ТМ – tachometer; МН1, МН2 – manometers; Д – dispergator; НЛВ – labyrinth-screw pump; РМ1, РМ2 – flowmeters; ДР1-ДР4 – throttles (valves); Б1 – measured tank; Б2 – worker tank; Б3 – oil tank; БСМ – mixer tank; P1-P3 – valves; T1, T2 – thermometers; РС – receiver; Ф – filter;

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТЕНДА

Она включает математические модели отдельных его элементов.
Математическая модель насоса

$$q_N(t) = q_{Nt}(t)\eta_{ow}, \quad (5)$$

где $q_{Nt}(t)$ и η_{ow} – соответственно теоретическая подача и объемный КПД насоса.

Математическая модель напорных трубопроводов (рис. 2), полученная нами, в

сосредоточенных параметрах, по Т и Г-образным схемам, которая в отличие от модели, приведенной в работе [9], учитывает изменяющиеся во времени характеристик газожидкостной смеси.

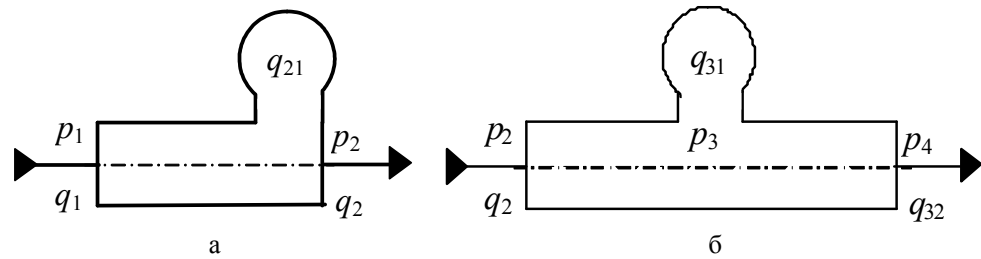


Рис. 2. Расчетная схема трубопровода: а – Г-образная; б – Т-образная

Fig. 2. Calculation chart of pipeline: а – Г-type; б – Т-type

Сосредоточение в конце трубы по Г-образной схеме (рис. 2.2, а):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d q_1(t)}{d t} &= \frac{1}{L_1(t)} [p_1(t) - p_2(t)] - \frac{R_1(t)}{L_1(t)} q_1(t), \\ \frac{d p_2(t)}{d t} &= \frac{1}{C_1(t)} q_{21}(t) = \frac{1}{C_1(t)} [q_1(t) - q_2(t)] \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где $q_1(t)$, $q_2(t)$ и $q_{21}(t)$ – соответственно, расходы на входе, выходе трубопровода и обусловленный сжатием рабочей жидкости в трубопроводе.

Сосредоточение по Т-образной схеме (рис. 2.2, б):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d q_2(t)}{d t} &= \frac{1}{L_3(t)} [p_2(t) - p_3(t)] - \frac{R_3(t)}{L_3(t)} q_2(t), \\ \frac{d p_3(t)}{d t} &= \frac{1}{C_3(t)} q_{31}(t) = \frac{1}{C_3(t)} [q_2(t) - q_{32}(t)], \\ \frac{d q_{32}(t)}{d t} &= \frac{1}{L_3(t)} [p_3(t) - p_4(t)] - \frac{R_3(t)}{L_3(t)} q_{32}(t) \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где $q_{31}(t)$ и $q_{32}(t)$ – соответственно расходы обусловленный сжатием рабочей жидкости в трубопроводе и на выходе трубопровода.

При составлении уравнений модели трубопровода использованы известные соображения об аналогии гидродинамических и электродинамических процессов, что, в частности, нашло свое отображение в использованных обозначениях. В уравнениях (6) и (7) величины $L_1(t) = \rho_C(t) l_1 / A_1$ и $L_3(t) = \rho_C(t) l_3 / 2 A_3$ – играют роль индуктивного сопротивления трубопровода; величины $R_1(t) = \frac{8 \nu_{tC} \rho_C(t) l_1}{A_1 r_1^2}$

и $R_3(t) = \frac{8 \nu_{tC} \rho_C(t) l_3}{2 A_3 r_3^2}$ – роль активного сопротивления трубопровода;

величины $C_i(t) = A_i l_i / E_C(t)$ – роль емкости i -го трубопровода (канала). Кроме того, обозначены: r_i – радиус сечения i -го трубопровода (канала); A_i – площадь i -го трубопровода (канала).

Заметим, что площадь проходных пересечений трубопроводов и каналов выбирают в зависимости от допустимой скорости жидкости в них.

Математическая модель всасывающего трубопровода. Так как жидкость из бака Б2 и

поверхностно-активные вещества к диспергатору подаются самотеком под постоянным напором H , то давление рабочей жидкости на входе насоса:

$$p_{\text{вх}N} = \rho_C(t) g H, \quad (8)$$

где g – ускорение свободного падения; H – уровень между рабочим баком и диспергатором.

Математическая модель дросселя, рис. 3, состоит из уравнений:

- расхода через дроссель, который рассчитывается по зависимости

$$q_{di}(t) = G_{di}(t) \sqrt{p_1(t) - p_2(t)}, \quad (9)$$

где $p_1(t)$ и $p_2(t)$ – соответственно изменение давления на входе и выходе дросселя;

$G_{di}(t)$ – проводимость дросселя;

- ограничение перемещения запорно-регулирующего элемента дросселя

$$0 < x_{zre\ di}(t) \leq x_{zre\ di\ max}, \quad (10)$$

где $x_{zre\ di\ max}$ – максимальное перемещение запорно-регулирующего элемента дросселя.

