

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

2020

Випуск 33



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Kiev National University of Construction and Architecture

**VENTYLIATSIIA, OSVITLENNIA
TA TEPLOHAZOPOSTACHANNIA**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

founded in 2001

ISSUE 33

Kyiv 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет
будівництва і архітектури

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

заснований у 2001 році

ВИПУСК 33

Київ 2020

УДК 697

ISSN 2409-2606

B29

Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник. – Вип. 33 / відповідальний редактор В. Б. Довгалюк. – Київ: КНУБА, 2020. – 63 с.

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень, питання теорії і практики з опалення, вентиляції і кондиціонування повітря, теплопостачання та газопостачання. Призначений для наукових працівників, викладачів, виробників, докторантів, аспірантів та студентів.

Редакційна колегія: канд. техн. наук, професор В. Б. Довгалюк (відповідальний редактор); докт. техн. наук, професор В. П. Корбут (заступник відповідального редактора); канд. техн. наук, доцент В. О. Мілейковський (відповідальний секретар); докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України В. М. Міхайленко; докт. техн. наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України О. Л. Підгорний; докт. техн. наук, професор О. В. Приймак; канд. техн. наук, професор В. В. Трофімович; докт. техн. наук, професор Б. Рашуо (Сербія); доктор наук, професор А. Рогожа (Литва); докт. техн. наук, професор Г. Собчук (Польща); докт. техн. наук, професор М. Улевіч (Польща); доктор інженер, доцент А. Ліс (Польща); доктор інженер, доцент А. Уйма (Польща); докт. техн. наук, професор О. Токмаджян (Вірменія); докт. техн. наук, професор А. Маргарян (Вірменія); докт. техн. наук, доцент В. Токмаджян (Вірменія); доктор Г. Глінцерер (Австрія).

Рекомендовано до випуску Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури 04 червня 2020 року, протокол № 32.

Адреса редакційної колегії: Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теплогазопостачання і вентиляції та кафедра теплотехніки, Повітрофлотський просп., 31, м. Київ, 03037, Україна.

тел. +380(44)245-48-33

© Київський національний університет
будівництва і архітектури

ЗМІСТ

<i>До відома авторів.....</i>	<i>5</i>
<i>А. Ліс Оцінка ефектів зменшення споживання енергії для опалення будівель (англійською мовою).....</i>	<i>6</i>
<i>М. П. Сенчук, А. М. Рибка, О. І. Юрко Зниження впливу забруднення поверхонь нагріву твердопаливних теплогенераторів невеликої потужності.....</i>	<i>15</i>
<i>К. М. Предун, О. М. Шевчук Еколого-економічні проблеми житлово-комунального господарства України.....</i>	<i>22</i>
<i>В. А. Коновалюк, Ю. Й. Франчук Дослідження проблеми забезпечення оптимального тиску в розподільчих мережах газопостачання перед побутовими газовими приладами.....</i>	<i>32</i>
<i>О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко Ексергетична ефективність системи кондиціонування повітря з адсорбційним осушенням та регенерацією адсорбенту теплотою конденсації для приміщень арбітражного зберігання ліків.....</i>	<i>39</i>
<i>Л. М. Коваль Концепція міждисциплінарного дослідження естетичного, психологічного і фізіологічного впливу хроматичного світлового середовища на людину.....</i>	<i>47</i>

CONTENTS

<i>Information for the Authors</i>	5
A. Lis <i>Estimating the effects of reducing energy consumption for buildings heating</i>	6
M. Senchuk, A. Rybka, O. Yurko <i>Reducing the Impact of Pollution on Heating Surfaces in Low-Power Solid Fuel Heat Generators (in Ukrainian)</i>	15
K. M. Predun, O. M. Shevchuk <i>Ecological and Economic Problems of Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukrainian)</i>	22
V. Konovaliuk, Yu. Franchuk <i>Investigation of the problem of ensuring optimal pressure in gas distribution networks before household gas appliances (in Ukrainian)</i>	32
O. Zadoiannyi, Y. Yevdokymenko <i>Exergy efficiency of the air-conditioning system with adsorption drying and regeneration of the adsorbent by heat of condensation for the premises of arbitration storage of drugs (in Ukrainian)</i>	39
L. Koval <i>The Concept of Multidisciplinary Study of the Aesthetic, Psychological and Physiological Impact of Chromatic Light Environment on a Person (in Ukrainian)</i>	47

До відома авторів

Шановні автори та рецензенти статей науково-технічного збірника “Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання”.

Розпочинаємо публікацію статей за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції “Довкілля, ресурси, енергія” ERE-2020 факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури.

Звертаємо увагу на неухильне дотримання вимог до рукописів, розміщених на сайті <http://vothp.knuba.edu.ua/about/submissions>.

Кількість слів анотації має бути суворо 100...250 українською і російською мовами та не менше 1800 знаків англійською мовою, якщо стаття написана українською або російською мовою. Якщо стаття написана англійською, то кількість слів анотації має бути 100...250 англійською і російською мовами та не менше 1800 знаків українською мовою.

Рисунки мають чітко читатися після внесення до тексту. Фактичний розмір шрифту на рисунках має бути 9...12 пт. Треба уникати світлих кольорів на діаграмах і графіках, особливо жовтого та світло-сірого.

Information for the Authors

Dear authors and reviewers of articles of the Scientific and Technical Collection “Ventyliatsiia, Osvitlennia ta Teplo hazopostachannia” (“Ventilation, Illumination and Heat and Gas Supply”).

In the issue, we start publication of articles on the materials of the International scientific and practical conference “Environment, Resources, Energy” ERE-2020 of Engineering Systems and Ecology Department, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Pay attention to the strict adherence to the Requirements for manuscripts, placed on the site <http://vothp.knuba.edu.ua/about/submissions>.

The number of words of the annotation should be strictly 100...250 in Ukrainian and Russian languages and at least 1800 characters in English, if the article is written in Ukrainian or Russian. If the article is written in English, then the number of annotation words should be 100...250 in English and Russian, and at least 1800 in Ukrainian.

Figures should be clearly read after insertion into the text. The actual size of the font on the figures should be 9...12 pt. Avoid light colours on charts, especially yellow and light grey.

UDC 699.86:697.1:696.48

Estimating the effects of reducing energy consumption for buildings heating

A. Lis

EngD, Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland, anna.lis@pcz.pl, ORCID: 0000-0001-9497-5754

Abstract. Maintaining the current level of production and living standards, while caring for the environment and good health condition of societies, is possible due to rational management of energy resources and proper shaping of the energy performance of erected buildings, as well as improving the characteristics of existing buildings. The essence of implementing a deep thermal modernization program for existing buildings is to achieve benefits, not only economic but also environmental, functional, community, social, integration and others. About 70 % of energy in the buildings is consumed for heating and hot water preparation. Households are the largest heat consumers. In the article, the analysis of the effects of heat consumption reduction was performed for residential buildings. The basic effects of conducted thermal modernization relate to economic issues associated with the reduction of fuel, water and electricity consumption, and thus incurred fees. The effects also refer to reducing the amount of air pollution, improving indoor microclimate conditions and user safety, as well as eliminating energy poverty and stimulating public awareness of energy-saving activities.

Keywords: energy consumption, energy efficiency, air pollution, indoor microclimate conditions.

Introduction. The increase in energy consumption in recent years has led to a significant depletion of natural resources and environmental pollution. In Europe, the implementation and operation of buildings consume 40 % of total energy consumption and in the United States about 65 % [1, 2, 3]. This energy consumption in Europe causes 36 % of greenhouse gas emissions to the atmosphere and in the United States – about 30 % [1, 2, 3]. About 70 % of the energy in a building is consumed for heating and hot water preparation [1]. From among approximately 200 million buildings operated in the European Union, a large part of them was built before 1990. Their low thermal insulation is the reason for significant energy consumption. In the framework of the development of European Union countries, there are aims to:

- increase energy efficiency;
- reduce greenhouse gas emissions;
- implement a low carbon policy;
- increase the share of renewable energy in overall energy consumption [5-8].

Member States of the European Union have made a commitment compared to the levels of 1990 to [9, 10]:

- increase energy efficiency by 20 %
- reduce greenhouse gas emissions by 20 %
- increase the share of renewable energy sources in final energy consumption by 20 % by 2020.

The share of energy consumption for heating in the overall energy consumption balance is steadily decreasing, in recent years, which is associated with the introduction of increasingly stringent requirements in terms of thermal insulation and energy-efficiency, installation of more efficient heating devices and intensification of activit-

ies in the field of thermal modernization of buildings. It is estimated that the annual energy savings achieved through thermal modernization may in 2030 reach 26 % of consumption from 2013 [11].

Implementation of the energy efficiency program brings measurable benefits. Fig. 1 presents cumulated energy savings since 2000, which illustrate how much higher energy consumption would be in a given year if improvements in energy efficiency were not introduced [12]. According to expert estimates from Buildings Performance Institute Europe, the total net social benefits of implementing a deep thermal modernization program by 2045 could reach about 170 billion euros [11].

Starting from 2021, all newly constructed buildings will require very low energy, covered mainly by renewable resources. The share of energy from renewable sources is steadily increasing (Fig. 2.) Renewable energy can supply two-thirds of the total global energy demand, and contribute to the significant greenhouse gas emissions reduction [13-16]. Using new datasets for renewable energy, the technical and economic possibilities of accelerating the implementation of this type of energy to 2050, were tested. The share of renewable energy in total primary energy supply would rise from 14 % in 2015 to 63 % in 2050. The share of renewable energy in the power sector would increase from 25 % in 2015 to 85 % in 2050. Energy efficiency, low-carbon economy, and renewable energy would result in emissions reductions of 48-58 % by 2030 and 95 % by 2050. It has been also estimated that the potential for reducing carbon dioxide emissions in the operation of buildings up to 2030 is 3,7 Gt. Percentage share in each region is shown in Fig. 3 [7, 13-16].

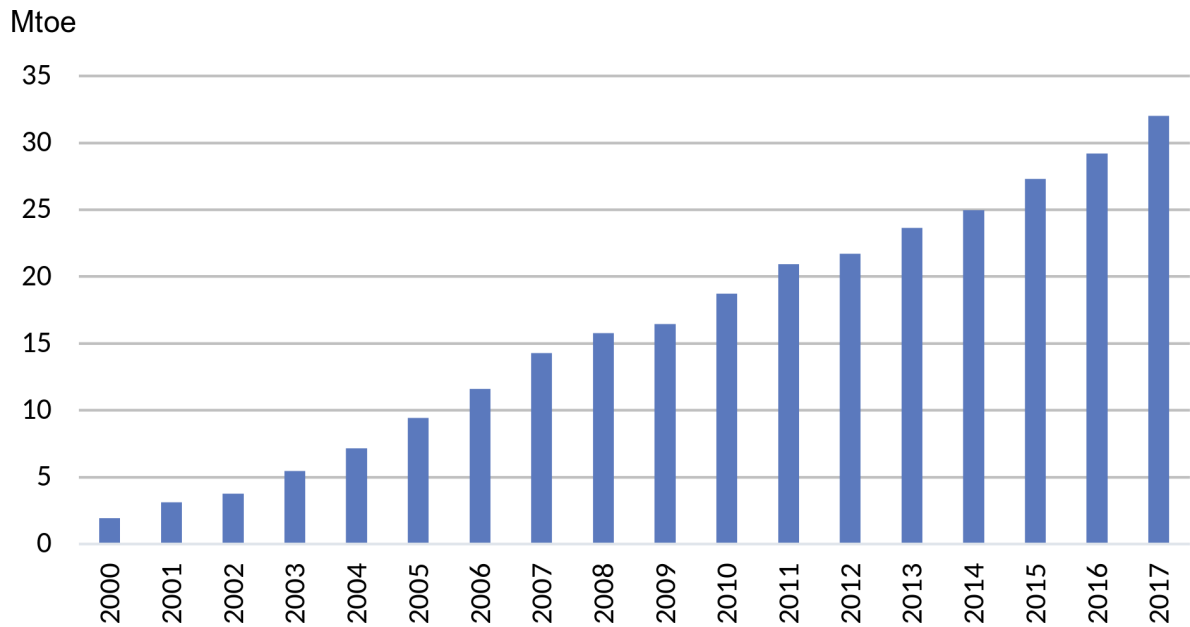


Fig. 1. Cumulated energy savings [12]

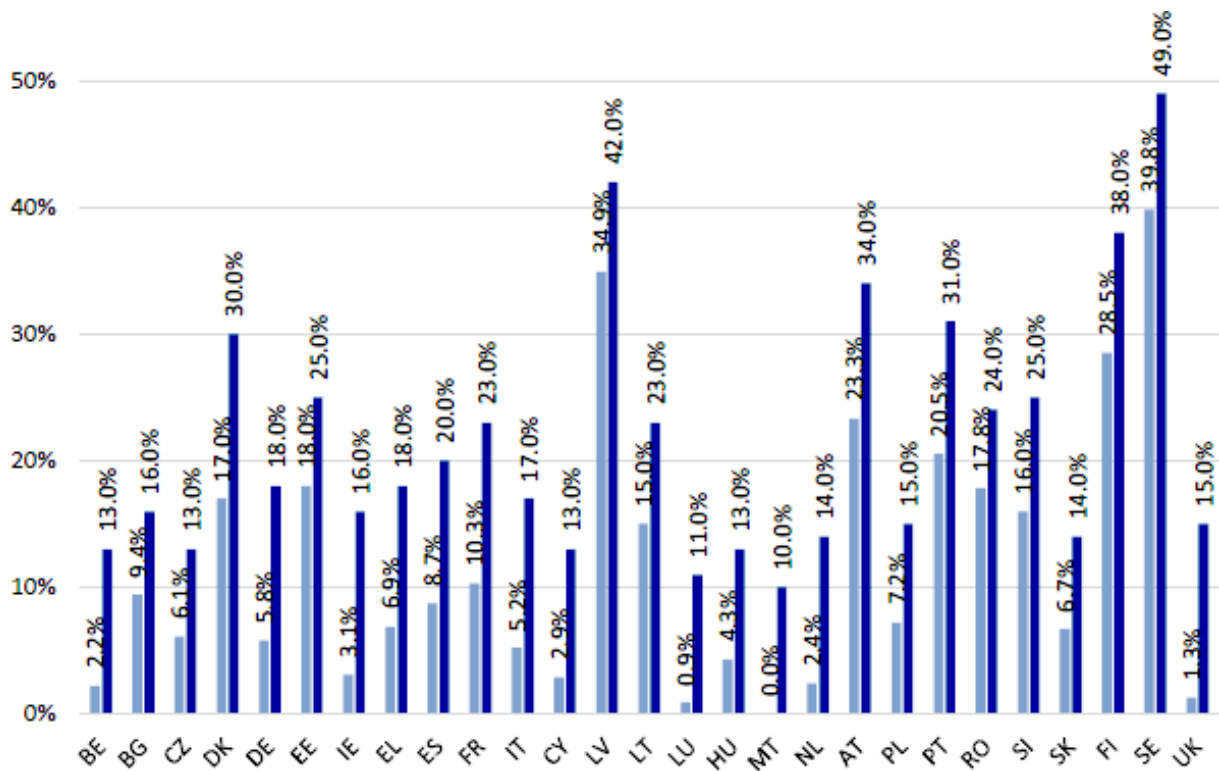


Fig. 2. Share of energy from renewable sources [13-14]:

- – share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy, 2005;
- – target for share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy, 2000

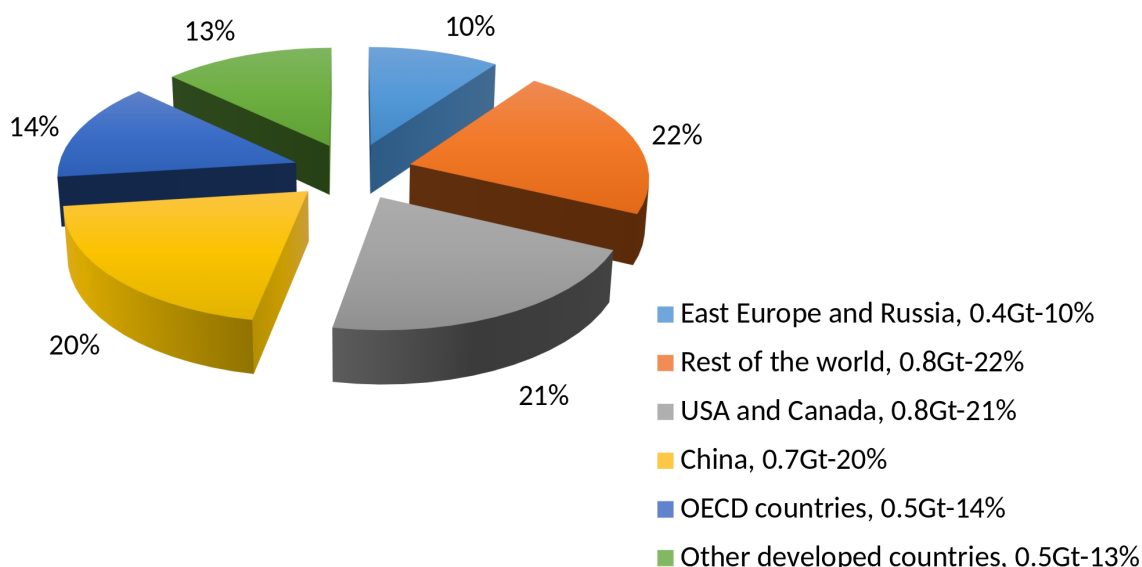


Fig. 3. The potential for reducing CO₂ emissions in the operation of buildings up to 2030 [13-14]

Reducing energy consumption by introducing innovative technologies and solutions and adapting existing buildings to energy-saving construction standards combines energy and economic effects with care for the health and comfort of users and limiting the negative impact of buildings on the environment and climate.

It is estimated that households are the largest heat consumers, their share in the heat consumption market is about 50% [17]. Bearing in mind the implementation of energy efficiency and the principles of sustainable development in building construction, the effects of reducing energy consumption in the group of 9 residential buildings were analysed.

In Poland, there are about 6 million buildings. About 85 % of them are characterized by significant heat losses due to inappropriate thermal insulation of individual building envelope [18]. About 60 % of heating and 70 % of hot water preparation in these buildings is carried out from individual sources based on solid fuels [19]. It is mainly coal (domestic fuel), which often is poor quality. This results in a significant emission of air pollutants into the atmosphere. Therefore, air quality in Poland continues to give cause for severe concern [20]. As air quality declines, the risk of stroke, heart disease, lung cancer, chronic and acute respiratory diseases, including asthma, increases. Air pollution shortens the lives of the average European Union citizen by more than 8 months. For the Polish residents, this value increases by 1-2 months. It causes the premature death of about 46,000 people in Poland every year [21, 22]. This is 10 times more than in the case of road accidents. Households have been causing 55 % particulate matter PM 2.5 and 23% nitrogen oxides emissions in recent years [23].