Проводимость дросселя рассчитывается по зависимости:

$$G_{di}(t) = \mu_{di}(Re_{di}) A_{di}(x_{zre\ di}(t)) \sqrt{\frac{2}{\rho_C(t)}}, \quad (10)$$

где $\mu_{di}(Re_{di})$ – коэффициент расхода дросселя; $A_{di}(x_{zre\ di}(t))$ – площадь проходного сечения дросселя, которая для схемы (рис. 3), рассчитывается по формуле:

$$A_{di}(x_{zre\ di}(t)) = \pi h(x_{zre\ di}(t)) \frac{D+d}{2}. \quad (11)$$

Заметим, что в зависимости от формы дросселирующего отверстия и конструкции дросселя используют разные зависимости для определения площади его проходного сечения.

Коэффициент расхода дросселя рассчитываем по формуле [10]:

$$\mu_{di}(Re_{di}) = \mu_{dic} \sqrt{Re_{di}(t)} / \sqrt{Re_k + Re_{di}(t)}, \quad (12)$$

где μ_{dic} – коэффициент расхода в статическом режиме; $Re_{di}(t)$ и Re_k – соответственно число Рейнольдса и коэффициент коррекции.

Математическая модель гидрораспределителя. Использовали двухпозиционный гидрораспределитель с ручным управлением, которым управляет пуском, остановкой и направлением потока жидкости (рис. 4). Заметим, что тип управления на рис. 4 не показан.

Расчет расхода через i -тый гидрораспределитель проводится по зависимости:

$$q_{pi}(t) = \mu_{pi}(Re) A_{pi} \sqrt{\frac{2}{\rho_C(t)} \Delta p_{oki}(t)}, \quad (13)$$

где $\mu_{pi}(Re)$ – коэффициент расхода; A_{pi} – площадь поперечного сечения рабочего окна; $\Delta p_{oki}(t)$ – перепад давления на рабочем окне.

$$p_{pi}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_{pi}(t) = 0; \\ p_{pi}(t), & \text{при } x_{pi}(t) > 0. \end{cases} \quad (14)$$

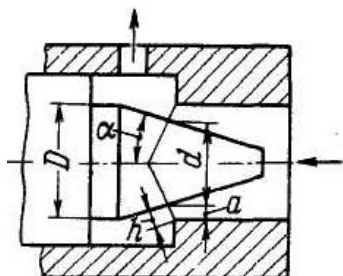


Рис. 3. Расчетная схема дросселя

Fig. 3. Calculation chart of throttle

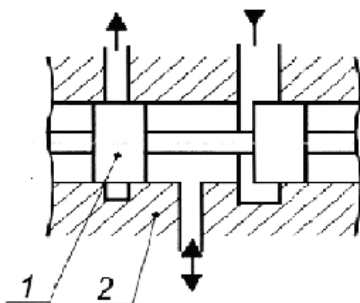


Рис. 4. Расчетная схема гидрораспределителя: 1 – запорно-регулирующий элемент; 2 – корпус

Fig. 4. Calculation chart of valve: 1 – plug-forming regulative element; 2 – corps

ограничение перемещения запорно-регулирующего элемента распределителя:

$$0 < x_{pi}(t) \leq x_{pi \max}, \quad (15)$$

где $x_{pi \max}$ – максимальное перемещение запорно-регулирующего элемента распределителя.

Математическая модель фильтра, она состоит из уравнений:

– перепада давления [11]

$$\Delta p_f = p_{11} - p_{12} = \frac{\mu_c q_{12}}{k_f A_f}, \quad (16)$$

где k_f – коэффициент фильтра, который зависит от тонкости фильтрации рабочей жидкости и определяется из табл. [11], л/см²; A_f – площадь фильтра, см²;

– неразрывности

$$q_{12} = q_{11}. \quad (17)$$

Кроме математических моделей отдельных гидроаппаратов в математическую модель стенда входят уравнения неразрывности:

$$q_{vxN} = q_{vxr} + q_{vxp}; q_{bxr} = q_{pAB} + q_r; q_N(t) = q_3(t) \text{ или } q_N(t) = q_2(t), \quad (18)$$

а также уравнение равенства давления

$$p_{vxr}(t) = p_{vxp}(t). \quad (19)$$

Уравнения (5) – (19) дополняли ограничениями $p_i(t) \geq p_{\text{пар}}$, где $p_{\text{пар}}$ – давление насыщенного пара жидкости, а состояния рабочей жидкости учитывали уравнениями (1) – (4).

Математическая модель пневматического дросселя. Заметим, что в пневматической системе станда используется ресивер, следовательно, пульсации давления в ней отсутствуют. Так как, режим течения через дроссель докритический, его математическая модель состоит из уравнений:

– расхода [12]

$$\dot{m}_g = \mu_d A_d \sqrt{\frac{p_2(p_1 - p_2)}{RT_2}}, \quad (20)$$

где \dot{m}_g – массовый расход через дроссель; μ_d и A_d – соответственно коэффициент расхода, определяемый по формуле $\mu_d = 1/\sqrt{1+\zeta}$, здесь ζ – коэффициент сопротивления дросселя и площадь поперечного сечения канала дросселя; p_1 и p_2 – соответственно давления на входе и выходе дросселя; R – газовая постоянная; T_2 – температура воздуха на выходе из дросселя;

– неразрывности

$$\dot{m}_{g1} = \dot{m}_{g2}. \quad (21)$$

Уравнение (20) дополняли уравнениями изменения состояния воздуха. Термодинамический процесс изменения состояния воздуха в пневматической системе принимали изотермическим, т.е. $T_0 = T_1 = T_2 = T$, в то время как при истечение через дроссель процесс принимался адиабатическим. Это допущение хорошо подтверждается экспериментами [13].