Purposes of the article. Given the significant heat consumption in residential buildings and their negative impact on the environment, particularly due to low carbon emissions and the phenomenon of smog, including this group of buildings in the program of deep thermal modernization should bring measurable benefits resulting from the reduction of energy consumption. This will not only economic but also the environmental, utility, and social benefits [11, 24–27].

Estimated buildings. The group of analysed buildings are multi-family residential, built in the 1950s and 1960s. The buildings were made in traditional technology with brick walls and precast beam and hollow tile ceiling. The buildings were 3 and 4 storeys. They have a complete basement and an unused attic. Although the structural elements were intact, the general technical condition of the buildings was poor. First of all, the façades were damaged. There were numerous defects in the external plaster and flashings. Old wooden windows and doors were characterized by low insulation and tightness. The installations were outdated and inefficient. There was a lack of patency of some chimney and ventilation ducts. The absence of thermal insulation, both in the walls and ceilings, resulting in significant heat loss. Heating of buildings and preparation of hot water was mainly based on solid fuels.

Based on auditing analysis, the actions to deep thermal modernization in the studied buildings were taken. Insulation of partitions using mainly polystyrene and mineral wool and replacement of wooden windows for modern UPVC windows and doors, as well as modernization of the heating and hot water preparation system were carried out. The values of heat transfer coefficients for building envelope before and after

thermal modernization are presented in Table 1. Two buildings were already connected to the central heat network, three – to the local heat network. They had gas water heaters. The others equipped by individual heating and hot water preparation. In buildings with individual heating, the creation of own boiler rooms, central heating system and preparation of hot water was proposed. In addition, during the thermal modernization, the works should include the necessary overhaul of the cold water and sewage system, as well as, defective ventilation must be cleared.

Energy and economic effects. The economic benefits resulting from the energy effects associated with the reduction of fuel, water and electricity consumption are, above all:

- the reduction of charges incurred for the use of buildings;
- the increase in economic development in sectors related to thermal modernization, which causes the creation of new jobs;
- reduction of expenses for improvement of public health and the state and protection of the environment.

As a result of the thermal modernization, the final energy demand for heating, ventilation and hot water preparation decreased by in the range of 35-65 %. Before thermal modernization, the final energy demand for heating and hot water preparation was on average 186.4 kWh/(m²·year) at standard deviation 54.6 kWh/(m²·year). After thermal modernization, it will be decreased to 89.6 kWh/(m²·year) on average at standard deviation 21.3 kWh/(m²·year).

The average usable floor space of a flat in Poland is 78.2 m². The average annual energy consumption in a household is 84 GJ and its cost is about 1000 euros [17]. Due to the steady in-

crease in the costs of fuels and energy, there is a continuous increase in the costs of operating buildings. However, measurably skipping the thermal modernization program would increase these costs. Especially, the replacement of coal into gas fuel may not cause measurable economic benefits. However, it will significantly reduce low-carbon emissions and costs associated with coal boiler operation.

Reduction of energy demand in the analysed group of buildings will cause an average of about 40 % decrease in fees. After thermal modernization the consumption of water decreased by about 10 %, and also the electricity of about 26%, certainly due to the lack of necessity to reheat the rooms and the use of energy-saving lighting.

Environmental effects. Environmental benefits are associated with the reduction of emissions into the atmosphere of harmful substances from the combustion of fuels, primarily solid, used to generate energy. The substances lead to:

- negative changes in the Earth's climate
- deterioration of the quality of life
- problems of human health
- increase in mortality.

Harmful substances for humans that especially increase the risk of cardiovascular and respiratory diseases or death are [28, 29]:

- above all particulate matters PM10 and PM2.5;
- polycyclic aromatic hydrocarbons, e.g. benzo(a)pyrene, dioxins;
- sulphur dioxide;
- nitrogen oxides;
- carbon monoxide;
- carbon dioxide;
- heavy metals.

Table 1

Heat transfer coefficient of analysed buildings (own research)

Building envelope	Heat transfer coefficient, W/(m ² K)			
	Before thermal modernization		After thermal modernization	
	Harmonic mean	Standard deviation	Harmonic mean	Standard deviation
Walls	1.32	0.18	0.22	0.03
Ceilings under attics	1.47	0.34	0.17	0.02
Ceilings above basements	1.29	0.25	0.32	0.06
Windows	2.50	0.40	1.60	0.20
Doors	3.42	0.59	2.53	0.86

Poor air quality is particularly troublesome during the heating season. Pollutants introduced into the air as a result of emissions accumulate around the place of their production and are, under unfavourable weather conditions, the cause of the formation of smog.

Reduction of energy demand leads to decreasing the amount of fuel necessary to it produce (hard coal was accepted for district heating). This causes a reduction of burdensome emissions into the atmosphere of harmful substances arising in the process of fuel combustion. This is particularly beneficial for individual boiler rooms. The percentage reduction in emissions of individual harmful substances into the atmosphere when leaving coal as an energy source after thermal modernization is shown in Fig. 4. The use of gas will result in an almost 98-100 % reduction of pollution into the atmosphere.

Usable effects. The utility benefits are associated with the improvement of the quality of the indoor environment, thermal comfort and living comfort. An improper condition of the indoor environment can lead to the phenomenon of sick building syndrome. Prolonged stay in such an environment causes and intensifies the symptoms associated with the malfunctioning of the body and leads to its weakness or disease. The results of research conducted among residents regarding the conditions of interior microclimate and thermal comfort of people also indicate a significant improvement in the room's environmental conditions and the feelings associated with being

in them. An increase in indoor air temperature and a decrease in air humidity were observed. High humidity due to energy-saving (low internal temperature) is unfavourable due to growth of fungi, which releases carcinogenic mycotoxins, and damage of internal surface finishing.

The conditions of the thermal comfort of the inhabitants were also radically improved. Before carrying out thermal modernization works, as much as 71 % of residents indicated the inadequate condition of the indoor environment (Fig. 5). During the research, the sick building syndrome symptoms were noted in people staying in the rooms, which they identified with long-term staying in a given environment. The study was based on questionnaires. The occurrence of symptoms in the studied respondents before and after thermal modernization is presented in Table 2.

Some of the sick building syndrome symptoms such as above all flu-like symptoms or nose irritation and rhinitis partly receded after thermal modernization. Increased fatigue, sleepiness and difficulty in concentration which may be related to overheating of the rooms, excessive tightness of windows or the growth of the level of carbon dioxide in the rooms. An important aspect of thermal modernization, especially in buildings with a low technical standard, is the increase in the value of housing resources and the building itself, as well as their attractiveness related to the possible sale as well as the aesthetics of the building and its surroundings.

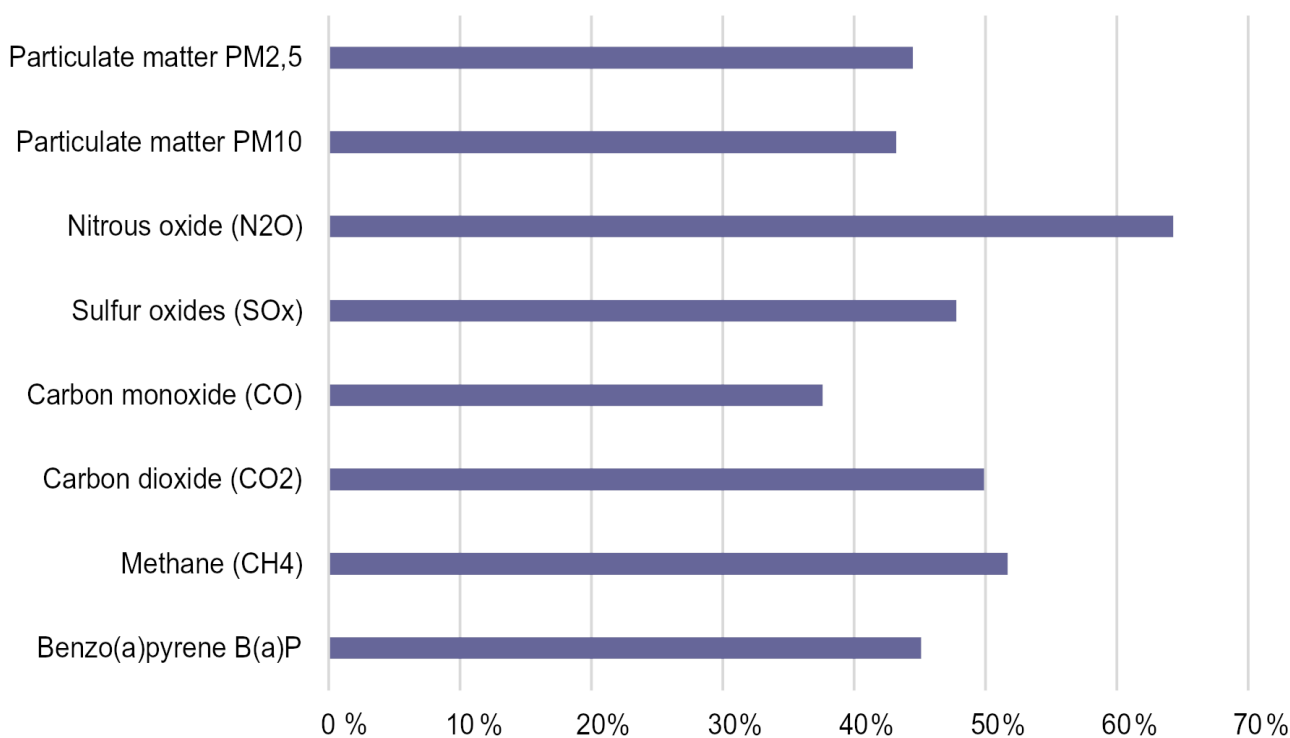


Fig. 4. Percentage reduction in emissions of individual harmful substances (own research)

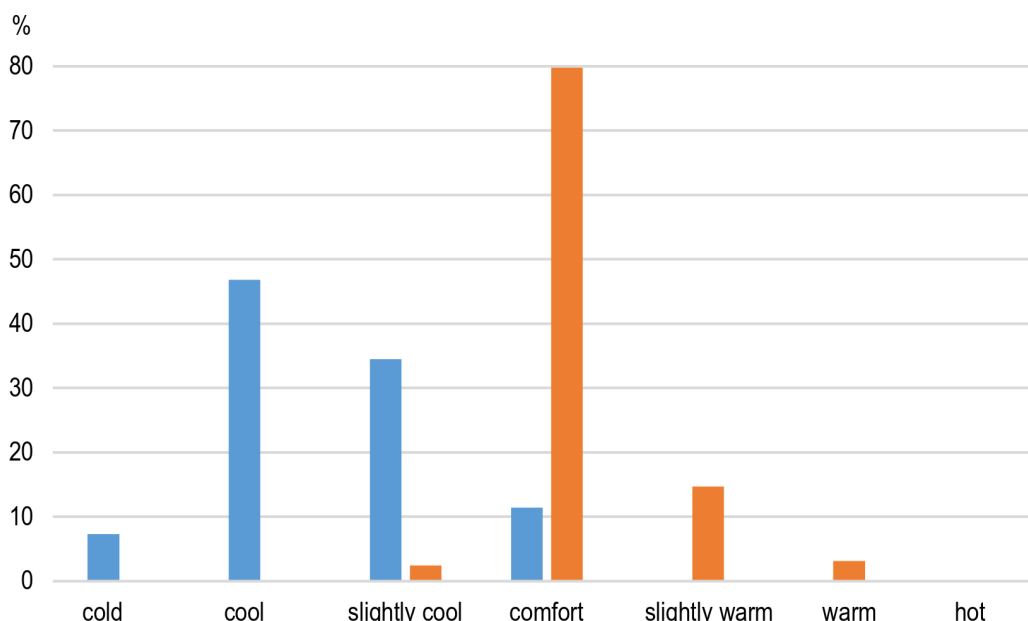


Fig. 5. Percentage of thermal fillings of respondents before and after thermal modernization (own research):

■ – before thermal modernization;
 ■ – share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy, 2005;
 ■ – after thermal modernization

Table 2

Sick building syndrome symptoms before and after thermal modernization [own research]

Sick building syndrome symptoms	Symptom occurrence, %	
	before thermal modernization	after thermal modernization
Eye irritation	21.6	7.4
Throat irritation, cough	46.7	17.5
Nose irritation, rhinitis	39.5	25.6
Headache	35.6	30.4
Itching and dry skin	14.1	11.2
Flu-like symptoms	29.2	9.9
Malaise	37.9	17.4
Difficulty in concentration	26.7	42.1
Fatigue and sleepiness	23.6	41.2

As a result of the thermal modernization, there was an improvement in safety related to the elimination of individual heating sources and the risk of poisoning from inefficient smoke and ventilation ducts. In individually heated buildings, the creation of a central heating system and hot water preparation has contributed to the improvement of the standard of flats and the quality of their use, which is especially important for the

elderly.

The elimination of individual heating sources has contributed to increasing the cleanliness of the rooms and reducing the costs of renovating them. In general, residents rated the quality of indoor before thermomodernization as unsatisfactory (51.3 %) and poor (12.3 %). After the thermal modernization, the majority of residents assessed the quality of the indoor environment as very

good.

As a result of the renovation of the façade, thermal modernization activities brought an aesthetic effect. It was further strengthened as a result of ordering the environment and its greening, made thanks to the involvement of the residents themselves. The works improve the standard of the apartments and the whole building, contributing to the increase in the value of the apartments as well as the attractiveness for their sale.

Social effects. Social benefits are primarily associated with the reduction of energy poverty, stimulating public awareness of energy-efficient activities and the phenomenon of social exclusion due to the poverty. Conducting activities related to deep thermal modernization of the building structure, especially within degraded areas, can be a positive element conducive to urban regeneration.

Conducting a deep thermal modernization of a building allowed reducing the costs associated with its operation, which undoubtedly improves the financial situation of the poorer residents. An increase in fuel prices could lead these inhabitants to energy poverty, which occurs when the costs of ensuring an adequate indoor temperature in winter and summer exceed 10-20 % of the household budget.

Preparation, implementation and use of the results of a thermal modernization project may also result in many of beneficial elements in the area of functioning of the local community. The social awareness and activity of the inhabitants are stimulated. They are more willing to take care of the common property, which is the renovated building.

The implementation of energy-efficient solutions favours the energy-saving and ecological attitude of residents and is a model for the owners of neighbouring residential buildings. Exemplarily implemented thermal modernization projects can become an impulse to stimulate this type of activities among building owners and administrators, especially in smaller, often more integrated local communities.

Conclusions. Maintaining the current level of production and living standards, while caring for the environment and good health condition of societies, is possible due to rational management of energy resources and proper shaping of the energy performance of erected buildings, as well as improving the characteristics of existing buildings, taking into account the economic, environmental and social efficiency of the conducted projects.

Such activities perfectly fit into the idea of sustainable development, which assumes satisfying the basic needs of society as well as preserving, protecting and restoring the proper condition of the natural environment of the Earth. Conducting deep thermal modernization not only allows for rationalization of energy consumption or reduction of building operation costs but at the same time minimizes the harmful impact of the building on the environment, resulting from the use of natural resources and the emission of harmful substances generated in the process of fuel combustion to the atmosphere, improves the condition of the interior environment, increases its comfort use and brings numerous benefits in the social sphere. The article presents the results of thermal modernization activities carried out in a group of multi-family residential buildings. The problem of non-compliance with applicable requirements in the field of thermal protection of buildings is extremely important as it currently concerns a significant part of existing housing resources. In addition to the economic benefits resulting from the obtained energy effect, thermal modernization activities have contributed to the improvement of the outside air quality, interior microenvironment and thermal comfort of people, as well as to the increase in the standard of use of buildings and the quality of life of their residents. Improving the comfort and safety of use is important especially for people in elderly age, who are often the majority of residents of buildings with particularly unfavourable energy parameters. Creating one boiler room in a building prevents the combustion of all kinds of plastics or rubber waste, so commonly practised by individual furnace users, which is a source of highly toxic, polycyclic aromatic hydrocarbons, dibenzofurans or dioxins. This contributes to the increase of ecological awareness of the local community in the scope of reducing environmental pollution by combustion products during the heating of buildings. Thermal modernization was particularly beneficial for people with lower incomes. Conducting thermal modernization allows radical reducing of operating costs, and thus, improve the financial situation of poor social groups, eliminates the phenomenon of energy poverty, and also increases the value of an owned property. An underestimated effect of thermal modernization was also the possibility of a beneficial effect on the consolidation and stimulation of the activity of local communities. Thermal modernization can also be an impulse to undertake revitalization activities.

References

1. European Commission, Energy, <https://ec.europa.eu/energy/en>.
2. United States Department of Energy, <https://www.energy.gov/>.
3. Worldwatch Institute, <https://www.worldwatch.org>.
4. United States Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/>.
5. *Market Report Series: Energy Efficiency 2018. Analysis and Outlooks to 2040*. International Energy Agency, 2018.
6. *Global energy transformation: A roadmap to 2050*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.
7. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. European Environment Agency, Brussels, 2011.
8. Bukowski M. (eds.) *2050.pl journey to a low-carbon future*. Temperowka, Warsaw, 2013.
9. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency.
10. *EUROPE 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Communication from the European Commission, Brussels, 2010.
11. Guła A. et al. *Buildings modernisation strategy: Roadmap 2050*. Institute of Environmental Economics, Cracow, 2014.
12. Energy efficiency in the period of 2007-2017, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw, 2019.
13. *Market Report Series: Renewables 2018. Analysis and Forecasts to 2023*. International Energy Agency, 2018
14. *Renewable Energy Statistics 2019*. The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.
15. *Energy from renewable sources in 2017*. Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2018.
16. Gielena D., Boshell F., Saygin D., Bazilian M. D., Wagner N., Gorini R. "The role of renewable energy in the global energy transformation." *Energy Strategy Reviews*. 2019. Vol. 24. pp. 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
17. *Energy consumption in households in 2015*. Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2017.
18. *Apartments. National Census of Population and Apartments 2011*. Central Statistical Office, Warsaw, 2013.
19. Lohse R., Zhivov A. *Deep Energy Retrofit Guide for Public Buildings: Business and Financial Models*. Springer, Switzerland, 2019.
20. *The state of the environment in Poland. Report 2018*. The Chief Inspectorate for Environmental Protection, Warsaw, 2018.
21. Maas R., Grennfelt P. *Towards Cleaner Air, Scientific Assessment Report*. Narayana Press, Oslo, 2016.
22. *Air quality in Europe – 2018 report*. EEA, Luxembourg, 2018.
23. *The Environmental Implementation Review 2019. Country Report – Poland*. European Union, 2019.
24. Krawczyk D. A. *Buildings 2020+. Constructions, materials and installations*. Printing House of Bialystok University of Technology, Bialystok, Cordoba, Vilnius, 2019.
25. Dubrakova K. "Optimization of thermal modernization of a group of buildings using simulation modeling." *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. Vol. 17. no. 2. pp. 192-197. <https://doi.org/10.5937/jaes17-21683>
26. Lis. P. "Energy saving and reduction of emissions in heating residential buildings in Poland – potential and selected activities." *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 116. Article Number 00044. 8 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600044>
27. Apatenko T., Bezlyubchenko O., Zavalnyi O. "Energy modernization of residential houses as a challenge of modern." *Scientific Journal ScienceRise*. 2018. no. 12. pp. 6-18. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.153368>
28. *Environment*. Statistical analyses. Statistics Poland, Warsaw, 2018
29. Gurjar B.R., Molina L.T., Ojha C.S.P. (eds.) *Air Pollution, Health and Environmental Impacts*. CRC Press, New York, 2010.