Объемный расход через дроссель определяли по зависимости

$$q_g = \dot{m}_g \rho_{g0}. \quad (22)$$

Математическая модель пневматического трубопровода. Так как, воздух в гидравлическую систему стенда подается с постоянным расходом и давлением, пульсации расхода и давления отсутствуют, его математическая модель состоит из уравнения потерь давления, которое определяется по известной формуле

$$\Delta p_g = \zeta_{\Sigma} \frac{\rho_{g0} v_g^2}{2}, \quad (23)$$

где ζ_{Σ} – коэффициент сопротивления трубопровода; v_g – средняя скорость течения воздуха.

ВЫВОДЫ

Впервые предложено использовать в математической модели трубопроводов, в сосредоточенных параметрах, по Т и Г-образным схемам, через изменяющиеся во времени коэффициенты индуктивного, активного сопротивления трубопроводов и емкости, учитывать изменяющиеся характеристики газожидкостной смеси.

Получена, с учетом максимального количества факторов, математическая модель стенда для испытаний насосов при их работе на газожидкостной смеси и газожидкостной смеси с добавлением поверхностно-активных веществ. Ее использование, вместе с математической моделью насоса на этапе его проектирования, позволит определить рабочие характеристики исследуемого насоса, в том числе и пульсации рабочей жидкости на его выходе, сократить время проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулешков Ю.В. Шестеренные насосы с асимметричной линией зацепления шестерен. Теория, конструкция и расчет / Ю.В. Кулешков, М.И. Черновол, О.В. Бевз, Ю.А. Титов – Кировоград: “КОД”, 2009 – 257 с.
2. ГОСТ 6134 – 87. Насосы динамические. Методы испытаний. – М.: Изд. стандартов, 1987. – 29 с.
3. Прокофьев В.Н. Экспериментальное исследование упругих свойств двухфазных рабочих жидкостей гидроприводов объемного типа/ В.Н. Прокофьев, И.А. Лузанова, Ж.Б. Емченко, А.В. Осецкая // Известие ВУЗов. Машиностроение, 1968. – №.2. – С. 87 –93.
4. Снижение содержания воздуха и воды в рабочих жидкостях гидравлических систем : Обзор / Рокшевский В.А., Татков В.В., Ливада Г.Ф. и др. – М.: НИИМаш, 1981. – 58 с.
5. Лурье З. Исследование рабочего процесса мехатронного гидроагрегата системы смазки металлургического оборудования с учетом характеристик двухфазной жидкости / З. Лурье, И. Федоренко // MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2010. – Vol. 12 С. С. 10 – 25.
6. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления / Н.С. Гамынин – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.

7. Электрогидравлические следящие системы / Хохлов В.А., Прокофьев В.Н., Борисова Н.А. и др. ; под ред. В.А. Хохлова. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.
8. Губарев О.П. Вплив температурного режиму роботи багатопривідних циклових систем об'ємного гідроприводу на рівень енергоспоживання / О.П. Губарев, О.В. Левченко, О.В. Ветрова // Вісник НТУУ “КПІ”, Машинобудування. – К.: НТУУ “КПІ”, 2009. – № 59. – С. 216 – 219.
9. Скляревский О.М. Об'ємний гідропривід : [навч. посіб.] / О.М. Скляревский. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 212 с.
10. Данилов Ю.А. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики / Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кирилловский, Ю.Г. Колпаков. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
11. Объемные гидравлические приводы / Башта Т.М., Зайченко И.З., Ермаков В.В. и др.; под ред. Т.М. Башты. – М.: Машиностроение, 1968. – 628 с.
12. Пневматические устройства и системы в машиностроении: Справочник / под общей ред. Е.В. Герц. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.
13. Дмитриев В.Н. Основы пневмоавтоматики. / В.Н. Дмитриев, В.Г. Градецкий. – М.: Машиностроение, 1973, – 360 с.
14. Чупраков Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики / Ю.И. Чупраков – М.: Машиностроение, 1979. – 232 с.
15. Машиностроительный гидропривод / Л.А. Кондаков, Г.А. Никитин, В.Н. Прокофьев и др.– М.: Машиностроение, 1978. – 495 с.
16. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т.М. Башта – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
17. Абрамов Е.И. Элементы гидропривода / Е.И. Абрамов, К.А. Колесниченко, В.Т. Маслов \ – К.: Техника, 1977. – 224 с.
18. Лурье З.Я. Динамические характеристики гидроагрегата с переменной нагрузкой и регулируемым приводящим электродвигателем насосной установки / З.Я. Лурье, И.Г. Лищенко, И.М. Федоренко // Промислова гідроліка і пневматика, 2009. – № 3(25). – С.77 – 83.
19. Лурье З.Я. Волновые процессы в объемных гидроагрегатах и анализ методов их математического описания / З.Я. Лурье, А.Н. Скляревский, В.В. Татьков // Вестник НТУ “ХПІ”. Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Харьков: НТУ “ХПІ”, 2005.–№28.– С.105-116.
20. Хохлов В.А. Электрогидравлические следящие системы / В.А. Хохлов, В.Н. Прокофьев, Н.А. Борисова и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 431 с.
21. Гийон М. Исследование и расчет гидравлических систем / М. Гийон. Пер. с франц. – М.: Машиностроение, 1964. – 388 с.