УДК 699.86:697.1:696.48

Оцінка ефектів зменшення споживання енергії для опалення будівель

А. Лис

к.т.н., Ченстоховський політехнічний університет, Ченстохова, Польща, anna.lis@pcz.pl, ORCID: 0000-0001-9497-5754

Анотація. Збереження поточного обсягу і якості виробництва, рівня життя при дбайливому ставленні до навколишнього середовища, а також забезпечення здоров'я суспільства можливе завдяки раціональному управлінню енергоресурсами і правильному формуванню енергетичної характеристики зведених будинків, а також поліпшення енергетичних властивостей наявних будівель. Суть реалізації програми глибокої термомодернізації наявних будівель полягає в досягненні не тільки економічних, але й екологічних, функціональних, соціальних, інтеграційних та інших позитивних ефектів. Близько 70 % енергії в будівлях використовується для опалення та виробництва гарячої води. Домашні господарства є найбільшими споживачами теплоти. У статті аналізується вплив зниження споживання теплоти на експлуатаційні характеристики будівлі. Основні економічні ефекти термомодернізації пов'язані зі скороченням споживання палива, води й електроенергії, а отже, фінансовими витратами. Наведені ефекти також пов'язані зі зменшенням забруднення повітря, поліпшенням умов мікроклімату в приміщеннях і безпеки користувачів, а також усуненням енергетичної бідності і підвищенням обізнаності суспільства в галузі енергоефективності. У статті представлені результати заходів з модернізації, проведених у групі багатоквартирних житлових будинків. Проблема невідповідності чинним вимогам у галузі теплозахисту будівель є надзвичайно важливою, оскільки наразі стосується значної частини наявних житлових ресурсів. Окрім економічних вигод від отриманого енергетичного ефекту, теплові модернізації сприяли покращенню якості зовнішнього повітря, мікроклімату та теплового комфорту людей, а також підвищенню рівня використання будівель та якості життя їх мешканців. Результати досліджень показали різке зменшення кількості незадоволених станом внутрішнього повітряного середовища після термомодернізації. Підвищення комфорту та безпеки використання важливо особливо для людей похилого віку, які часто є більшістю мешканців будинків з особливо несприятливими енергетичними параметрами.

Ключові слова: енергоспоживання, енергоефективність, забруднення повітря, мікроклімат приміщенні.

УДК 699.86:697.1:696.48

Оценка эффектов снижения потребления энергии на отопление зданий

А. Лис

к.т.н., Ченстоховский политехнический университет, Ченстохова, Польша, anna.lis@pcz.pl, ORCID: 0000-0001-9497-5754

Аннотация. Сохранение текущего уровня производства и стандартов жизни при бережном отношении к окружающей среде и обеспечении хорошего здоровья общества возможно благодаря рациональному управлению энергоресурсами и правильному формированию энергетической характеристики возводимых зданий, а также улучшению энергетической характеристики существующих зданий. Суть реализации программы глубокой термомодернизации существующих зданий заключается в достижении не только экономических, но и экологических, функциональных, социальных, интеграционных и других положительных результатов. Около 70 % энергии в зданиях используется для отопления и подогрева горячей воды. Домашние хозяйства являются крупнейшими потребителями теплоты. В статье анализируется влияние снижения потребления теплоты на эксплуатационные нужды. Основные экономические эффекты термомодернизации, связаны с сокращением потребления топлива, воды и электроэнергии, а следовательно, финансовыми расходами. Приведённые эффекты также связаны с уменьшением загрязнения воздуха, улучшением условий микроклимата в помещениях и безопасности жителей, а также устранением энергетической бедности и повышением осведомлённости общества в области энергоэффективности.

Ключевые слова: энергопотребление, энергоэффективность, загрязнение воздуха, микроклимат помещений.

Надійшла до редакції / Received 02.03.2020

УДК 697.432.7

Зниження впливу забруднення поверхонь нагріву твердопаливних теплогенераторів невеликої потужності

М. П. Сенчук¹, А. М. Рибка², О. І. Юрко³

¹к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, smp_21@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8968-7336

²студент, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, andrii.rybka95@gmail.com

³студентка, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна, yurko.olena@gmail.com

Анотація. У статті проаналізовано дослідження забезпечення теплової ефективності конвективних поверхонь нагріву твердопаливних котлів шляхом їхнього періодичного чищення. Розглянуто різні фактори, що впливають на ступінь забруднення теплообмінних поверхонь, які омиваються газами продуктів згоряння. Розглянуто можливість зниження негативного впливу цих забруднень. Показано, що за конструкції теплогенераторів невеликої теплопродуктивності, конвективний пакет яких здебільшого з одно- та двоходовим горизонтальним рухом димових газів, можливе посилене нарощування забруднення поверхонь, особливо при зміні інтенсивності процесу спалювання. Відмічено, що при малій частоті чищення початкові пухкі нестійкі відкладення, які легко піддаються очищенню, можуть перетворюватися на щільні спечені утворення. За наявності останніх важко досягти необхідної чистоти поверхні, і, відповідно, прийняттого коефіцієнта теплової ефективності. Обґрунтовано неефективність і трудомісткість ручного чищення та доцільність застосування механізованого чищення конвективних поверхонь опалювальних твердопаливних котлів невеликої теплопродуктивності. Описано конструктивну схему твердопаливного теплогенератора з механізованим очищенням вертикального трубчастого конвективного пакету комбінованими турбулізаторами спеціальної конструкції. Проведено розрахунковий порівняльний аналіз економічності роботи твердопаливного котла теплопродуктивністю 0,63 МВт за умови збільшення частоти чищення конвективних поверхонь механічними пристроями, що забезпечує досягнення рівномірності наявного теплового навантаження впродовж тривалої експлуатації. Упровадження такого класу котельного обладнання є перспективним в комунальній енергетиці для зменшення трудомісткості обслуговування й економії паливних ресурсів.

Ключові слова: твердопаливний теплогенератор, трубчасті конвективні поверхні, димогазна труба, коефіцієнт теплової ефективності, забруднення поверхонь нагріву, ручне очищення теплообмінних поверхонь, механізоване очищення теплообмінних поверхонь, комбінований турбулізатор

Вступ. Використання органічного палива, серед різноманітних джерел енергії, залишається переважним. Разом з тим, ефективне спалювання твердого палива потребує як удосконалення традиційних, так і освоєння нових технологій для забезпечення нормативних економічних і екологічних показників на різних видах палива. Забезпечення ефективності експлуатації ускладнюється зі зниженням якості палива та за змінного режиму роботи котлів. Спалювання твердого палива супроводжується підвищеним забрудненням теплообмінних поверхонь. Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії під час експлуатації теплогенераторів. Маса легкої золи в димових газах зростає пропорційно зольності вихідного палива. З іншого боку, дефіцит і зростання вартості якісного палива вимагає використання високозольного вугілля. При спалюванні останнього інтенсивність забруднення поверхонь нагріву значно збільшується під час тривалої експлуатації. Негативний вплив забруднення поверхонь посилюється при за-

стосуванні різних засобів інтенсифікації теплообміну, що необхідно для забезпечення нормативних показників роботи. Забруднення поверхонь супроводжується зниженням їхньої теплової ефективності, погіршенням екологічних показників, економічності, надійності і маневреності роботи теплогенераторів. Періодичне очищення поверхонь під час експлуатації дає можливість збільшити теплову ефективність. У котлах невеликої теплопродуктивності чищення поверхонь здійснюється здебільшого вручну під час зупинки їхньої роботи. За наявності засобів інтенсифікації теплообміну трудомісткість чищення зростає. За великої складності цього процесу та через необхідність перерви в роботі котла чищення поверхонь з боку газів відбувається рідко – один-два рази в опалювальний сезон. Такий режим експлуатації теплогенератора супроводжується низьким середнім коефіцієнтом корисної дії. Тому застосування засобів інтенсифікації теплообміну із забезпеченням зниження впливу забруднення поверхонь є важливим при роз-

робці ефективної конструкції та подальшої надійної експлуатації твердопаливних теплогенераторів.

Актуальність дослідження. Забезпечення чистоти теплообмінних поверхонь для досягнення їхньої високої теплової ефективності є важливим завданням задля підвищення економічності та надійності експлуатації твердопаливних теплогенераторів невеликої потужності, особливо при спалюванні низькосортного палива.

Останні дослідження та публікації. Результати теоретичних і експериментальних досліджень [1-12 тощо] підтверджують значний вплив забруднення й шлакування поверхонь нагріву продуктами згоряння на ефективність роботи твердопаливних теплогенераторів. Зниження якості твердого палива особливо ускладнює умови експлуатації, що призводить до зменшення наявної потужності, маневреності, економічності і надійності обладнання.

При розробці конструкцій теплогенераторів теплопередача поверхонь нагріву визначається з урахуванням термічного опору забруднення, оцінка якого здійснюється за допомогою коефіцієнта забруднення ϵ і коефіцієнта теплової ефективності ψ – відношення коефіцієнтів теплопередачі забруднених і чистих поверхонь. У роботі [1] наведено рекомендовані нормативні значення коефіцієнтів ψ_n конвективних поверхонь. Вони узагальнені за результатами стендових і промислових випробувань ко-

тельних агрегатів при номінальному навантаженні залежно від середньої температури газів, які омивають поверхні, забруднювальних властивостей палива та наявності очищення (рис. 1, криві 1, 2). Властивість палива встановлюють за структурою первинного шару забруднення поверхонь, що утворюється при спалюванні, з поділом різних видів палива на помірно забруднювальні й сильно забруднювальні. Вважається, що коефіцієнти ψ_n змінюються при понижених навантаженнях теплогенераторів.

Разом з тим, у роботах [2-4] на досвіді експлуатації промислових котельних агрегатів показано відмінність отриманих експериментальних коефіцієнтів ψ_e від нормативних ψ_n , що важливо враховувати при прийнятті технічних рішень щодо конструкції котлів. Відхилення в значеннях цих коефіцієнтів теплової ефективності становить для температури газів 600...700 °С 0,25...0,3, а для високої температури – до 850 °С – 0,45...0,5. Також встановлено вплив навантаження котла, а відповідно, температури газів v_g , °С, і швидкості газів ω , м/с, на величину коефіцієнта теплової ефективності ψ_e конвективних поверхонь. За теплового навантаження котла 50...80 % ($v_g \leq 820$ °С, $\omega \leq 11,5$ м/с) переважний вплив має швидкість газів, а в меншій мірі процес забруднення. У діапазоні навантаження 80...100 % ($v_g > 820$ °С, $\omega > 11,5$ м/с) значний вплив має інтенсивність росту золошлакових відкладень.

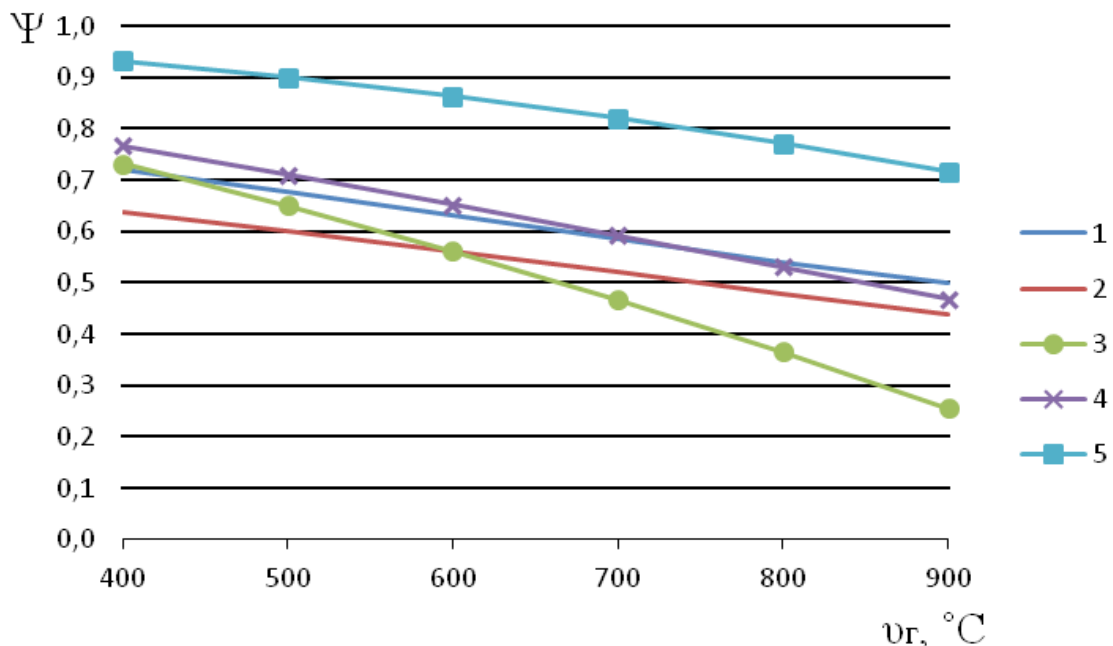


Рис. 1. Залежності теплової ефективності конвективних поверхонь при спалюванні твердого палива:

1 – помірно забруднювального і сильно забруднювального з очищенням [1]; 2 – сильно забруднювального без очищення [1]; 3 – котел ПК-67; 4 – котел БКЗ-220; 5 – котел ПК-57

У роботах [5, 6] показано, що за низької швидкості газів (менше ніж $\omega = 2...3$ м/с), які омивають поверхні нагріву, може мати місце підвищене забруднення поверхонь нагріву і зниження теплосприйняття незалежно від приведеної зольності палива (рис. 2).

Критичне зниження швидкості газів можливе на зниженому тепловому навантаженні котла за недостатньої встановленої величини номінальної швидкості газів при розрахунках і прийнятті конструктивних рішень. На визначальний вибір і створення тої чи іншої конструкції топкового пристрою, котла та його елементів впливають фізико-хімічні явища, які відбуваються в теплогенераторах як із зовнішнього, так і з внутрішнього боку теплообмінних поверхонь. Стан цих поверхонь з боку омивання їх газами залежить від протікання процесів горіння, зносу, корозії і окалиноутворення, а також їхнього шлакування. Усі відкладення, які утворюються на зовнішніх поверхнях нагріву, при спалюванні твердого палива поділяють на пухкі, сипучі та щільні. Кожна з груп відкладень пов'язана зі складом палива і процесом спалювання в топці. При спалюванні твердого палива процес забруднення відбувається у вигляді осадження частинок золи на поверхнях нагріву чи обмурування. Найбільш інтенсивно ці процеси відбуваються за наявності в топковій камері напіввідновлювального середовища, яке знижує температуру плавлення золи порівняно з температурою для окислювального середовища.

Підвищення теплової ефективності й надійності роботи енергетичних котлів забезпечується різними способами очищення поверх-

онь нагріву [2, 7, 8], серед яких:

- водяне і парове обдування;
- дробочищення;
- віброочищення.

Зокрема, за комплексного очищення (водяне обдування топкових екранів; парове обдування ширм і конвективного паропідігрівача; дробочищення економайзера й повітропідігрівача) забезпечується відновлення коефіцієнта теплової ефективності ψ майже до початкових значень незалежно від вихідного рівня шлакувальних властивостей спалюваного палива. Система діагностики шлакування і автоматичне керування апаратами обдування дозволяє підвищити майже на 1% коефіцієнт корисної дії котла.

Пряме застосування таких технічних заходів щодо зниження впливу шлакування і забруднення поверхонь нагріву котлів великої потужності не раціональне для малопотужних теплогенераторів.

Метою роботи є розробка пропозицій по компонуванню конвективних поверхонь нагріву в конструкції твердопаливних теплогенераторів невеликої теплопродуктивності, за якої забезпечується високий рівень їх теплової ефективності і надійність роботи при раціональній частоті роботи механічних засобів чищення.

Основна частина. У роботі розглядається зміна теплосприйняття поверхонь нагріву твердопаливних теплогенераторів невеликої потужності до 4 МВт. Здебільшого, у таких котлах компонувальне розташування конвективного пакета поверхонь нагріву передбачається горизонтальним. Розповсюджені конструктивні схеми котлів (рис. 3) передбачають:

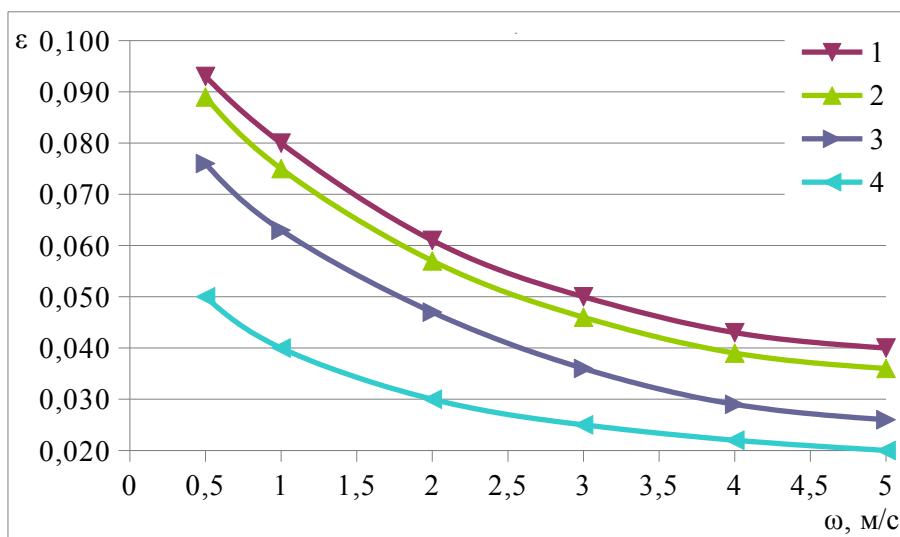


Рис. 2. Залежність коефіцієнта забруднення від швидкості газового потоку і виду спалюваного палива [6]:
 1 – буре і кам'яне вугілля; 2 – деревина і торф'яні брикети; 3 – антрацит, напівантрацит, кам'яне вугілля ($V^{daf} < 20\%$);
 4 – паливо пічне побутове

- одноходовий конвективний пакет (рис. 3 а,б) з рухом палива й надшарових газів у камері згоряння:
 - паралельним (рис. 3 а);
 - зустрічним (рис. 3 б);
- двоходовий конвективний пакет з рухом (рис. 3 в,г):
 - паралельним (рис. 3 в);
 - зустрічним (рис. 3 г).

Інтенсифікація конвективного теплообміну здійснюється здебільшого вставними турбулізаторами різної конструкції. Чищення відкладень на зовнішніх поверхнях нагріву, що утворюються при омиванні їх димовими газами, виконується як правило вручну при вимушеній зупинці роботи теплогенератора.

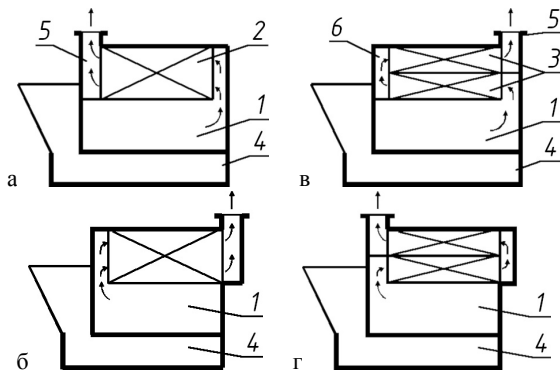


Рис. 3. Схеми конструктивного компонування твердопаливного теплогенератора з конвективним пакетом / рухом палива й надшарових газів у камері згоряння:

- а – одноходовим / паралельним;
- б – одноходовим / зустрічним;
- в – двоходовим / паралельним;
- г – двоходовим / зустрічним;

1 – камера згоряння; 2 – одноходовий конвективний пакет; 3 – те ж двоходовий; 4 – топковий пристрій; 5 – вихід газів; 6 – поворотна камера

Протягом деякого часу від початку процесу спалювання відкладення мають пухку структуру. Це означає слабкість сил зчеплення частинок, що осіли з потоку, між собою та поверхнями нагріву. Отже, ці частинки легко видаляються. При великій періодичності між чищенням посилюється на них негативні дія:

- високої температури газів;
- напіввідновлювального середовища;
- змінного температурного режиму роботи поверхонь нагріву.

У результаті нестійкі відкладення можуть перетворюватися на щільні. Такі відкладення характеризуються великими силами зчеплення між собою і з матеріалом поверхонь нагріву. Це значно ускладнює чищення. Тому регулярне і своєчасне видалення ще пухких відкладень є одним з дієвих засобів забезпечення ефекти-

вної експлуатації теплогенераторів.

Можливість формування щільних забруднювальних утворень у горизонтальних теплообмінних трубах конвективного пакету зростає навіть при підвищеній швидкості газового потоку і осіданні забруднень в нижній зоні поверхонь (труб) через неможливість винесення з них частини сипучих відкладень. А за вимушеної зміни температурного режиму стінок при регулюванні навантаження чи пусках і зупинках теплогенератора процеси ущільнення відкладень відбуваються значно інтенсивніше.

Описані явища утворення забруднення поверхонь виявлено при експлуатаційних випробуваннях твердопаливного механізованого котла КСВм-0,63 конструкції ДНДІСТ [9] при спалюванні рядового кам'яного вугілля (золинність на робочу масу $A' = 20 \dots 25 \%$) при змінному режимі роботи. Конвективний пакет розташований горизонтально, інтенсифікація теплообміну забезпечувалася кільцевою накаткою на димогарних трубах.

Під час експлуатації котла відмічено, що спочатку відбувається занесення легкою золою нижньої зони виїмок кільцевої накатки, ущільнення цих відкладень, а далі ці явища поширюються на нижню зону внутрішніх стінок труб. Чищення таких відкладень вручну з тижневою періодичністю не забезпечувало потрібного стану труб. При цьому нижня зона кільцевої накатки через щільне забруднення припиняла участь у процесі інтенсифікації теплообміну. Це призводило до зменшення номінальної потужності котла.

Чищення теплообмінних поверхонь вручну за допомогою ручних або механічних пристроїв вимагає тривалої зупинки роботи теплогенератора, а також забезпечення відповідних заходів охорони праці при виконанні безпосередньо чищення, демонтажу й монтажу вставних турбулізаторів тощо. Тому попри ускладнення конструкції теплогенератора, механізоване чищення конвективних поверхонь, які складають переважну частку в загальному обсязі поверхонь нагріву, є перспективним засобом підвищення ефективності роботи твердопаливних теплогенераторів невеликої продуктивності.

Пропонується в конструкції механізованих твердопаливних теплогенераторів невеликої потужності передбачити вертикальне компонування конвективного пакета з димогарними трубами, оснащеного механічним пристроєм для чищення (рис. 4).

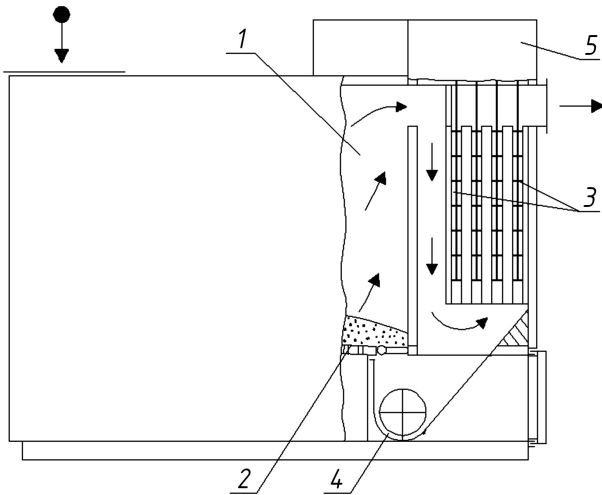


Рис. 4. Схема твердопаливного теплогенератора з механізованим очищенням трубчастого конвективного пакета: 1 – камера згоряння; 2 – топковий пристрій; 3 – димогарні труби з комбінованими турбулізаторами; 4 – зольник з пристроєм для видалення шлаку і золи; 5 – привід пристрою чищення труб від забруднення

Як робочий орган для чищення внутрішніх поверхонь теплообмінних труб, які омиваються димовими газами, від нестійких пухких відкладень пропонуються комбіновані турбулізатори 3. Вони одночасно забезпечують і чищення і турбулізацію газового потоку. При цьому посилюється інтенсифікація теплообмінних процесів. Чищення здійснюється при зворотно-поступальному переміщенні комбінованих турбулізаторів усередині труб. Частота роботи приводу задається системою автоматики залежно від інтенсивності накопичення забруднювачів.

Розрахунковий аналіз теплотехнічних показників механізованого твердопаливного ко-

тла потужністю 0,63 МВт з механічним очищенням вертикального трубчастого конвективного пакета при спалюванні кам'яного вугілля з зольністю на робочу масу $A^r = 25,8\%$ підтверджує ефективність наведеної конструктивної схеми (рис. 5).

Залежності побудовані з урахуванням зміни коефіцієнта теплової ефективності ψ від середньої температури газів у конвективному пакеті за умови роботи котла з однаковою якістю процесу спалювання за різних теплових навантажень та незмінній площі теплообмінних поверхонь при різних засобах турбулізації газового потоку в димогарних трубах. Зміну ступеня забруднення поверхонь залежно від швидкості руху газового потоку в димогарних трубах у розрахунках враховано за наведеними вище залежностями (рис. 2).

Аналіз даних на рис 5 показує, що забезпечення чистоти конвективної поверхні котла за раціональної частоти чищення димогарних труб дає можливість підвищувати середній експлуатаційний коефіцієнт корисної дії котла на 0,6...1,4% залежно від його фактичного теплового навантаження. Відповідно, заощаджуються паливні ресурси і зменшуються викиди продуктів згоряння до атмосфери.

Висновки. Запропонована конструктивна схема твердопаливного теплогенератора невеликої теплопродуктивності з механічним пристроєм для чищення внутрішніх поверхонь димогарних труб трубчастого конвективного пакету є перспективною в розвитку конструкцій такого класу котельного обладнання з підвищеними експлуатаційними показниками роботи.

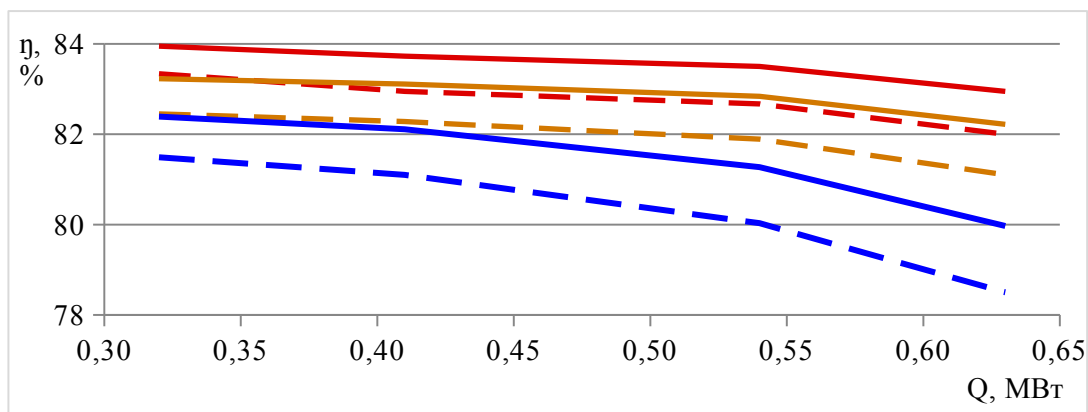


Рис. 5. Розрахункові криві зміни ККД η , %, твердопаливного теплогенератора від стану конвективних поверхонь при різній поточній тепловій потужності теплогенератора Q , МВт:

сині лінії – стрічкові завихрювачі;

жовтогарячі лінії – комбіновані турбулізатори з відношенням $d/D=0,90$ внутрішнього діаметра очисного кільця турбулізатора d , м, до внутрішнього діаметра димогарної труби D , м;

червоні лінії – те ж при $d/D=0,86$;

суцільні лінії – періодичне очищення впродовж експлуатації з частотою, за якої відсутні на стінках труб стійкі золошлакові утворення; пунктир – сезонне очищення димогарних труб

Література

1. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – Санкт-Петербург: ВТИ, НПО ЦКТИ, 1998. – 257 с.
2. Янов С.Р. Разработка рекомендаций и мероприятий по обеспечению тепловой эффективности поверхностей нагрева пылеугольных котлов: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.14.04, 05.14.14 / Янов С.Р.; ФГОУ ВПО «Симбирский федеральный университет». – Красноярск. – 2010. – 20 с.
3. Алехнович А.Н. Коэффициент тепловой эффективности топочных экранов применительно к нормативному методу теплового расчета котлов / А.Н. Алехнович // Теплоэнергетика. – 2007. – № 9. – с. 23-27.
4. Сенчук М.П. Експлуатаційна ефективність роботи твердопаливних теплогенераторів невеликої теплопродуктивності / М.П. Сенчук, А.І. Корогод // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2018. – Вип. 26. – с. 13-22.
5. Роддатис К.Ф. Котельные установки: учеб. пособие / К.Ф. Роддатис. – Москва: «Энергия», 1977. – 432 с.
6. Братенков В.Н. Теплоснабжение малых населенных пунктов / В.Н.Братенков, П.А.Хаванов, Л.Я. Вэскер. – Москва : Стройиздат, 1988. – 223 с.
7. Жуков К.Ю. Совершенствование метода очистки топочных экранов котельных агрегатов / К. Ю. Жуков, К.Н. Поцепня, А.А. Левченко // Вестник науки и образования ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – 2019. – № 9(63), часть I. – с. 25-30.
8. Климов А. С. Метод оценки тепловой эффективности отопительного котла с водяной обдувкой топочных экранов / А. С. Климов, Р. Т. Емельянов, А. Ф. Александрова, В. А. Таранов // Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. – Сибирский федеральный университет. – 2019. – № 21. – с. 169-176.
9. Макаров А.С. Сучасне енергозберігаюче обладнання для опалювальних котелень / А.С. Макаров, М.П. Сенчук // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2000. – Вип. 15. – с. 121-124.
10. Мадоян А.А. / А.А. Мадоян, В.Н. Балтян, А.Н. Гречаный. – Москва: Энергоатомиздат. – 1991. – 200 с.
11. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др.; под ред. В.В. Померанцева. – Ленинград: Энергоатомиздат. – 1986. – 312 с.
12. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов: учебное пособие для вузов / Д.М. Хзмалян. – Москва: Энергоатомиздат. – 1990. – 332 с.

References

1. *Teplovoi raschet kotlov (normativnyi metod)*. VTI. NPO TsKTI. 1998.
2. Yanov S. *Razrabotka rekomendatsii i meropriyatiy po obespecheniiu teplovoi effektivnosti poverkhnostei nagreva pyleugolnykh kotlov*. Diss. abstract. FGOU VPO «Simbrskiy federalnyy universitet», 2010.
3. Alekhnovich A. N. “Koeffitsiyent teplovoi effektivnosti topochnykh ekranov primenitelno k normativnomu методу теплового расчета котлов.” *Teploenergetika*. 2007. № 9. P. 23-27.
4. Senchuk M., Korogod A. “Ekspluatatsiina efektyvnist roboty tverdopalyvnykh teploheneratoriv nevelykoi teploproduktivnosti.” *Ventilyatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 26, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2018, pp. 13-22.
5. Roddatis K. *Kotelnye ustanovki: ucheb. Posobie*. Energiia, 1977.
6. Bratenkov V., Khavanov P., Vasker L. *Teplosnabzhenie malykh naseleennykh punktov*. Stroiiizdat, 1988.
7. Zhukov K., Potsepnia K., Levchenko A. “Sovershenstvovaniye metoda ochistki topochnykh ekranov kotelnykh agregatov.” *Vestnik nauki i obrazovaniya FGOU VPO «Sibirskii federalnyi universitet»*, 2019. № 9(63), ch I. P. 25-30.
8. Klimov A., Emelianov R., Alexandrova A., Taranov V. “Metod otsenki teplovoi effektivnosti otopitel'nogo kotla s vodyanoy obduvkoy topochnykh ekranov.” *Teplosnabzhenie. ventilyatsiia. konditsionirovanie vozdukha. gazosnabzhenie i osveshchenie. Sibirskii federalnyi universitet*. 2019. № 21. P. 169–176.
9. Makarov A. S., Senchuk M.P. “Suchasne enerhozberihaiuche obladnannia dlia opaliuvalnykh kotelen.” *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*. 2000. no. 15. P. 121-124.
10. Madoyan A., Baltyan V., Grchanyi A. *Effektivnoe szhiganie nizkosortnykh uglei v energeticheskikh kotlakh*. Energoatomizdat, 1991.
11. Pomerantsev V., Arefiev K., Akhmedov D. et al. *Osnovy prakticheskoi teorii goreniia*. Energoatomizdat, 1986.
12. Khzmalyan D. *Teoriia topochnykh protsessov*. Energoatomizdat, 1990.

УДК 697.432.7

Снижение влияния загрязнения поверхностей нагрева твердотопливных теплогенераторов небольшой мощности

М. П. Сенчук¹, А. М. Рыбка², О. И. Юрко³

¹к.т.н., доц., Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, smp_21@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8968-7336

²студент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, andrii.rybka95@gmail.com

³студентка, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина, yurko.olena@gmail.com

Аннотация. В статье проанализированы исследования обеспечения тепловой эффективности конвективных поверхностей нагрева твердотопливных котлов путём их периодической чистки. Рассмотрены различные факторы, влияющие на степень загрязнения теплообменных поверхностей, омываемых газами продуктов сгорания. Рассмотрены возможности снижения негативного влияния этих загрязнений. Показано, что в теплогенераторах небольшой теплопродуктивности, в конвективном пакете которых происходит в основном одно- или двухходовое горизонтальное движение дымовых газов, возможно усиленное обрастание загрязнителями поверхностей, особенно при изменении интенсивности процесса сжигания. Отмечено, что при малой частоте чистки начальные рыхлые неустойчивые отложения, которые легко поддаются очистке, могут превращаться в плотные спёкшиеся образования. При наличии последних трудно достичь необходимой чистоты поверхности и, соответственно, приемлемого коэффициента тепловой эффективности. Обоснована неэффективность и трудоёмкость ручной чистки и целесообразность применения механизированной чистки конвективных поверхностей отопительных твердотопливных котлов небольшой тепловой мощности. Описана конструктивная схема твердотопливного теплогенератора с механизированной чисткой вертикального трубчатого конвективного пакета комбинированными турбулизаторами специальной конструкции. Проведён расчётный сравнительный анализ экономичности работы твердотопливного котла теплопроизводительностью 0,63 МВт при условии увеличения частоты чистки конвективных поверхностей механическими устройствами, обеспечивающими достижение равномерности имеющейся тепловой нагрузки в течение длительной эксплуатации. Внедрение такого класса котельного оборудования является перспективным в коммунальной энергетике для уменьшения трудоёмкости обслуживания и экономии топливных ресурсов.

Ключевые слова: твердотопливный теплогенератор, трубчатые конвективные поверхности, дымогарные трубы, коэффициент тепловой эффективности, загрязнение поверхностей нагрева, ручная и механизированная очистка теплообменных поверхностей, комбинированные турбулизаторы.

UDC 697.432.7

Reducing the Impact of Pollution on Heating Surfaces in Low-Power Solid Fuel Heat Generators

M. Senchuk¹, A. Rybka², O. Yurko³

¹ PhD, associate professor., Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine, smp_21@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8968-7336

² student, Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine, andrii.rybka95@gmail.com

³ student, Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine, yurko.olena@gmail.com

Abstract. The research of providing thermal efficiency of convective surfaces in heating solid fuel boilers by periodically cleaning them has been performed in the article. Various factors that influence the degree of contamination of heat exchange surfaces, which are flushed by the combustion products, are analysed. Possibilities of decreasing their negative impact are shown. The construction of heat generators with low heat production, which convective packs mainly provide one- or two-way horizontal motion of flue gases, have the problem of increase the contamination of surfaces, especially when the intensity of the combustion process is changing. Low frequency of cleaning led to the trouble following trouble. Initial loose contaminants, which are easily cleanable, transform into dense formations. Therefore, it is difficult to achieve the required surface cleanliness and, accordingly, an acceptable coefficient of thermal efficiency. The inefficiency and complexity of manual cleaning and the feasibility of using mechanized cleaning of convective surfaces of heating solid fuel boilers of low thermal efficiency have been substantiated. The constructive scheme of solid fuel heat generator with mechanical cleaning of a vertical tubular convective package by combined turbulizers of special design are described. A comparative analysis of the economical efficiency of the solid fuel boiler with a heat output of 0.63 MW are carried out. The operating efficiency will increase by 0,6...1,4 % dependent on the actual heat load. Accordingly, the fuel amount and the air pollution by flue gases will decrease. The frequency of cleaning of convective surfaces with mechanized devices is increased, which ensures the uniformity of the existing heat load during long operation. The introduction of this class of boiler equipment is promising in the municipal energy sector to reduce the complexity of servicing and saving fuel resources.