MATHEMATICAL MODEL OF STAND FOR TESTS OF PUMPS

Annotation. The mathematical model of stand is got for the tests of pumps during their work on gas-liquid mixture and gas-liquid mixture with addition of poverkhnostno-aktivnykh matters, which, together with the mathematical model of pump, allows to expect working description of pump, define the pulsations of pressure on his output.

Keywords: stand, pump, mathematical model, working description, gas-liquid mixture.

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ

Сергій Уминський, Анатолій Яковенко

Одеський державний аграрний університет

Анотація: Обґрунтовано та розроблено методику розрахунку гідродинамічних випромінювачів для аграрної техніки, визначено оптимальні параметри випромінювачів.

Ключові слова: гідродинамічний випромінювач, акустична хвиля, відбивач.

ВСТУП.

Акустична рідкофазна обробка матеріалів отримала застосування в сільгоспмашинобудуванні і агровиробництві. З її допомогою можна істотно інтенсифікувати основні технологічні процеси і у ряді випадків отримати якісно нові показники сільськогосподарської продукції.

ПРОБЛЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ

Використання в технології могутніх звукових полів представляє вельми важке завдання, оскільки навіть наближений розрахунок можна здійснити тільки базуючись на теорії нелінійної акустики. Слід зазначити, що основним інтенсифікуючим або ініціюючим дією володіє не саме розповсюдження пружної хвилі деформацій або зсувів, а виникаючі при цьому вторинні ефекти: акустичні течії, звукокапілярний ефект, кавітація, ударні хвилі і інші процеси, обумовлюючи вплив акустики практично на всі відомі технологічні процеси. З найширше вживаних акустичних випромінювачів (магніто-стрикційних, п'єзокерамічних і гідродинамічних) в аграрному секторі найкраще використовувати гідродинамічні випромінювачі. Це визначається тим, що магніто-трикційні та п'єзокерамічні перетворювачі складні у виготовленні і, тому достатньо дорогі. Обслуговування цих систем вимагає спеціальної кваліфікації персоналу. До переваг гідродинамічних випромінювачів можна віднести і ту обставину, що струмінь рідини є генератором коливань і об'єктом озвучування.

Основні теоретичні положення гідродинамічних випромінювачів сформульовані крупними вченими А.Ф. Назаренко, Л.Ф. Ландау, В.І. Біглером, Д.А. Гершлагом, В.М. Фрідманом, і іншими дослідниками [1,2,3,4]. Гідродинамічні випромінювачі - пристрої, що перетворюють частину енергії рухомої рідини в енергію акустичних хвиль. Робота гідродинамічного випромінювача заснована на генеруванні обурень в рідкому середовищі у виді деякого поля швидкостей і тиску при взаємодії рухомої рідини з нерухою або рухою перешкодою певної форми і розмірів. Розрахунок звукового поля, що генерується гідродинамічними випромінювачами, зустрічається з багатьма труднощами, не подоланими повністю і до сьогоднішнього дня. Найбільш успішною і багатобічною для вирішення поставленого завдання опинилася теорія Лайтхілла [2].

Мета досліджень: обґрунтувати та розробити методику розрахунку гідродинамічних випромінювачів для аграрної техніки, визначити оптимальні параметри випромінювачів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Існує багато способів вибору акустичних аналогій. Наприклад, запропонованих Лайтхіллом [2], Пауеллом [3], Хау [4] і Рібнером [5] і мають відповідно вигляд:

$$q = \partial^2 T_{ij} / \partial x_i \partial x_j, \quad (1)$$

$$q = \rho_0 \operatorname{div} \vec{L}, \quad (2)$$

$$q = -\frac{1}{a_0^2} \cdot \frac{\partial^2 p^{(0)}}{\partial t^2}. \quad (3)$$

Позначимо $T_{ij} = \rho u_i u_j + p_{ij} - a_0^2 \rho \delta_{ij}, \quad (4)$

де T_{ij} -тензор квадрупольних напруг Лайтхілла в термінах швидкості \vec{u} , напруги p_{ij} , і густини ρ

$$\vec{L} = \vec{w} \wedge \vec{u} - T_{grad} S, \quad (5)$$

де \vec{L} - вектор Лемба в теорії Пауелла-Хау, де \vec{w} - завихренність, $T_{(o)}$ - температура, S - ентропія, причому псевдо звуковий тиск $p^{(0)}$ Рібнера задовольняє рівнянню

$$\vec{V}^2 p^{(0)} = -\frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}, \quad (6)$$

Рівняння (1), (2) і (3) представляють відповідно розподіл джерел в виді квадруполів, диполів і монополів. Точковий мультиполь (або мультиполь з джерел, відокремлених масштабом l , набагато меншим випромінюваної довжини хвилі λ) має ефективність випромінювання і діаграму спрямованості, абсолютно відмінні від індивідуальних простих джерел, з яких він полягає і, тому всі підходи можуть бути узгоджені тільки тоді, коли інтегральний ефект всього розподілу обчислений з використанням функції Гріна рівняння (7)

$$h(x, t) = \int G(x, t; y, \tau) q(y, \tau) d^3 y d\tau., \quad (7)$$

Практично визначити розподіл детально у багатьох випадках достатньо складно, що при використанні наближеного виразу $\nu P^{(0)}$ в представленні акустичних монополів приведе до набагато більшої (з множителем порядку λ/l) оцінки для h . Ця чутливість деяких уявлень до тонких деталей розподілу джерел посилюється абсолютно різною поведінкою q віддалік від області течії.