Keywords: solid fuel heat generator, tubular convective surfaces, coefficient of thermal efficiency, chimneys, contamination of heating surfaces, manual and mechanized cleaning of heat exchange surfaces, combined turbulizers.

Надійшла до редакції / Received 15.04.2020

УДК 697.34.005.8:711.4

Еколого-економічні проблеми житлово-комунального господарства України

К. М. Предун¹, О. М. Шевчук²

¹к.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури. м. Київ, Україна. 31172@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2634-9310

²ст. наук. співробітник. Київський національний університет будівництва і архітектури. м. Київ, Україна. 2304elena@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1416-8595

Анотація. Системи тепло-, газо- та електропостачання населених пунктів України сьогодні є прикладом неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у державі. Заміна основного палива – природного газу – для потреб джерел теплоти, електроенергії альтернативним (місцевим) дає уявну економію коштів місцевих бюджетів в умовах децентралізації державного управління (за рахунок різниці цін природного газу та інших органічних видів палива). Водночас, такі заходи породжують ряд інших проблем. Збільшення забруднення навколишнього природного середовища – одна із них. Проаналізовано законодавче забезпечення, тарифну політику, вимоги чинних в Україні нормативно-правових актів щодо екологічної безпеки, виробництва та продажу теплоти й електроенергії кінцевим споживачам. Відповідно до них розглянуто заміну природного газу альтернативними видами палива. Визначено прогнозовані вартість отриманої енергії, викиди забруднювальних речовин і парникових газів до атмосферного повітря. Отримано показники емісії, які базуються на даних щодо фізико-хімічного складу й витрати кожного з видів палива з урахуванням характеристик процесів спалювання та заходів щодо зменшення викидів того чи іншого інгредієнту. Виконано порівняльний аналіз видів палива щодо впливу на довкілля продуктів згоряння, а також безпосередньо вартість самого палива. У сільській місцевості після перетворення відходів сільськогосподарського виробництва та обробки деревини як вторинну сировину в якісне біопаливо, доцільно запроваджувати заміну традиційного природного газу альтернативним паливом. У міських населених пунктах за рахунок реалізації заходів щодо підвищення енергоефективності наявних будівель і споруд можливе зменшення споживання традиційного природного газу, а заощаджені кошти можуть бути спрямовані на їхню термомодернізацію. Це дозволить залишити основним органічним паливом для потреб централізованого теплопостачання найбільш екологічне – природний газ.

Ключові слова: енергопостачання, тариф, енергоносії, природний газ, альтернативне паливо, теплота згоряння, альтернативна енергетика, електроенергія, забруднювальні речовини, парникові гази.

Вступ. Технологічний рівень розвитку будь-якої країни опосередковано характеризується показником споживання електричної енергії однією людиною. У 1990 р. в Україні він становив 5198 кВт·год/особа, що було близьким до середнього значення в країнах, які увійшли до Європейського Союзу – 5468 кВт·год/особа. У 2005 р. він скоротився до 3789 кВт·год/особа, що майже у два рази менше порівняно з країнами ЄС з подальшим падінням. У 2017 р. цей показник упав до 3386 кВт·год/особа, тобто різниця стала ще більш різною [1, 2].

Відставання показників від розвинутих країн світу спричинено різким скороченням споживання електричної енергії вітчизняними промисловістю й сільським господарством. З іншого боку, сучасна економіка України характеризується невиправдано високою інтенсивністю енергоспоживання. Згідно з вимогами [2] передбачається зниження до 2035 р. енергомісткості валового внутрішнього продукту до рівня 0,17 кг нафтового екві-

валенту [3] на 1 долар США валового внутрішнього продукту України (паритет купівельної спроможності) проти сьогоднішніх 0,28 та наближення за цим показником до країн зі схожими кліматичними, географічними та економічними параметрами.

Актуальність досліджень. Структура обсягу та вартості електроенергії в Україні за 2018 р. з прив'язкою до джерела генерації опублікована (табл. 1) на сайті Державного підприємства «Енергоринок» [4]. Як видно, в структурі генерації в Україні панівне місце займають атомні електростанції. Частка альтернативних джерел (вітрових і сонячних, на біопаливі та дрібних ГЕС) не перевищує 2 %, проте у фінансових виплатах у загальному обсязі складає майже 8,5 %. Перше місце в структурі ціни електроенергії належить «тепловій генерації» – понад 47 %. З поміж усіх джерел найвищий тариф отримують сонячні електростанції (СЕС) – 15 євроцентів/(кВт·год) (для СЕС, запущених у 2019 р.).

Структура за обсягом та вартістю електроенергії в Україні у 2018 р. [4]

№ з/п	Виробник	Частка, % в:		Співвідношення ціна/генерація
		генерації	ціні	
1	Атомні електростанції (АЕС)	54,33	26,60	0,490
2	Гідроелектростанції (ГЕС) (крім малих)	7,81	5,28	0,676
3	Теплоелектростанції (ТЕС)	29,5	47,1	1,597
4	Теплоелектроцентралі (ТЕЦ)	6,45	12,42	1,926
5	Альтернативні (ВЕС+СЕС)	1,56	7,36	4,718
6	ГЕС (малі)	0,16	0,56	3,500
7	Біомаса	0,07	0,25	3,571
8	Інші	0,12	0,43	3,583
9	Разом	100,00	100,00	1,000

Примітка. Співвідношення «ціна/генерація» характеризує прибутковість виробництва електроенергії: при величині показника більше одиниці компанія отримує надприбутки.

Загалом для «зеленої» енергетики він гарантований до 2030 р. [5] і прив'язаний до курсу європейської валюти та є одним з найбільших у Європі. У той же час на першу половину 2019 р. оптові ціни на електроенергію, вироблену на АЕС, становили 0,56 грн., а для ТЕС – 2,00 грн. за 1 кВт·год [4]. При цьому остання ціна є чи не найвищою серед аналогічних у світі. З введенням в Україні з 1 липня 2019 р. ринку електроенергії [6] вартість для населення електроенергії, виробленої АЕС, незважаючи на покладені на державну компанію НАЕК «Енергоатом» функції постачальника зі спеціальними зобов'язаннями (ПСО), збільшилася приблизно на 25 % (до 0,70 грн/(кВт·год)). При цьому тарифи на електроенергію «теплової генерації» знизилися на 12 %. Ціна продукції іншої державної компанії «Укргідроенерго» також виросла на ринку на 47 % – з 0,7 до 1,1 грн/(кВт·год) [7].

На даний час [1] майже всі енергоблоки ТЕС і ТЕЦ відпрацювали свій розрахунковий ресурс – 100 тис. годин. Майже 2/3 з них перетнули визнану у світовій енергетичній практиці межу граничного ресурсу (170 тис. годин) та фізичного зносу (200 тис. годин) і потребують модернізації чи заміни.

У 2020 р. вичерпуються проектні терміни експлуатації (30 років) 12 з 15 наявних енергоблоків АЕС [1]. З усіх країн, які розвивають атомну енергетику, лише в США кількість енергоблоків, роботу яких продовжено, перевищує кількість зупинених [8].

З підписанням Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом [9], приєднанням нашої держави до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства [10] розпочалося реальне реформування енергетичного сектору економіки: від прийняття нормативно-

законодавчих актів до впровадження технічних рішень, які сприятимуть зменшенню використання традиційних видів палива і забрудненню довкілля. Пріоритетом державної політики стають підвищення енергоефективності та використання енергії з альтернативних джерел [2]. У 2035 р. частка відновлювальної енергетики повинна становити не менше 25 % у структурі енергетичного балансу країни.

Останні дослідження та публікації. Реалізація першочергових заходів Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. виявила певні диспропорції в основних аспектах, наприклад, щодо цінової політики стосовно альтернативних палив і енергії з альтернативних джерел порівняно з традиційними.

Житлово-комунальне господарство України є значним споживачем паливно-енергетичних ресурсів [2]. Для потреб теплопостачання населених пунктів і задоволення господарсько-побутових потреб мешканців пріоритетними залишаються два енергоносії – природний газ і електричний струм.

За надані послуги з газо-, тепло- та електропостачання мешканцям житлових будинків запроваджено ринкові або так звані економічно обґрунтовані ціни. Винятком є лише природний газ, на який ціна встановлена Постановою Кабінету Міністрів.

Норми витрат на місяць і вартість реалізації послуг з електро-, тепло- та газопостачання для населення у м. Києві станом на 1.08.2019 р. наведені у табл. 2.

Інженерна інфраструктура населених пунктів України морально застаріла та знаходиться в незадовільному стані (табл. 3). Вона потребує капітального ремонту чи реконструкції. Актуальними стають питання щодо подальшої долі наявних систем енергопостачання.

Таблиця 2

Норми витрат на місяць та вартість реалізації послуг з електро-, тепло- та газопостачання для населення у м. Києві станом на 1.08.2019 р. [11, 12]

№ з/п	Характеристика послуги	Одиниця вимірювання	Вартість, грн.
1	Газопостачання	1000 м ³	6166,77
		кВт·год	0,73...0,69*
	- індивідуальне газове опалення на місяць на 1 м ² опалюваної площі	11 м ³ /м ²	67,83
2	Електропостачання при споживанні:		
	- до 100 кВт·год/місяць	кВт·год	0,90
	- більше 100 кВт·год/місяць	кВт·год	1,68
3	Електропостачання для потреб опалення при споживанні:		
	- до 3000 кВт·год/місяць	кВт·год	0,90
	- більше 3000 кВт·год/місяць	кВт·год	1,68
4	Теплопостачання централізоване	Гкал	1611,58
		кВт·год	1,39

Примітка. На підставі даних Кодексу газотранспортної системи при стандартних умовах діапазон значень нижчої теплоти згоряння природного газу знаходиться в межах 9,07...9,59 кВт·год/м³ [13] і, відповідно, не є сталою вартість 1 кВт·год енергії.

Таблиця 3

Характеристика стану інженерних мереж і споруд на них у населених пунктах України [14]

№ з/п	Показник	Значення, %, для системи енергопостачання:		
		теплова	електрична	газова
1	Відсоток зносу (потреба у капітальному ремонті чи перекладанні)	43,0	18,0	10,0
2	Втрати при транспортуванні у відсотках від кількості енергії, що передається	14,3	19,0	2,8

При вирішенні зазначеної проблеми слід враховувати такі аспекти:

1. Ресурси палива як традиційного органічного, так і альтернативного;
2. Запаси сировини – для реконструкції інженерних систем будівель різного призначення, інженерних мереж і споруд на них;
3. Стан видобутку, транспортування магістральними мережами, генерації та можливість подальшого розвитку;
4. Екологічність прийнятих рішень.

З поміж інших інженерних комунікацій технічний стан газових мереж є найкращим, а втрати при експлуатації – мінімальними [1, 14]. Окрім того, в Україні є достатні сировинна база, металургійний та машинобудівний комплекси для підтримання у робочому стані та подальшого розвитку трубопровідного транспорту. Водночас, відсутня власна сировинна база для виробництва кабельно-провідникової продукції систем електропостачання.

З установленням ринкових цін на енергоносії важливою є також цінова політика держави. Україна приєдналася до єдиного

європейського простору ринкової торгівлі природним газом та взяла на себе зобов'язання виконувати всі рішення та процедурні акти, прийняті під час заснування Договору [9, 15]. Згідно з цими вимогами кількість спожитого газу повинна виражатися в одиницях енергії. Цей підхід можливо застосувати і при порівнянні різних видів палива та джерел енергії.

У підсумку, критерієм порівняння прийнято вартість 1 кВт·год енергії. Альтернативній енергетиці надано значні преференції. Наприклад, у ЄС закупівлі такої електроенергії користуються привілеями, однак, не такими значними, як в Україні [4]. У Євросоюзі діє програма «20-20-20», згідно з якою на альтернативну енергетику у 2020 р. припадатиме 20 % генерації в регіоні. Водночас, завдяки цим рішенням, європейський енергоринок ставатиме більш складним, менш стабільним і більш вразливим. Підвищуються тарифи для кінцевих споживачів, збільшуються ризики енергетичних компаній.

Формулювання цілей статті. Дана робота присвячена дослідженню ефективності використання альтернативних палив порівняно з

традиційними для потреб енергопостачання населених пунктів України.

Основна частина. З реформуванням українського ринку електричної енергії державна компанія «Енергоатом», яка генерує найбільшу її кількість за найнижчою ціною (табл. 1), протягом року – з 1 липня 2019 р. по 1 липня 2020 р. з власних коштів покриватиме різницю між «зеленими» тарифами на електроенергію та її ринковою ціною. Надалі, відповідно до Закону «Про ринок електричної енергії» [6], енергію з альтернативних палив і джерел купуватиме так званий «Гарантований покупець» з субсидуванням її з тарифу «Оператора системи передавання». У кінцевому підсумку кошти будуть виплачені кінцевим споживачем.

Щодо теплопостачання будівель і споруд в Законі України «Про енергетичну ефективність будівель» [16] встановлено пріоритетність заходів із забезпечення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей протягом нормативного строку експлуатації будівлі при нормативно допустимому рівні витрат енергії [17]. Першочерговими завданнями є зменшення споживання енергії за рахунок:

1. Термомодернізації зовнішньої оболонки будівлі;
2. Автоматизації процесів регулювання відпуску теплоти;
3. Обліку спожитих енергоресурсів.

Використання альтернативних палив слід розглядати лише після виконання зазначених заходів.

Аналіз рішень щодо практичної реалізації заходів, особливо в умовах децентралізації державного управління, засвідчує майже цілковите недотримання вказаної послідовності. Серед основних, що впроваджуються, і які, на перший погляд, дають економію коштів слід відзначити:

1. Заміну традиційного палива (природного газу) альтернативним (табл. 4), як правило, місцевим – торфом, брикетами деревини, відходами сільськогосподарського виробництва тощо;
2. Використання електроенергії для потреб теплопостачання.

При визначенні вартості енергії, яка виділяється при згорянні палива в теплогенераційних установках, слід врахувати їхній коефіцієнт корисної дії.

Аналіз даних табл. 5 за критерієм вартості енергії показує безальтернативність та пріоритетність використання природного газу для потреб енергопостачання населених пунктів. Дещо близьким до нього паливом є брикети з лушпиння соняшників, а найдорожчим – солом'яні брикети. Розгляд екологічних аспектів традиційного й альтернативного палива дає подібну картину.

Таблиця 4

№ з/п	Паливо	Теплота згорання		Вартість	
		МДж/кг	кВт·год/кг	грн/т	грн/(кВт·год)
1	Природний газ	49,10	13,64	9153,0	0,67
2	Вугілля марки ГР	20,47	5,68	3500,0	0,62
3	Торфобрикет	14,95	4,15	2700,0	0,65
4	Брикет з лушпиння соняшника	19,13	5,32	3500,0	0,66
5	Брикет із соломи	15,70	4,36	4300,0	0,99
6	Брикет із дуба	19,35	5,38	4700,0	0,87

Примітка. У вартості твердого палива для кінцевого споживача не враховано витрати на транспортування, перевалювання та зберігання, які можуть сягати до 25 %, а також очищення та утилізації продуктів згорання.

Таблиця 5

№ з/п	Паливо	Коефіцієнт корисної дії теплогенераційної установки	Вартість енергії, грн/кВт·год.	
			палива	при згорянні
1	Природний газ	0,92	0,67	0,73
2	Вугілля марки ГР	0,70	0,62	0,89
3	Торфобрикет	0,75	0,65	0,87
4	Брикет з лушпиння соняшника	0,85	0,66	0,78
5	Брикет із соломи	0,85	0,99	1,16
6	Брикет із дуба	0,85	0,87	1,02

Прогнозовані викиди забруднювальних речовин і парникових газів розраховані згідно з методикою [18]. Ця методика базується на використанні показників емісії на основі даних про склад і витрату палива. Показник емісії характеризує масову кількість забруднювальної речовини чи парникового газу, яка викидається в атмосферу разом з димовими газами, віднесена до одиниці енергії, що виділяється під час згоряння палива. При цьому враховуються характеристики процесу спалювання та заходи щодо зменшення викиду того чи іншого інгредієнту.

Вплив різних видів палива на довкілля проаналізовано (табл. 6) за даними роботи [19]. Найбільш екологічно небезпечним паливом серед інших є вугілля. Це викликано значним вмістом сірки та високою зольністю. Для невеликої потужності водогрійних котлів влаштувати пилогазоочисні установки практично недоцільно. Особливо це стосується очищення викидів від сполук сірки.

Природний газ є екологічно чистим паливом. Він характеризується найменшим рівнем забруднення атмосферного повітря. Відходи сільськогосподарського виробництва (солома, лушпиння соняшників) займають проміжне місце між вугіллям та природним газом.

Висновки. Впровадженню нових технологій в енергетичне виробництво з мінімальним впливом на навколишнє середовище сприятимуть ефективні схеми торгівлі викидами, зелені сертифікати та спеціальні тарифи, що слід опрацювати в спеціальних програмах та заходах щодо реалізації Енергетичної стратегії. Особливу увагу слід приділяти формуванню громадської думки щодо заощадження енергоресурсів та підтримки екологічно прийняттого розвитку енергетики країни, яка має стимулювати органи законодавчої та виконавчої влади до прийняття та реалізації відповідних рішень. Лише дотримання вимог Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [16], особливо в частині термомодернізації зовнішньої оболонки наявних будівель і споруд дозволить зменшити потребу в тепловій енергії не менше, ніж у 2,5 рази і, відповідно, залишити основним органічним паливом для потреб теплопостачання населених пунктів України найбільш екологічне – природний газ. Розвідані його запаси дозволяють збільшити видобуток і повністю відмовитися від закупівель за кордоном.

Таблиця 6

Порівняльний аналіз використання альтернативних палив для потреб теплопостачання (у частках до природного газу)

Показник	Паливо					
	деревина	солома	лушпиння	торф	газ	вугілля ГР
А. Викиди забруднювальних речовин (ЗР)						
1. Оксиди азоту	1,839	1,841	1,844	1,849	1,0	4,541
2. Оксиди сірки*	-	1,0	1,316	2,756	-	23,277
3. Оксид вуглецю	10,994	11,006	11,025	11,056	1,0	11,039
4. Тверді частки**	1,0	5,055	2,213	21,993	-	49,458
5. Разом ЗР	6,754	19,106	13,678	63,069	1,0	192,28
Б. Викиди парникових газів (ПГ)						
6. Діоксид вуглецю	2,776	2,627	2,149	2,471	1,0	3,341
7. Метан	1,571	1,571	1,571	1,571	1,0	1,571
8. Оксид діазоту	23,0	23,0	23,0	23,0	1,0	23,0
9. Разом ПГ	2,776	2,627	2,149	2,471	1,0	3,341
10. Всього ЗР+ПГ	2,780	2,664	2,161	2,532	1,0	3,660

*При порівнянні викидів в атмосферне повітря сірчистого ангідриду за основу взято викиди при використанні соломи (для природного газу і деревини з твердих порід даний інгредієнт відсутній).