Використовуючи теорію Лайтхілла можна отримати вираз для оцінки потужності акустичної хвилі, що вивчається некорельованими вихорами з об'ємом l^3 , розподіленими по простору об'єму V .

$$(\rho_0 u^3 l^2) (\nu/l^3) m^5. \quad (8)$$

У цьому виразі перший член $(\rho_0 u^2) l^3 (u/l)$ є швидкістю підведення енергії до вихору з масштабом l для того, щоб підтримувати його рух з швидкістю u ; другий член - число вихорів в об'ємі V , а третій - квадрупольну ефективність акустичних джерел при малих числах Маху. Вираз (8) еквівалентно добре відомому закону u^8 [9] для залежності акустичної потужності від характерної швидкості u турбулентного руху.

$$P = \frac{u^8}{a_0^5 l}. \quad (9)$$

По всій видимості, не існує підстав чекати отримання універсального коефіцієнта для виразів (8) і (9), оскільки випромінювання звуку відбувається, головним чином від низькочастотних, а не високочастотних компонент турбулентного спектру, і, отже, не може бути і мови про яку-небудь "формулу для потужності акустичного випромінювання від одиничного об'єму турбулентності. Навіть для заданої турбулентної течії величина цього коефіцієнта залежить від деталей течії, які поки не виміряні і, ймовірно, не можуть бути виміряні. Зокрема, він залежить від інтеграла спочатку по відстані, а потім за об'ємом області турбулентності від четвертої похідної за часом просторово-часових кореляцій напруг Рейнольдса [10], визначення якої в досліді є завданням величезних труднощів і зусиль. Все, що написано вище стосується, в основному, дальнього звукового поля, для ближнього ж поля ($r \ll \lambda$) картина виходить ще складнішою і заплутанішою. Тому, до теперішнього часу в розробці гідродинамічних випромінювачів використовують чисто емпіричний підхід. Гідродинамічні випромінювачі можна розділити на декілька типів. До першого відносяться роторні гідродинамічні випромінювачі. У пристроях цього типу є рухомий ротор і нерухомий статор, між поверхнями яких при обертанні ротора утворюються канали з постійно змінною геометрією, через які під тиском

проходить рідина. спеціальний корпус. При обертанні ротора ($n = 3000$ об/хв) струмінь рідини продавлюється через вузькі прорізи ротора і статора. Частота виникаючих при цьому коливань складає 3,6-7,2 кГц. Існують гідродинамічні випромінювачі, що створюють звукове поле за рахунок пульсації вихрової області локалізованою між соплом і відбивачем [6]. У цих випромінювачах використовуються конусно-циліндричні сопло і відбивач з виїмкою, близькою за формою до параболоїда обертання. При певних геометричних розмірах сопла і відбивача спостерігається періодичне вибухоподібне руйнування вихрової області, частота цього руйнування і визначає основний тон звукового поля, що генерується. Весь спектр генеруємих коливань (залежно від конструкції випромінювача), може лежати в інтервалі 0,4-40 кГц. Максимум звукового тиску в ближній зоні випромінювача може досягати 2...4,5 кГц. Максимум звукового тиску в ближній зоні випромінювача може досягати 2...4,5 МПа при швидкості закінчення струменя не менше 20...25 м/с (для рідин з динамічною в'язкістю близько 1,0 МПа с). Для отримання такого ж звукового поля в рідинах з більшою в'язкістю треба збільшувати швидкість закінчення рідини з сопла. При цьому к.к.д. випромінювача (відношення енергії звукового випромінювання до кінетичної енергії струменя) складає 6-8%. Збільшення зовнішнього протитиску може підвищувати звуковий тиск генеруємих коливань, але при цьому треба підвищувати тиск рідини на вході у випромінювач. Частоту основної гармоніки генеруємих коливань можна оцінити за допомогою виразу

$$\omega \approx \frac{4\pi x \rho_0 (K-1)^{2/3} \Delta_0}{\rho u_0 r l (1-x)}, \quad (10)$$

де x - частка об'єму усередині струменя, зайнятою рідиною; ρ_0 - абсолютне значення тиску в навколишньому середовищі; Δ_0 - товщина струменя на виході з сопла; ρ - густина рідини; u_0 - середня швидкість струменя у торця сопла; l - відстань між соплом і перешкодою; r - радіус сопла;

$$K = \sqrt{1 + \frac{2,3\gamma l}{\Delta_0}}, \quad (11)$$

де γ - кут розширення струменя.

За допомогою механізму регулювання можна міняти величину зазору між соплом і відбивачем. Випромінювач налаштовується установкою певного зазору між соплом і відбивачем. Контроль акустичного режиму роботи випромінювача здійснюється за допомогою спеціального акустичного датчика (гідрофону). В більшості випадків налаштувати випромінювач можна на слух по максимуму звучання.

У Одеському державному аграрному університеті проведені дослідження гідродинамічного випромінювача на маслах М10Г₂.

У таблиці 1 приведені дані впливу температури на тиск масла у випромінювачі і кінематичну в'язкість.