** Для викидів твердих часток в якості еталонного палива прийнято деревину, так як при використанні природного газу в навколишнє середовище цей інгредієнт не надходить.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. – Схвал. розпорядженням КМУ від 15 березня 2006 р. N 145-р. [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> (дата звернення: 10.09.2019).
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. №605-р. [Електронний ресурс]. – URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085 (дата звернення: 10.09.2019).
3. Тонна нафтового еквівалента. [Електронний ресурс]. – URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Тонна_нафтового_еквівалента (дата звернення: 10.09.2019).
4. Структура генерації та ціни електроенергії. [Електронний ресурс]. – URL: https://www.google.com/search?q=%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%A3%D0%A9%D0%A2%D0%A3%D0%A0%D0%90+%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97+%D1%82%D0%B0+%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%B8+%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D1%97&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwiW2brenckbAhVRxosKHbedDzcQsAR6BAgFEAE&biw=1366&bih=620#imgrc=_ (дата звернення: 10.09.2019).
5. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». – № 2755-VIII від 11.07.2019. [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 23.08.2019).
6. Закон України «Про ринок електричної енергії». №2712-VIII від 25.04.2019. [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення: 23.08.2019).
7. В Україні необхідно збільшити тариф на електрику для населення. – [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.obozrevatel.com/ukr/economics/ukraintsiv-nalyakali-novim-pidvischennyam-tarifiv-i-nazvali-umovi.htm>. (дата звернення: 11.09.2019).
8. Хмара Д.О. Проблеми продовження терміну експлуатації ядерних реакторів на українських АЕС / Д. О. Хмара // Нова тема. – 2010. – №2. – С. 20-23.
9. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. [Електронний ресурс]. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (дата звернення: 23.08.2019).
10. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства: закон України: станом 1.01.2019 р. – № 2787-VI (2787-17) від 15.12.2010. – Київ: ВВР, 2011, №24, ст.170.
11. Ціна на газ для побутових споживачів [Електронний ресурс]. – URL: <https://energy.kyivgaz.ua/ofitsijna-informatsiy-a/tsini-ta-tarifi-na-gaz.html> (дата звернення: 23.08.2019).
12. Тарифи. КИЇВЕНЕРГО. Офіційний сайт для клієнтів [Електронний ресурс]. – URL: https://kyivenergo.ua/dtek_kem_home/tarifi_home (дата звернення: 23.08.2019).
13. Кодекс газотранспортної системи. – Затвердж. Постановою НКРЕКП №2493 від 30.09.2015. – Редакція від 05.06.2019. – [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15/paran18> (дата звернення: 10.09.2019).
14. Предун К. М. Вибір і обґрунтування способів передачі енергії для систем інженерного забезпечення населених пунктів України / К. М. Предун // Енергозбереження в будівництві та архітектурі.: наук.-техн. збірник. – 2013. – Вип.4. – с.210-214.
15. Запровадження в Україні обліку природного газу в одиницях енергії. – [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Kruglyi-stil-energy-Osievskiyi-text.pdf> (дата звернення: 10.09.2019).
16. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» – 2118-VII. – К.: ВВР, 2017, №3, с.5, стаття 359.
17. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 01.05.2017. – Київ: Укрархбудінформ, 2017. – 37 с.
18. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. – Київ: Видавництво «КВІЦ», 2002.
19. Predun K.M. Modernization of applied organizational and technological solutions in design and use of modern heating systems / К. М. Предун, О. М. Shevchuk, Y. Y. Franchuk. – Innovative Solutions In Modern Science № 2(29), 2019. – pp. 62-77.

References

1. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2030 r. – Skhval. rozporядzhennyam KМУ vid 15 bereznya 2006 r. N 145-r. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p>.
2. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 r. «Bezpeka, enerhoeffektyvnist', konkurentospromozhnist'». Skhval. rozporядzhennyam KМУ vid 18.08.2017 r. №605-r. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085
3. Tonna naftovoho ekvivalenta. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Tonna_naftovoho_ekvivalenta

4. Struktura heneratsiyi ta tsiny elektroenerhiyi. URL: https://www.google.com/search?q=%D0%A1%D0%A2%D0%A0%D0%A3%D0%A9%D0%A2%D0%A3%D0%A0%D0%90+%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97+%D1%82%D0%B0+%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%B8+%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D1%97&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwi-W2brenckAhVRxosKHbedDzcQsAR6BAgFEAE&biw=1366&bih=620#imgrc=_
5. Zakon Ukrainy «Pro al'ternatyvni dzherela enerhiyi». № 2755-VIII vid 11.07.2019. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/555-15>
6. Zakon Ukrainy «Pro rynek elektrychnoyi enerhiyi». №2712-VIII vid 25.04.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
7. V Ukraini neobkhidno zbilshyty taryf na elektryku dlya naseleण्या. URL: <https://www.obozrevatel.com/ukr/economics/ukraintsiv-nalyakali-novim-pidvischennyam-tarifiv-i-nazvali-umovi.htm>
8. Khmara D. O. “Problemy prodovzhennya terminu eksploatatsiyi yadernykh reaktoriv na ukrayins'kykh AES.” *Nova tema*. 2010. №2. pp. 20-23.
9. Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011
10. Pro ratyfikatsiyu Protokolu pro pryednannya Ukrainy do dohovoru pro zasnuvannya Enerhetychnoho Spivtovarystva: zakon Ukrainy: stanom 1.01.2019 r. № 2787-VI (2787-17) vid 15.12.2010. VVR, 2011, №24, st.170.
11. Tsina na haz dlya pobutovykh spozhyvachiv. URL: <https://energy.kyivgaz.ua/ofitsijna-informatsiy-a/tsini-ta-tarifi-na-gaz.html>
12. Taryfy. KYIVENERHO. Ofitsiyyny sayt dlya kliyentiv. URL: https://kyivenergo.ua/dtek_kem_home/tarifi_home
13. Kodeks hazotransportnoyi systemy. Zatverdzh. Postanovoyu NKREKP №2493 vid 30.09.2015. Redaktsiya vid 05.06.2019. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15/paran18>
14. Predun K.M. “Vybir i obgruntuvannya sposobiv peredachi enerhiyi dlya system inzhenernoho zabezpechennya naselenykh punktiv Ukrainy.” *Enerhozberezhennya v budivnytstvi ta arkhitekturi: Nauk.-tehn. Zbirnyk*. 2013. Iss. 4. pp. 210-214.
15. Zaprovdzhennya v Ukraini obliku pryrodnoho hazu v odynnytsyakh enerhiyi. URL: <http://www.naftogaz.com/files/Information/Kruglyi-stil-energy-Osievskyi-text.pdf>
16. Zakon Ukrainy “Pro enerhetychnu efektyvnist budivel” – 2118-VII. VVR, 2017, №3, s.5, st. 359.
17. *Teplava izolyatsiya budivel*. DBN V.2.6-31:2016. Minrehionbud Ukrainy, 2017.
18. *Vykydy zabrudnyuval'nykh rehovyn u atmosferu vid enerhetychnykh ustanovok. Metodyka vyznachennya*. Vydavnytstvo «KVITS», 2002.
19. Predun K.M., Shevchuk O. M., Franchuk Y. Y. “Modernization of applied organizational and technological solutions in design and use of modern heating systems.” *Innovative Solutions In Modern Science*. 2019. № 2(29), pp. 62-77.

УДК 697.34.005.8:711.4

Эколого-экономические проблемы жилищно-коммунального хозяйства Украины

К. М. Предун¹, О. М. Шевчук²

¹к.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры. г. Киев, Украина. 31172@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2634-9310

²ст. наук. сотрудник. Киевский национальный университет строительства и архитектуры. г. Киев, Украина.
2304elena@ukr.net. ORCID: 0000-0003-1416-8595

Аннотация. Системы тепло-, газо- и электроснабжения населённых пунктов Украины сегодня является примером неэффективного использования топливно-энергетических ресурсов в государстве. Замена основного топлива - природного газа - для нужд источников теплоты, электроэнергии альтернативным даёт мнимую экономию средств местных бюджетов в условиях децентрализации государственного управления (за счёт разницы цен природного газа и других органических топлив). В то же время такие меры порождают ряд других проблем. Увеличение загрязнения окружающей природной среды – одна из них. Проанализированы законодательное обеспечение, тарифная политика, требования действующих в Украине нормативно-правовых актов по экологической безопасности, производство и продажа теплоты и электроэнергии конечным потребителям. В

соответствии с ними рассмотрена замена природного газа альтернативными видами топлива. Рассчитаны прогнозируемые стоимость полученной энергии, выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух. Получены значения показателей эмиссии, основанные на данных о физико-химическом составе, и расход каждого из видов топлива с учётом характеристик процессов сжигания и мероприятий по уменьшению выбросов того или иного ингредиента. Выполнен сравнительный анализ видов топлива по влиянию на окружающую среду продуктов сгорания, а также непосредственно стоимости самих топлив. В сельской местности после превращения отходов сельскохозяйственного производства и обработки древесины как вторичного сырья в качественное биотопливо целесообразно вводить замену традиционного природного газа альтернативным топливом. В городских населённых пунктах за счёт реализации мероприятий по повышению энергоэффективности существующих зданий и сооружений возможно уменьшение потребления традиционного природного газа, а сэкономленные средства могут быть направлены на их термомодернизацию. Это позволит оставить в качестве основного органического топлива для нужд централизованного теплоснабжения наиболее экологическое - природный газ.

Ключевые слова: энергоснабжение, тариф, энергоноситель, природный газ, альтернативное топливо, теплота сгорания, альтернативная энергетика, электроэнергия, загрязняющие вещества, парниковые газы.

UDC 697.34.005.8:711.4

Ecological and Economic Problems of Housing and Communal Services of Ukraine

K. M. Predun¹, O. M. Shevchuk²

¹PhD in Technical Sciences, Professor. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine. 31172@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2634-9310

²Senior Research Fellow. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, Ukraine. 2304elena@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1416-8595

Abstract. The systems of heat, gas and electricity supply in settlements of Ukraine today are an example of inefficient use of fuel and energy resources in the state. Substitution of the main fuel – natural gas – for the needs of heat sources, electricity by alternative provides an imaginary saving of local budgets in the conditions of decentralization of public administration (due to the difference between the prices of natural gas and other organic fuels). At the same time, these measures alone raise a number of other problems. Increasing environmental pollution is one of them. The legislative support, tariff policy, requirements of current regulations in the field of environmental safety, production and sale of heat and electricity to consumers are analysed. According to them, the replacement of natural gas with alternative fuels is considered. Estimated cost of energy received, emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere are calculated. Emission indices were obtained based on data on the physicochemical composition and consumption of each of the fuels, taking into account the characteristics of combustion processes and measures to reduce the emissions of a particular ingredient. A comparative analysis of the fuels has been performed in relation to the environmental impact of the combustion products and the cost of the fuels themselves. In rural areas, after converting agricultural waste and wood processing as secondary raw materials into quality biofuels, it is advisable to introduce the replacement of traditional natural gas with alternative fuels. In urban areas, due to the implementation of measures to improve the energy efficiency of existing buildings and structures, it is possible to reduce the consumption of traditional natural gas, and the savings can be directed to their thermal modernization. This will allow the most environmentally friendly natural gas to be left as the main organic fuel for district heating needs.

Keywords: energy supply, tariff, energy carrier, natural gas, alternative fuels, combustion heat, alternative energy, electricity, pollutants, greenhouse gases.

Надійшла до редакції / Received 17.09.2019



GREEN STR



ВИД УСТАНОВКИ


Багатофункціональна

ПРОДУКТИВНІСТЬ

від 1 500 м³/год до 25 000 м³/год

СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

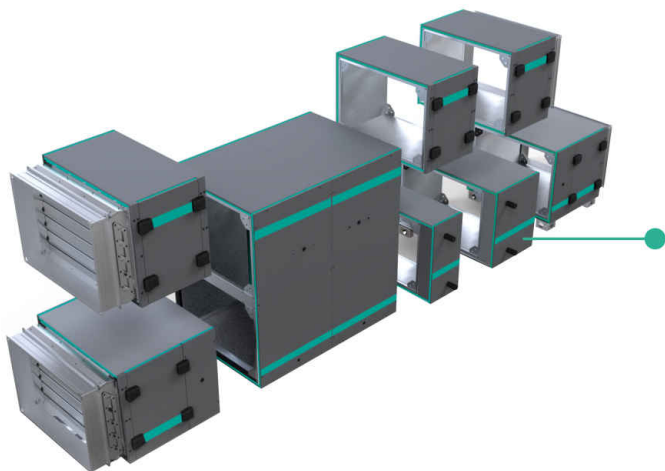
для об'єктів різного призначення, включаючи медичні установи та інші приміщення з підвищеними вимогами до умов чистоти

 **ВІДДАЛЕНЕ УПРАВЛІННЯ В ЗРУЧНИЙ ЧАС З БУДЬ-ЯКОЇ ТОЧКИ СВІТУ З AEROSTAR APP**



**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ.
СКОРОЧУЄ ПЕРІОД ОКУПНОСТІ ОБЛАДНАННЯ.**

МОДУЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ



Функціональні модулі спроектовані з урахуванням необхідних параметрів: розмірів монтажних і будівельних прорізів, що спрощує процес монтажу вентиляційних агрегатів на об'єкті.



Енергоефективні комплектуючі від провідних світових виробників.



Установки оснащені **енергоефективними технологіями**, що дозволяє отримувати максимальний ККД при мінімальних витратах ресурсів.



Автоматика розробляється індивідуально для кожного агрегату, що дозволяє управління параметрами обладнання з максимальною ефективністю.



Максимально точне проектування та ексклюзивна програма підбору AeroSelect.



Виготовлення обладнання за кототкий час.

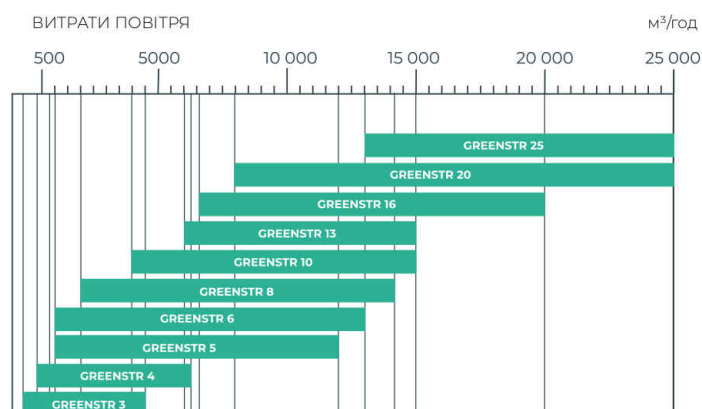


Нестандартні рішення для приміщень всіх типів.



Можливе **медичне виконання установки.**

СТАНДАРТНИЙ МОДЕЛЬНИЙ РЯД ПРЕДСТАВЛЕНИЙ 10-ма ТИПОРОЗМІРАМИ



Актуальні характеристики обладнання доступні в програмі підбору "AeroSelect". Не забудьте уточнити їх у Вашого менеджера.

УДК 696.2

Дослідження проблеми забезпечення оптимального тиску в розподільчих мережах газопостачання перед побутовими газовими приладами

В. А. Коновалюк¹, Ю. Й. Франчук²

¹к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, viktorija.konovalyuk@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5115-7188

²ас. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, franchuk196405@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7910-8705

Анотація. Проведений аналіз фактичних значень тиску газу, даПа, в наявних системах газопостачання. Визначено, що при експлуатації газових мереж населених пунктів виникають зони пониженого надлишкового тиску, даПа, у яких пальники побутових газових приладів не можуть працювати в передбаченому заводами-виробниками режимі. Це призводить до зниження теплової потужності газопальникового пристрою, перевитрати палива та наявності в продуктах згоряння небезпечних сполук. Зниження теплової потужності пальників побутових газових приладів відбувається внаслідок погіршення інжекції і недостатнього змішування газу з повітрям, оскільки спалювання відбувається в режимі, відмінному від номінального. Досліджено значення фактичних тисків, даПа, у вуличній мережі газопостачання, ввідних газопроводах та перед пальниками газових приладів. Розрахована зміна тиску, даПа, у газорозподільній мережі населеного пункту впродовж року та проведений аналіз зміни тиску, даПа, перед пальниками побутових газових приладів вітчизняного та європейського виробництва. Визначено, що відхилення фактичного тиску, даПа, від нормативного перед пальниками газових приладів у зимовий період може сягати близько 30 % для приладів вітчизняного виробництва і 50 % для приладів виробництва країн Європейського Союзу. Запропонований ряд рекомендацій щодо реконструкції й експлуатації розподільчих мереж газопостачання. Урахування їх дозволить підтримувати значення тиску, даПа, перед побутовими газовими приладами на рівні, що рекомендуються в інструкціях з експлуатації.

Ключові слова: газопостачання, надлишковий тиск, втрати тиску, нормативні вимоги

Вступ. Для реалізації політики підвищення енергоефективності Україна як асоційований член Європейського товариства активно впроваджує європейські норми в нормативну базу України. Разом з цим відбувається поступове підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, застосування енергоефективних технологій та активна заміна застарілого газоспоживного обладнання на сучасне, з більш високим коефіцієнтом корисної дії і рівнем безпеки експлуатації.

Актуальність дослідження. В Україні споживачі активно встановлюють побутові газові прилади європейського виробництва. Останні приєднуються до наявних розподільних мереж низького тиску населених пунктів. При цьому постає проблема недостатньої якості роботи приладів унаслідок нестачі тиску, даПа, у певних точках газової мережі. Фактичне значення тиску газу, даПа, перед пальниками побутового обладнання в період активного його відбору із газотранспортної системи, особливо в зимовий період, менше за рекомендоване заводами-виробниками. Спостерігається зниження теплової потужності пальників при їхній роботі в режимі, відмінному від номінального. Постає проблема необхідності перерозподілу газових потоків у мережі та подачі газу з тиском, даПа, який буде

забезпечувати стаке горіння на пальниках, повноту спалювання та роботу з максимально можливим коефіцієнтом корисної дії.

Останні дослідження та публікації. Газові розподільчі мережі України формувались у 50–80-х роках минулого століття. Вони експлуатуються понад 40 років. Більшість їх відпрацювали нормативний амортизаційний термін. Внаслідок цього відбувається зменшення герметичності системи газопостачання та збільшення гідравлічного опору. Витоки газу з газопроводів призводять до зменшення тиску, даПа, у мережі та суттєвої розбіжності між розрахованим і фактичним тиском, даПа [1].

Пропускна здатність більшої частини міських газопроводів знаходиться в межах 30...70 % від теоретичного значення, що свідчить про накопичення у внутрішній порожнині труб відкладень. Від якості газу, що транспортується міськими газопроводами, залежить пропускна спроможність і ефективність їхньої експлуатації та ремонту. З газом у міські газопроводи потрапляє вуглеводневий конденсат, вода, мінеральний шлак. При цьому підвищується коефіцієнт шорсткості й гідравлічного опору тертя газового потоку. Корозія внутрішньої поверхні трубопроводів також збільшує ці величини. Також у газорозподільних мережах можливе утворення кристалогідратів. Екс-

периментально та теоретично визначено закономірності впливу відкладень у міських газопроводах на газодинамічні режими й ефективність експлуатації [2].

Проводилися теоретичні дослідження ефективності методів обслуговування газових мереж. Встановлено, що для забезпечення розрахункової пропускної здатності газопроводів при їхній реконструкції шляхом протягування поліетиленових труб необхідно здійснювати зміну робочого тиску з низького на середній.

Отримано залежність між питомою тепловою згорання природного газу, МДж/м³, та тиском на кінцевих споживачах газових мереж, даПа. Її рекомендовано враховувати при проведенні гідравлічних розрахунків газопроводів [3].

Через суттєве збільшення побутових споживачів газу та приєднання їх до старих мереж газопостачання низького тиску, не на кожному відрізку вдається підтримувати належний тиск, даПа, особливо в пікові періоди холодів. Це призводить до падіння тиску газу, даПа, що надходить до опалювальних приладів, і зменшення їхнього коефіцієнта корисної дії [4].

Проводилися дослідження впливу параметрів природного газу на показники роботи газового обладнання [5]. Запропонована залежність для визначення перепаду тиску, даПа, на підставі допустимого зменшення коефіцієнта корисної дії газового обладнання.

На основі нормованих допустимих нижніх значень числа Воббе, МДж/м³, для певного об'єму сухого природного газу визначено, що потужність пальника газової плити, яка експлуатується в Україні, буде приблизно на 12 % меншою, ніж для аналогічної плити, яка експлуатується в країнах ЄС і споживає такий самий об'єм газу, м³. Отже, низькі значення показника числа Воббе, МДж/м³, у газових мережах суттєво зменшують потужність пальників, Вт, що дає підстави скаржитися споживачам на якість природного газу. [4].

Проводилися дослідження зміни теплової потужності, Вт, газопальникового пристрою відносно номінального її значення залежно від тиску газу, даПа. Визначено, що побутовий газовий прилад ефективно працює тільки коли номінальний тиск, даПа, перед газовим приладом відповідає необхідному номінальному тиску, даПа, наведеному в паспорті приладу [6].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є аналіз стану забезпечення оптимального тиску, даПа, перед побутовими газовими приладами та розробка заходів щодо приведення основних параметрів газу до

паспортних вимог для побутових приладів.

Основна частина. Побутові газові прилади працюватимуть ефективно тільки за умови, якщо наявна газова мережа забезпечує необхідну кількість, м³/год, тиск, даПа, і якість газу перед пальниками приладів. Крім того, для спалювання потрібно подати необхідну кількість повітря (кисню), м³/год, для повного згорання природного газу.

У сучасних умовах експлуатації газотранспортної системи розподільних газопроводів спостерігається зниження теплової потужності, Вт, пальників побутових газових приладів унаслідок погіршення інжекції та недостатнього змішування газу з повітрям. Тому спалювання відбувається в режимі, відмінному від номінального.

Масове встановлення приладів обліку газу, що створюють додатковий місцевий опір і призводять до збільшення втрат тиску, даПа, у мережі лише погіршує ситуацію.

У наявних мережах розподільчих газопроводів транспортування газу відбувається на основі рекомендованих нормативними документами й прийнятих при проектуванні значення тиску, даПа:

1. Вихідний тиск газу на ГРП або ШРП не вище 300 даПа [7];
2. Втрати тиску у вуличному газопроводі до 120 даПа, втрати тиску в підвідному внутрішньому газопроводі не більше 60 даПа, а фактичні значення при проектуванні сучасних мереж приймаються за умови, щоб тиск перед пальником у розрахунковому режимі становив $P_{nat} = 120$ даПа [8] (при нормальній експлуатації мережі без зміни вихідного тиску, Па, на ГРП або ШРП відбуваються зміни витрати газу порівняно з проектною, тому змінюються і втрати тиску, даПа, у вуличних і внутрішніх газопроводах, а отже, і тиск перед пальником);
3. Мінімально можливий тиск перед пальником – 70 даПа. [7].

Необхідно зазначити, що тиск газу перед пальниками в газових приладах, що виготовлялись у період до 2010 року, становив 130 даПа, що в цілому забезпечувало нормальні умови спалювання. У теперішній час відбувається реконструкція мереж і заміна побутових приладів на сучасні, більш енергоефективні. Останні вимагають значно більшого тиску, даПа, перед пальниками та іншого числа Воббе [9, 10].

При проведенні планових робіт щодо технічного обслуговування газових приладів

працівниками експлуатаційних організацій істотно збільшилася кількість скарг на неналежну роботу обладнання. Додаткове встановлення в кожного споживача приладу обліку газу, виконане відповідно до Закону України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу», призвело до збільшення втрат тиску додатково ще на 60 даПа у кожному встановленому лічильнику. [9].

У багатоквартирних будинках при встановленні лічильників газу додаткові втрати тиску значно вищі за 60 даПа, оскільки:

- типова обв'язка лічильника має діаметр, мм, трубопроводів, що в більшості випадків не збігається з діаметром, мм, увідного газопроводу;
- передбачається додаткова запірна арматури, відводи та інші місцеві опори.

Також фактичні втрати тиску, даПа, у внутрішньобудинковій системі перевищують розрахункові, серед іншого, через:

- збільшення довжини системи (додаткові обв'язувальні газопроводи);
- можливе збільшення навантаження при заміні або додатковому встановленні приладів;
- зменшення поперечного перерізу через засмічення;
- наявність рідкої фракції.

Загалом це призвело до значного зниження тиску газу, даПа, перед пальниками від запроектованого.

При встановленні побутових приладів західноєвропейського виробництва їхніми паспортами передбачено значення номінального тиску перед пальниками газових плит на рівні 200 даПа, а для газових котлів – 250 даПа.

У наявних мережах, що проектувались і будувались наприкінці минулого століття, при встановленні лічильника утворюється такий розподіл тиску:

- 300 даПа на виході із газорегуляторного пункту;
- 120 даПа – втрати тиску газу в розподільчому (вуличному) газопроводі;
- 60 даПа – втрати тиску газу в підвідному і внутрішньобудинковому газопроводах;
- 60 даПа – втрати тиску газу в лічильнику.

Тоді реальний тиск перед пальником побутового газового приладу становить близько 60 даПа. Це менше за мінімальний тиск, даПа, у Правилах безпеки систем газопостачання [7], і значно нижчий за тиск, даПа, рекомендований у паспортах обладнання заводів-виробників.

Досліджено значення фактичного тиску, даПа, у двоступеневій мережі газопостачання

населеного пункту на 8000 мешканців (с. м. т. Білогір'я Хмельницької області). Вимірювалися значення надлишкового тиску, даПа, у:

- вуличних системах газопостачання низького та середнього тиску;
- на ввідних газопроводах у будинки різного призначення та поверховості;
- перед пальниками газоспоживних приладів.

Дослідження проводилися протягом року. Особливу увагу акцентовано на періоди пікових навантажень. Отримані результати зведені до середньомісячних показників (рис. 1). Виконано порівняння фактичного тиску, даПа, перед пальниками побутових газових приладів вітчизняного та закордонного виробництва (рис. 2).

Визначено, що максимальне відхилення реального тиску від нормативно необхідного для вітчизняних приладів становить 421 Па у бік зменшення в січні місяці та 230 Па у бік збільшення в серпні. Для побутових приладів, що виготовлені в країнах Європейського Співтовариства, відхилення тиску знаходиться тільки в діапазоні нестачі, яка фактично становить від 473 до 1124 Па. Отже, прилади закордонного виробництва, які отримують газ від вуличних газопроводів низького тиску, постійно працюють у режимі замалих значень тиску, даПа. У зимовий період нестача становить близько половини від необхідного (48...56 %).

Оскільки прилади закордонного виробництва потребують вищого тиску, даПа, у мережі, необхідно провести уточнення гідравлічного розрахунку на фактичне навантаження та новий допустимий перепад тисків, даПа. Далі необхідно провести вимірювання фактичних значень у зонах пониженого тиску, які виявив гідравлічний розрахунок. Бажано це здійснювати в період пікових навантажень.

На схемі газопостачання населеного пункту слід показати всі зони зниженого тиску, даПа, та виявити їхню динаміку в процесі газоспоживання. Проаналізувати наявну ситуацію в цілому і розробити заходи щодо підвищення тиску, даПа, у найбільш проблемних зонах.

Наприклад, групу багатоповерхових будинків, що потрапляють в зону пониженого тиску, даПа, від'єднати від вуличної мережі низького тиску і приєднати через регулятор до мережі середнього тиску тупиковим відгалуженням. Іншим варіантом вирішення цієї проблеми може бути підживлення наявної кільцевої мережі низького тиску в проблемній зоні підведеним газопроводом середнього тиску.

Отже, якщо встановлювати побутові газові

прилади закордонного виробництва в наявні українські системи газопостачання без приведення робочих тисків, даПа, у відповідність до рекомендованих нормативних значень, а також без забезпечення нормативної теплоти згоряння, МДж/м³, то ефективно спалювання газу на пальниках цих приладів досягти проблематично.

Технічний регламент природного газу [11] передбачає, що з 01.01.2025р. значення тиску газу, який подається до житлових будинків, має бути в межах 170...250 даПа. Забезпечити тиск приблизно 200 даПа уздовж усього газопроводу низького тиску проблематично. Таке значення підтримується біля пунктів дроселювання природного газу.

Висновки. На підставі вищенаведеного рекомендується:

1. При виконанні робіт щодо реконструкції газопроводів середнього і низького тиску, які прокладені на території населених пунктів, бажано виконувати заміну сталевих труб поліетиленовими без зменшення діаметра на ділянках. Метод протягування передбачає зменшення діаметрів. У цьому випадку рекомендується переходити на одноступеневу схему газопостачання (середній тиск);

2. Виробництво теплоти для систем опалення та гарячого водопостачання багатопверхових будинків бажано виконувати за допомогою дахової котельні, яка працює на середньому тиску газу, що дозволить отримати робочий тиск, МПа, близький до рекомендованих значень згідно з паспортом ви-

робу, мінімізує тепловтрати та об'єми будівельно-монтажних і експлуатаційних робіт;

3. Для зменшення втрат тиску в мережі бажано усунути з'єднання на різьбі, що не пов'язані з установленням арматури та контрольно-вимірвальних приладів. За можливості слід мінімізувати кількість з'єднань. Якщо необхідно забезпечити технічне обслуговування вузла, слід застосовувати фланцеві з'єднання та кульові крани;

4. При встановленні загальнобудинкових приладів обліку посилити контроль за дотриманням відповідності діаметрів, мм, трубопроводів основної лінії, байпасу лічильника й запірної арматури до діаметра, мм, увідного газопроводу;

5. З метою збільшення тиску газу в проблемних точках мережі низького тиску дроселювання газу слід проводити ближче до будинку чи групи будинків або безпосередньо на стіні будівлі, що використовує газ. У цьому випадку дозволені втрати тиску в розподільчому газопроводі будуть зведені до мінімуму. Споживач отримає необхідні 200...250 даПа.

Перспективи подальших досліджень. На нашу думку доцільно було б при проектуванні і реконструкції систем газопостачання виконувати гідравлічний розрахунок мереж не тільки традиційно як визначення втрат тиску на ділянках, а проводити також розрахунок повноти забезпечення енергією кожного приладу. Відповідно, є потреба в розробленні методики проведення таких розрахунків.

Література

1. Стасюк Р. Б. Удосконалення методів діагностування витоків з газових мереж / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. / Івано-Франківськ, 2015. – 144 с.
2. Капцова Н. І. Підвищення ефективності експлуатації та ремонту міських газопроводів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. - Харків – 2018, 24 с.
3. Височанський І. І. Удосконалення методів обслуговування та ремонту газових мереж з урахуванням енергетичних характеристик природного газу / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. / Івано-Франківськ, 2019. – 205 с.
4. Петришин І. Аналіз показників якості природного газу, які впливають на процес горіння / І. Петришин, В. Соколовський, Н. Петришин, І. Дарвай // Стандартизація. Сертифікація. Якість. - 2012. - № 3. - С. 51-56.
5. Колієнко А. Г. Вплив параметрів природного газу на показники роботи газового обладнання / А. Г. Колієнко, О. В. Шеліманова // Енергетика і автоматика: ел. наук. фак. вид. / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – 2016. – Вип. 4. – с. 212-222.
6. Аналіз фізико-хімічних властивостей природних газів / К. М. Предун // Містобудування та територіальне планування. - 2018. - Вип. 66. - С. 532-539.
7. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. – Київ: Основа, 2015. – 179 с.
8. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. – Мінрегіонбуд України, 2019.-109 с.
9. Лічильники газу мембранні САМГАЗ, Настанова щодо експлуатування. СМУК.407369 РЭ. – 35 с. – Режим доступу: www.samgas.com.ua
10. ДСТУ 2204-93. Плити газові побутові. Загальні технічні вимоги. – Київ: Держстандарт України, 1993. – 45 с.
11. Проект постанови Про затвердження Технічного регламенту природного газу / Кабінет Міністрів України [Електронний ресурс]. – 2019. – 61 с. – Режим доступу: <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2019/05/4291.pdf>

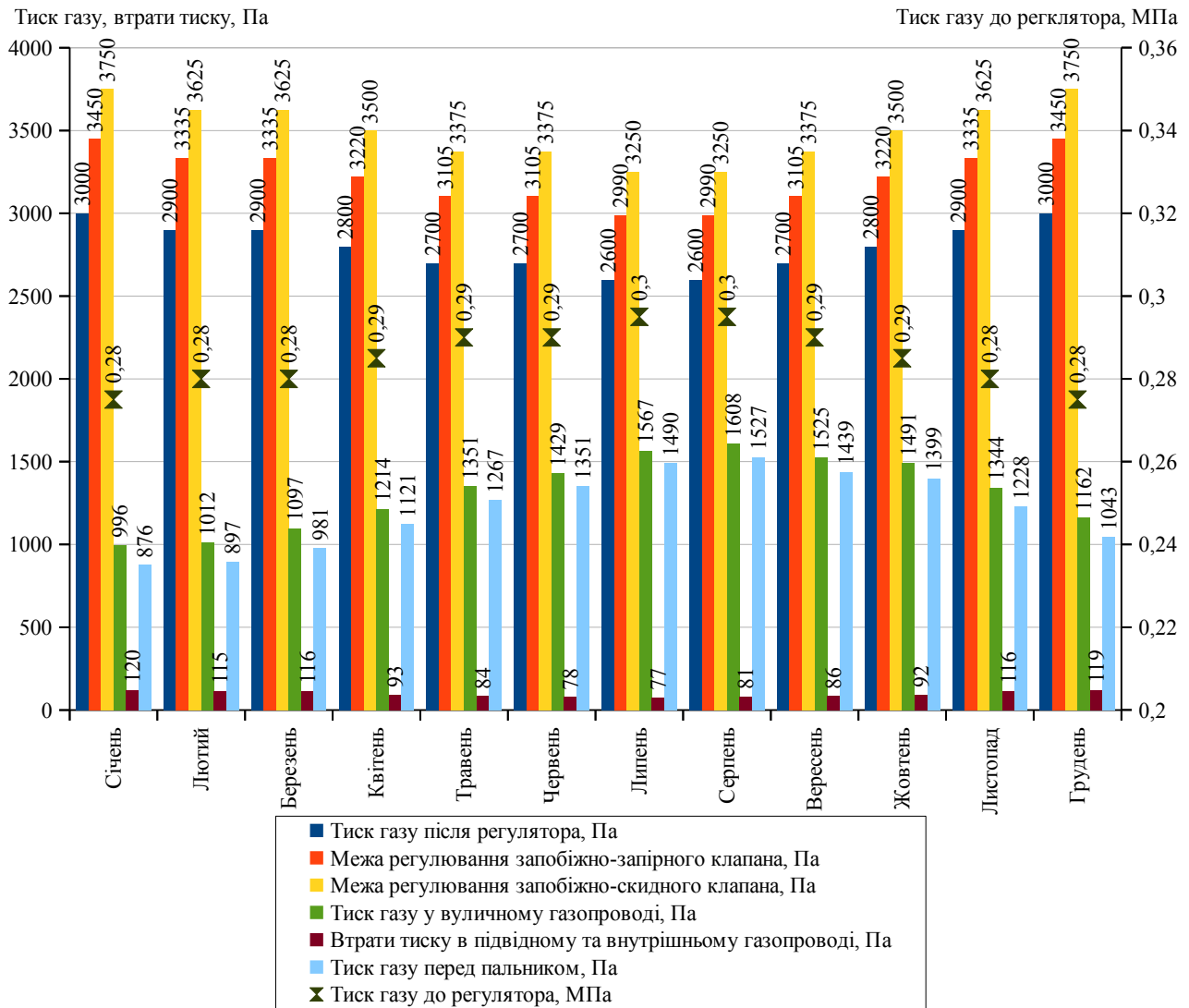


Рис. 1. Зміна тисків у газорозподільній мережі населеного пункту впродовж року

References

1. Stasiuk R.B. Udoshkalennia metodiv diahnostuvannia vytokiv z hazovykh merezh /Dysertatsiia na zdobuttia na-ukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk./ Ivano-Frankivsk, 2015. – 144 s.
2. Kaptsova N.I. Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii ta remontu miskykh hazoprovodiv / Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovoho stupnia kandydata tekhnichnykh nauk. - Kharkiv – 2018, 24 s.
3. Vysochanskyi I.I. Udoshkalennia metodiv obsluhovuvannia ta remontu hazovykh merezh z urakhuvanniam enerhetychnykh kharakterystyk pryrodnoho hazu /Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk./ Ivano-Frankivsk, 2019. – 205 s.
4. Petryshyn I. Analiz pokaznykiv yakosti pryrodnoho hazu, yaki vplyvaiut na protses horinnia / I. Petryshyn, V. Sokolovskiy, N. Petryshyn, I. Darvai // Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist. - 2012. - № 3. - S. 51-56.
5. Koliienko A. H. Vplyv parametrov pryrodnoho hazu na pokaznyky roboty hazovoho obladnannia / A. H. Koliienko, O. V. Shelimanova // Enerhetyka i avtomatyka: el. nauk. fakh. vyd. / Nats. un-t bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. – 2016. – Vyp. 4. – s. 212-222.
6. Analiz fizyko-khimichnykh vlastyvosei pryrodnykh haziv / K. M. Predun // Mistobuduvannia ta terytorial-ne planuvannia. - 2018. - Vyp. 66. - S. 532-539.
7. NPAOP 0.00-1.76-15. Pravyla bezpeky system hazopostachannia. – K.: Osnova, 2015. – 179 s.
8. DBN V.2.5-20:2018. Hazopostachannia. – Minrehionbud Ukrainy, 2019.-109 s.
9. Lichylnyky hazu membranni SAMHAZ, Nastanova shchodo ekspluatuvannia. SMUK.407369 RЭ. – 35 s. www.samgas.com.ua
10. DSTU 2204-93. Plyty hazovi pobutovi. Zahalni tekhnichni vymohy. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1993. – 45 s.
11. Proekt postanovy Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu pryrodnoho hazu. 2019. <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2019/05/4291.pdf>