Таблиця 1. Вплив температури на тиск масла і кінематичну в'язкість у випромінювачі.
Table 1. Influence of temperature on pressure of oil and kinematics viscosity in emitter

Температура, °C	Тиск, кгс/см ²													Кінематична в'язкість, сСт	
	8!	10!	12!	14!	16!	18!	20!	22!	24!	26!	28!	30!	32!		34!
24									+	+	+	+	+	+	320
30							+	+	+	+	+	+	+	+	250
36					+	+	+	+	+	+	+	+	+		200
44				+	+	+	+	+	+	+	+	+			100
52			+	+	+	+	+	+	+	+	+				66
59		+	+	+	+	+	+	+	+	+					48
69	+	+	+	+	+	+									33
78	+	+	+												22
85	+	+													20

Як видно з таблиці 1, при збільшенні температури масла робоча зона (позначене знаком +) опускається в область більш нижчих значень тиску. Межа робочої зони випромінювача для кожної температури з боку більших тисків визначалася можливістю насоса створювати тиск. Оскільки при нагріванні в'язкість масла зменшувалася, і відповідно, падав гідравлічний опір установки, то у насоса не вистачало продуктивності для створення великих тисків.

Аналіз акустичного поля показав, що для кожної температури існує оптимальний інтервал тиску, при якому інтенсивність генеруемого акустичного поля максимальна. Це видно з даних, отриманих, наприклад, для температури 55 °C, (табл. 2).

Таблиця 2. Аналіз акустичного поля.
Table 2. Analysis of the acoustic field.

Тиск, кгс/см ²	10	12	14	16	18	20	22	24
Рівень сигналу, Дб	15	48	80	85	85	82	70	60

Витрата масла під час дослідів коливалася від 1,2 до 2,2 м³ / год.

Частота основного струму генеруемого звуку може змінюватися в деякому інтервалі. Це залежить від відстані між соплом і відбивачем. У дослідях частота змінювалася від 1,0 до 2,0 кГц. Частота основного струму залежить також від геометрії і розмірів сопла і відбивача. Із збільшення продуктивності випромінювача частота основного струму падає. Оцінка акустичного тиску, що випромінюється гідродинамічним випромінювачем в ближній зоні, дає значення 1,8-2,2 МПа. На виході з корпусу випромінювача тиск підтримувався близький до атмосферного. Це

було пов'язане з можливостями зібраної дослідної установки. З аналізу літературних джерел [7,8] зрозуміло, що існують різні схеми гідродинамічних випромінювачів, найбільш поширені з них приведені нижче. Гідродинамічні випромінювачі (ГВ) – пристрої, перетворюючі частину енергії турбулентного затопленого струменя рідини в енергію акустичних хвиль. Робота ГВ заснована на генеруванні обурень в рідинному середовищі у вигляді деякого поля швидкостей і тисків при взаємодії витікаючого з сопла струменя з перешкодою певної форми і розмірів або при примусовому періодичному перериванні струменя. Ці обурення надають зворотню дію в основі струменя у сопла, сприяючи встановленню автоколивального режиму. Механізм випромінювання звуку обуреннями може бути різним залежно від конструкції ГВ [7].

Погодившись з цим, визначаємо основні параметри саме гідродинамічного випромінювача стержньового типу [9].

Параметр отвору, мм:

$$Y = L / d \quad (12)$$

де, L – довжина отвору; d – діаметр отвору.

Найкраще співвідношення $Y \approx 5,4(0 < Y < 10)$

Середня швидкість закінчення рідини з сопла, м/с:

$$U = Y\sqrt{2gp}, \quad (13)$$

де, $Y = 0,8...0,9$ коефіцієнт швидкості; P – робочий тиск рідини на виході в сопло; g – прискорення власного падіння:

$$d = \sqrt[4]{8Q^2 / \Pi^2 Y^2 gp} \quad (14)$$

де Q – витрата рідини через сопло, мм:

$$L = 5,4\sqrt[4]{8Q^2 / \Pi^2 Y^2 gp}, \quad (15)$$

Довжина конічної частини сопла, мм:

$$L_1 = 5,4\sqrt[4]{8Q^2 / \Pi^2 Y^2 gp} \quad (16)$$

Вхідний діаметр конуса сопла, мм:

$$D = 1,27\sqrt[4]{8Q / \Pi^2 Y^2 gp} \quad (17)$$

На рис.1. представлена конструкція сопла.

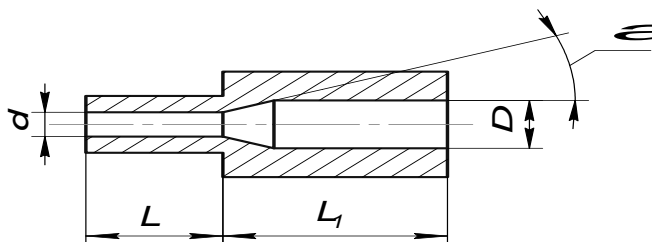


Рис.1. Схема сопла
Ris.1. Chart of nozzle

Конструктивний оптимальний розмір кута відповідає

$$\alpha = \arctg D - d / 2L_1 \quad (18)$$

Оптимальний режим генерування коливань спостерігається, коли діаметр лунки на торці відбивача дорівнює двом діаметрам струменя рідини у торця сопла, а кут виходу відбитого від перешкоди струменя знаходиться в межах 35-50°. Оптимізація роботи досягається шляхом узгодження глибини лунки в її діаметральному перетині з швидкістю закінчення струменя в тому ж перетині.

Швидкість будь-якого елемента струменя визначається співвідношенням:

$$I_{\kappa} = U \frac{5,1Lg Re - 0,5 + 1/CLn\Gamma L - \Gamma / \Gamma^2}{5,1Lg Re - 0,5 - 3/2C}, \quad (19)$$

де U - середня швидкість закінчення рідини з сопла, m/c ; Re - критерій Рейнольдса; C - const.

Профіль лунки, що повторює профіль струменя буде являтися оптимальним.

$$Z_{cmp} = Z_{onm} \quad (20)$$

$$Z_{cmp} = (5.11Re - 0.5 + 1/CLn\Gamma_0\Gamma / \Gamma_0) / (5.11g Re - 0.5), \quad (21)$$

де Z_{cmp} - безрозмірна швидкість, рівна відношенню швидкості на будь-якій відстані Γ від осі ($0 < \Gamma < \Gamma_0$) до швидкості на вісь сопла.

$$Re = VPd / n \quad (22)$$

де P - щільність; n — в'язкість;

Безрозмірна глибина профілю лунки, рівна відношенню глибини на будь-якій відстані від осі ($0 < \Gamma < \Gamma_0$) до максимальної глибини лунки.

$$Z_{onm} = Xr / Xo \quad (23)$$

$$X_0 = \frac{1}{\operatorname{tg}(180^\circ \alpha_{\text{omp}})} \left[\frac{Z_1 Z_2 Z_3}{(Z_1 Z_2)(Z_1 Z_3)Z_1} + \frac{Z_2 Z_1 Z_3}{(Z_2 + Z_1)(Z_2 - Z_3)Z_2} \right. \\ \left. + \frac{Z_3 Z_1 Z_3}{(Z_3 - Z_1)(Z_3 Z_2)Z_3} + \frac{Z_4 (Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3)}{(Z_3 - Z_1)(Z_4 + Z_2)(Z_4 - Z_3)} \right] \quad (24)$$

Профіль лунки визначається як крива, що проходить набір крапок ($\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$).
Отримана форма лунки близька за формою до параболоїда обертання (рис.2.).
Отримані емпіричні формули визначення частоти:

$$f = 6V^{-1/3} \quad (25)$$

де V – об'єм каверни, мм^2 (обліком розмірів струменя).

$$f = 3,3d^{-1} \quad (26)$$

де d – діаметр сопла, мм .

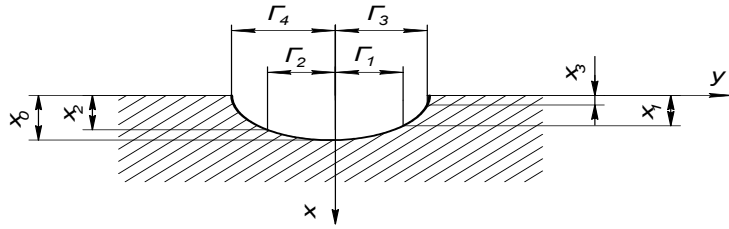


Рис. 2 . Схема профілю лунки.
Rice. 2 . Chart of type of small hole.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика, прийнятна для розрахунку конструктивних параметрів гідродинамічних випромінювачів для проведення технологічних процесів агровиробництва (виробництва біодизельного палива, коагуляції і дезодорації рослинної олії, пастеризації молока і соків, мийки деталей і устаткування, опалення приміщень). Дослідні зразки устаткування апробовані у виробництві, отримані позитивні результати для впровадження розробленої методики в АПК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Назаренко А. Ф. Акустика і ультразвукова техніка. – К: Техніка, 1972. - с.367.
2. Л.Д.Ландау, Е.М. Лівшиць .Гідродинаміка. - М.: Наука, 1986. - с.409.
3. Гаршгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвукова технологічна апаратура. - М.:Енергія, 1976. - с.520.
4. В.И.Беглер,В.Н.Лавреченко, Акустична рідина .XXIU випуск,1978. - с. 34-39.
5. Б. А. Аграма, Ультразвукова технологія. – М.:Метав, 1974. - с.320.
6. Топілін Г.Є., Уминський С.М. Використання гідродинамічних апаратів у технологічних процесах. – К.: Видавництво та друкарня «ТЕС», 2009 р.С.184 .
7. Топілін Г.Є., Уминський С.М. Гідродинамічна установка для отримання біодизельного палива . Патент на корисну модель UA 31463 C10L8/00 Заявлено 05.12.2007. Опубл.10.04.2008. Бюл.№7.
8. Топілін Г.Є., Уминський С.М. Універсальна установка для виробництва біодизельного палива. Патент на корисну модель UA 37619 C10I 5/40 Заявлено18.04..2008. Опубл.10.12.2008. Бюл.№23.
9. G.Topilin, S. Uminski. Production of biodiesel fuel for sele-propelled agricultural machinery. Polish academy of science. Department in Lublin. Commission of motorization and power industry in agriculture. Teka. Lublin, 2009, .5-Vol. 9.- p.353-357.
10. Топилин Г.Е., Уминский С.М., и др. Использование гидродинамических аппаратов в агропроизводстве. Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки. Вип. 40. Одеса, 2007.- С.64-79.
11. Топилин Г.Е., Уминский С.М., и др. Определение параметров гидродинамического излучателя для аграрного оборудования. Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки. Вип. 40, 2007.- с. 92 – 96.
12. Топілін Г.Є., Уминський С.М. та ін. Синтез технології та розробка методики випробувань сумішного бензину. Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки. Вип. 40, 2007. - с. 129 – 135.
13. Топілін Г.Є., Уминський С.М. Гідродинамічний апарат для отримання екологічно чистого біодизельного палива. Наукові праці ОНАХТ, випуск 32(35) 2008.С.26-28.
14. Топілін Г.Є., Уминський С.М. Гідродинамічна установка для нагрівання рідини. Патент на корисну модель UA 31462 F25B29/00. Заявлено 05.12.2007. Опубл. 10.04.2008. Бюл. №7
15. Топілін Г.Є., Уминський С.М. Энергозберігаюча гідродинамічна установка для системи гарячого водопостачання. - Промислова гідравліка и пневматика, 2009, вип. 1(23). - С.89-93.
16. Г.Є. Топілін, С.М. Уминський . Гідродинамічна установка для локальної системи опалення та гарячого водозабезпечення. Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки. 2008, Вип. 45. - с.95 -102.

CALCULATION DATA HYDRODYNAMICAL EMITTER FOR
AGRARIAN ENGINEERING

Annotation: The design procedure of hydrodynamical radiators for agrarian engineering is proved and developed, are determined parameters of radiators.

Key words: hydrodynamical emitter, installation wave, ref

СОДЕРЖАНИЕ

Nikolay Zaichenko*, Al-Shamsi K. Ali Said**, Elena Sakhoshko* SILICA FUME-BASED ADMIXTURE IN THE FORM OF AQUEOUS SLURRY FOR SELF-COMPACTING CONCRETE.....	
Lyudmila Zaichenko RESOURCE-AND ENERGY- SAVING METHOD FORMANUFACTURING CONCRETE PRODUCTS	
Виктор Нездойминов, Валентин Чернышев НОВАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ	
Орест Возняк, Христина Миронюк, Ирина Сухолова ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРОРІЗПОДІЛУ ВЗАЄМОДІЄЮ ЗУСТРІЧНИХ НЕСПІВВІСНИХ СТРУМИН.....	
Вікторія Батлук, Віктор Макарчук, Надія Параняк РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ВІД ПИЛУ	
Dmitriy Prusov, Valeriy Badakh EFFECT OF DEEP EXCAVATIONS WITH FILLER CONSTRUCTIONS ON THE GROUNDWATER FILTRATION PROCESSES	
Александр Борман, Геннадий Подзноев, Умер Абдулгасис ДИЗЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ.....	
Олена Савченко, Іван Балінський, Юрій Юркевич ВИХРОВА ТРУБА НА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ СТАНЦІЯХ.....	
Василь Шаленний*, Альона Скокова**, Євген Галич**, Марина Долотій**, Володимир Соха***, Євген Карапузов*** ВПЛИВ СТУПЕНЮ УШКОДЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ CERESIT НА ВАРТІСТЬ РОБІТ ПО ЇЇ ВІДНОВЛЕННЮ	
Николай Любомирский, Татьяна Бахтина, Александр Бахтин, Арсен Джелял ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ И КАРБОНАТНОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ	

- Stepan Epojjan, Irina Shtonda, Yuriy Shtonda*, Aleksey Zubko**, Yuriy Zvyagintsev*****
SOLAR ENERGY USAGE FOR THE IMPROVEMENT OF THE TREATMENT EFFICIENCY AND OPERATION STABILITY AT SMALL-SCALE WASTEWATER TREATMENT PLANTS.....
- Сергей Топорен, Олег Зайцев**
ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА РАНКА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ.....
- Зиновий Лурье, Игорь Федоренко**
АППАРАТНО-ПРОГРАМНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ И В ЦЕЛОМ МЕХАТРОННОГО ГИДРОАГРЕГАТА СИСТЕМЫ СМАЗКИ
- Зиновий Лурье, Евгений Цента**
УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НЕЛИНЕЙНОГО ГИДРОАГРЕГАТА МОБИЛЬНЫХ МАШИН ПУТЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ.....
- Сергей Вансеев, Зельман Финкельштейн***
ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОАГРЕГАТОВ С ВИХРЕВЫМИ И СТРУЙНО-РЕАКТИВНЫМИ ТУРБИНАМИ
- Владлен Корохов, Лилия Чечевич**
К ВОПРОСУ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.....
- Геннадий Куликов, Альбина Казьмина, Нина Кондратьева**
ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРА РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛИЩА
- Завалий Алексей**
ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УСТРОЙСТВ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ
- А. Кобець, Н. Нагієва**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ РОЗКИДАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ.....
- Николай Любомирский, Денис Воробьев**
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКУССТВЕННОЙ КАРБОНИЗАЦИИ ИЗВЕСТКОВЫХ СИСТЕМ.....

**Николай Любомирский, Татьяна Бахтина, Александр Бахтин,
Арсен Джелял**
ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ИСКУССТВЕННО КАРБОНИЗИРОВАННОГО КАМНЯ

Михайло Сукач, Роман Новіков
ОПІР ПІЩАНОГО ҐРУНТУ ПРИ ЩІЛИННОМУ РІЗАННІ
ШИРОКИМ НОЖЕМ

Олександр Холопцев*, Л. Жебет **
ОЦІНКА ВПЛИВУ ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОЇ АЕС НА ДИНАМІКУ
РАДІОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВОДНИХ ОБСЬКТІВ, ЯКІ
РОЗТАШОВАНО У ЗОНІ ЇЇ ВПЛИВУ.

Павел Андренко, Антон Лебедев
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
НАСОСОВ

Сергій Уминський, Анатолій Яковенко
РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОДИНАМІЧНОГО
ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ