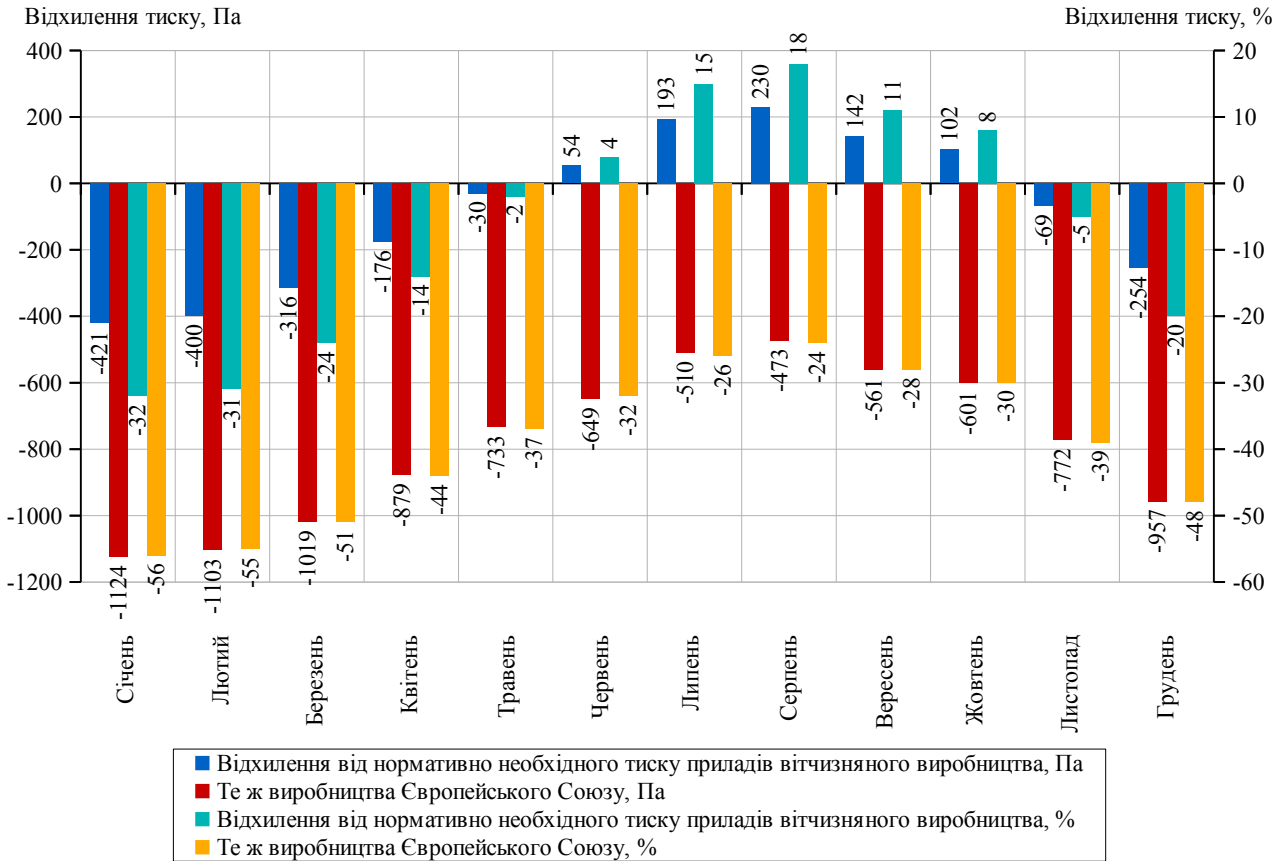


Рис. 2. Аналіз зміни тиску перед пальниками побутових газових приладів вітчизняного (нормативний тиск перед приладом 1297 Па) та європейського виробництва (нормативний тиск перед приладом 2000 Па)

УДК 696.2

Исследование проблемы обеспечения оптимального давления в распределительных сетях газоснабжения перед бытовыми газовыми приборами

В. А. Коновалюк¹, Ю. Й. Франчук²

¹к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва та архітектури, viktorina.konovalyuk@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5115-7188

²ас. Київський національний університет будівництва та архітектури, franchuk196405@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7910-8705

Аннотація. Проведен аналіз фактичних значень тиску газу, даПа, в існуючих системах газопостачання. Визначено, що при експлуатації газових мереж населених пунктів виникають зони зниженого надлишкового тиску, даПа, в яких горелки побутових газових приладів не можуть працювати в передбаченому заводом-виробником режимі. Це призводить до зниження теплової потужності газогорючого пристрою, перерасходу палива та наявності в продуктах згорання небезпечних сполучень. Зниження теплової потужності горелок побутових газових приладів відбувається внаслідок погіршення інжекції та недостатнього змішування газу з повітрям, так як згорання відбувається в режимі, відмінному від номінального. Досліджено значення фактичного тиску, даПа, в вуличній мережі газопостачання, вхідних газопроводах та перед горелками газопозиспользующих приладів. Розраховано зміну тиску, даПа, в газорозподільній мережі населеного пункту протягом року та проведено аналіз змін тиску, даПа, перед горелками побутових газових приладів вітчизняного та європейського виробництва. Визначено, що відхилення фактичного тиску від нормативного перед горелками побутових газових приладів в зимовий період може досягати приблизно 30% для приладів вітчизняного виробництва та 50% для приладів виробництва країн Європейського союзу. Представлено ряд рекомендацій щодо реконструкції та експлуатації розподільчих мереж газопостачання, урахування яких дозволить підтримувати значення тиску, даПа, перед побутовими газовими приладами на рівні, рекомендованому в інструкціях по експлуатації заводів, випускаючих газопозиспользующее обладнання.

Ключові слова: газопостачання, надлишковий тиск, втрати тиску, нормативні вимоги

UDC 696.2

Investigation of the problem of ensuring optimal pressure in gas distribution networks before household gas appliances

V. Konovaliuk¹, Yu. Franchuk²

¹PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, viktorija.konovalyuk@gmail.com. ORCID: 0000-0001-5115-7188

²Assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, franchuk196405@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7910-8705

***Annotation.** The analysis of the actual values of gas pressure [daPa] in existing gas supply systems has been performed. It is determined that during the operation of gas networks in settlements, there are zones of reduced overpressure [daPa], in which burners of household gas appliances cannot operate in the conditions recommended by the manufacturers. This leads to a decrease in the thermal power of the burner devices, excessive consumption of fuel, and the presence of hazardous substances in the combustion products. The values of actual pressure [daPa] in street gas supply networks, inlet gas pipelines and in front of the burners of the gas-using devices is investigated. The change in pressure [daPa] in a gas distribution network of a village during year was investigated and the pressure change [daPa] in front of the burners of domestic gas appliances of Ukrainian and European production was analysed. It is determined that the deviation of the actual pressure [daPa] from the standard one before the burners of gas appliances in winter can reach about 30 % for domestic appliances and 50 % for appliances manufactured in the European Union. A set of recommendations on the reconstruction and operation of gas distribution networks have been proposed. During reconstruction, it is recommended to replace pipes by polyethylene ones, without decrease in diameter [mm]. For multi-storey buildings with individual heating and hot water boilers using rooftop boilers on average pressure is helpful. Minimization of thread joint can decrease the pressure losses [daPa]. During installation of house meters a strong inspection of works should be performed to ensure that cross-sections of pipes are not reduced. Gas pressure regulators should be as close as possible to buildings for minimization of pressure losses. Taking into account of the recommendations will allow maintaining the pressure value [daPa] in front of the household gas appliances at the level recommended in the operating instructions for plants that produce gas-using equipment.*

Keywords: gas supply, overpressure, pressure loss, regulatory requirements

Надійшла до редакції / Received 04.07.2020.

УДК 697.94

Ексергетична ефективність системи кондиціонування повітря з адсорбційним осушенням та регенерацією адсорбенту теплотою конденсації для приміщень арбітражного зберігання ліків

О. В. Задоянний¹, Ю. М. Євдокименко²

¹к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, zadoiannyi.ov@knuba.edu.ua
ORCID:0000-0001-6781-9756

²асп., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, bonnesante91@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1154-5108

Анотація. Інженерні системи забезпечення мікроклімату будівель і споруд є суттєвими споживачами електричної та теплової енергії різного температурного рівня. Серед них системи кондиціонування повітря різного призначення за показником енергоспоживання є найменш оцадними. При їхньому проектуванні не завжди приділяється належна увага оцінці ступеня їхньої енергоефективності та не проводиться варіантне проектування з порівнянням відповідних показників. Ексергетичний метод аналізу технічних систем забезпечує коректну чисельну оцінку енергоефективності та можливість порівняльного аналізу схемних рішень на різних стадіях. Однак, його поширенню бракує коректних інженерних методик. У даній статті наведено приклад ексергетичного аналізу при проектуванні системи кондиціонування повітря для фармацевтичного виробництва з метою вибору найліпшого за показниками енергоефективності джерела теплоти для регенерації адсорбенту. Результати аналітичних досліджень подано у вигляді відносних значень ексергетичної ефективності та питомих значень ексергії повітря при його обробці, які є зручними для коректного порівняння й подальшого аналізу. У статті показано як за допомогою ексергетичних потокових діаграм складових ексергії вологого повітря визначити деструкцію ексергії та найбільш енергомісткі процеси в системі. Послідовний чисельний ексергетичний аналіз є дієвим і корисним інструментом для визначення показників енергоефективності кондиціонування повітря при проектуванні.

Ключові слова: кондиціонування повітря; адсорбційні системи; фармацевтичне виробництво; ексергетичний аналіз; десорбція; теплота конденсаторів холодильних машин.

Вступ. Системи кондиціонування повітря (СКП) різного призначення споживають енергоресурси обсягом, який закладено в проектних рішеннях. Цей обсяг відповідає прийнятним рішенням щодо створення та підтримання відповідних комфортних, або технологічних параметрів повітря.

Для забезпечення цих параметрів у СКП здійснюються термодинамічні процеси охолодження, нагрівання, зволоження та осушення повітря. Указані процеси постійно удосконалюються з метою підвищення ефективності й одночасного зменшення енергоспоживання.

До вказаних процесів та відповідного обладнання для їхнього здійснення регламентовано вимоги державного стандарту [1]. За цим стандартом визначення ефективності споживання енергії зазначеним обладнанням, функціональними елементами, групами елементів та системами повинно визначатися за допомогою коефіцієнта корисної дії.

Аналогом коефіцієнта корисної дії стосовно більшості енергетичних процесів та вище зазначених є ексергетичний коефіцієнт корисної дії. Методологія визначення його та інших показників ексергетичного аналізу базується на законах сучасної нерівноважної термодинаміки [2].

Процеси обробки повітря в СКП мають специфічні особливості, які потребують відповідного підходу. Головна їхня особливість полягає в тому, що потік ексергії вологого повітря, який обробляється в СКП, містить сумірні складові – термічну, механічну та хімічну (концентраційну вологісну) [3].

Кожна з указаних складових у процесі обробки повітря змінює знак і набуває різних значень. Це дає змогу чисельно оцінювати енергоощадність відповідних процесів: нагрівання, охолодження, осушення, зволоження тощо.

Кожна складова або їхня сума чи різниця в певних функціональних вузлах, елементах або системі в цілому може бути:

- “корисною”, відносно якої визначають ексергетичну ефективність;
- “витратною”, яка враховується як витрачена на здійснення відповідного процесу.

Крім ексергії повітря – основного ексергетичного потоку – потрібно аналізувати ексергетичні потоки енергоносіїв, які живлять систему, – теплохолодоносії, електрична енергія тощо. В окремих випадках слід враховувати й радіаційні потоки, які наявні в основному в кондиціонованих приміщеннях [4].

Вищенаведене вказує на існування методологічної проблеми оцінки вказаних вище показників енергоощадності СКП.

Актуальність дослідження. Проблема енергоефективності в Україні переросла в кризу енергоспоживання. Нераціональна експлуатація технічних систем забезпечення мікроклімату будівельних об'єктів часто призводить до значного відхилення від нормованих параметрів – температури приміщень, відносної вологості, повітрообміну тощо. Ці явища сприяють, серед іншого:

- збільшенню захворюваності людей у разі порушення санітарних норм в громадських та житлових приміщеннях;
- зниженню продуктивності праці;
- порушенню технологічних регламентів у виробничих приміщеннях;
- зменшенню експлуатаційної надійності будівельних об'єктів;
- руйнуванню будівельних конструкцій усіх видів будівель тощо.

У новому будівництві багато проблем із енергоощадністю інженерних систем вирішують завдяки сучасним досконалим системам регулювання та схемним рішенням. Однак подальшому їхньому вдосконаленню в напрямку енергоефективності бракує інженерного методичного забезпечення задля коректного визначення відповідних показників енергоощадності [5]. Ця обставина стосується не тільки СКП, як найбільш енергомістких, а й систем опалення, вентиляції, тепло- та газопостачання тощо.

Останні дослідження та публікації. Ексергетичний аналіз дозволяє коректно визначити перетворення ексергетичних потоків у СКП. На цій основі можливо отримати відповідні значення деструкцій, втрат та витрат ексергії, на підставі яких визначають відносні й абсолютні значення енергоощадності системи.

Подібні до цього алгоритму результати наведено в небагатьох роботах для різних схемних рішень та призначень СКП. Найбільш характерними прикладами є роботи [6, 7], у яких наведено результати ексергетичного аналізу СКП відповідно до завдання – оцінки загальної ексергетичної ефективності систем.

У роботі [8] наведено результати ексергетичного аналізу із деталізацією за структурними елементами системи – повітроохолоджувачем, повітронагрівачем, змішувачами та приміщенням. У роботі [9] наведено корисні методичні положення щодо ексергетичних обчислень основних психрометричних процесів, наявних у СКП, – нагріванню, охолодженню, осушенню

та зволоженню повітря.

У кожній з указаних робіт ексергетична ефективність СКП визначається різним чином відповідно до конкретного завдання аналізу із використанням та відповідним обґрунтуванням методик. У даній статті, на відміну від зазначених, об'єктом досліджень прийнято складові ексергетичних потоків повітря СКП та джерела енергопостачання системи.

Формулювання цілей статті. У даній роботі подано результати поглибленого ексергетичного аналізу варіантів теплопостачання теплообмінників для регенерації сорбенту та другого підігріву повітря від конденсатора холодильної машини та від теплової мережі. Порівняння вказаних варіантів проведено на стадії проектування адсорбційної СКП фармацевтичного виробництва з метою визначення показників енергоощадності системи.

Основна частина. Визначено [6-9], що ексергетичний метод має достатньо ефективні можливості при аналізі як систем в цілому, так і окремих функціональних елементів, вузлів, процесів тощо. Крім того виникає можливість покрокового розрахунку систем. Спочатку аналізують процеси обробки основного повітря з метою отримання оптимального схемного рішення СКП – компонування обладнання, послідовності обробки повітря тощо. Потім розраховують ефективність енергопостачання СКП. На першому етапі:

- використовують *I-d*-діаграму для обчислення ексергетичних потоків повітря в процесах;
- будують діаграму ексергетичних потоків повітря за складовими системи;
- визначають ділянки максимальних витрат ексергії – піки та провалини потоків діаграми [10];
- отримують відносні значення ефективності "нетто"[5].

Після визначення найліпшого варіанту схемного рішення за останнім показником обраховують відповідний варіант енергопостачання за критерієм ексергетичної ефективності "брутто".

Розрахунок ексергетичної ефективності СКП, зазвичай, проводять за методикою [2, 7, 8], яка не зовсім коректна в частині визначення витратної та корисної ексергії. Нами в роботах [4; 5] було подано й доведено більш коректне визначення вказаних величин. У даній роботі розрахунки проведено за відповідною методикою.

Для визначення ефективності схемного рішення СКП варто обраховувати ЕККД «нетто»

із залежності [5]:

$$\eta_E^{net} = \frac{\Delta E_{wz}}{E_{ext-in} + E_{\ell-env}}, \quad (1)$$

$$\eta_E^{net} = \frac{\Delta E_{wz}}{\sum E_{ext-in} + \sum E_{\ell-env}}, \quad (2)$$

де ΔE_{wz} – корисно витрачена ексергія всіх складових повітря в приміщенні, кВт; $\sum E_{ext-in}$ та $\sum E_{\ell-env}$ – відповідно, витрачена сумарна ексергія повітря, кВт, в обладнанні СКП перед подачею в приміщення та після нього, Вт.

Величина ΔE_{wz} , кВт, визначається за різницею значень ексергії, кВт, у припливному (*in*) і витяжному (*ℓ*) повітрі. Витратна ексергія в знаменнику формули (2) визначається як сума витраченої ексергії повітря в $i = 1..n$ та $j = m$ елементах СКП:

$$\sum E_{ext-in} = \sum_{i=1}^n \Delta E_{a,i}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

$$\sum E_{\ell-env} = \sum_j^m \Delta E_{a,j}, \text{ Вт}, \quad (4)$$

де $\Delta E_{a,i}$ та $\Delta E_{a,j}$ – витрачена ексергія, кВт, повітря, відповідно, в n елементах СКП перед приміщенням та m елементах після нього.

Ефективність використання підведеної зовні ексергії характеризується ЕККД «брутто» і визначається із залежності:

$$\eta_E^{brt} = \frac{\Delta E_{wz}}{\sum_{i=1}^n E_i}, \quad (5)$$

де E_i – підведена централізовано ексергія до i -го елемента від зовнішніх джерел, кВт.

У даній роботі розглянуто СКП для обслуговування приміщення арбітражного зберігання зразків фармацевтичної промисловості. За технічними умовами в приміщенні потрібно підтримувати цілодобово відносну вологість повітря в діапазоні $\phi = 10..30\%$ та температуру повітря $t = 20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ протягом усього терміну зберігання.

Продуктивність СКП $L = 13695 \text{ м}^3/\text{год}$, що забезпечує вимоги до повітрообміну для класу чистоти D ($GMP EU$) – кратність повітрообміну 20 год^{-1} .

При виборі схемного рішення СКП було проведено попередній порівняльний ексергетич-

ний аналіз двох різних схем обробки повітря з різними способами осушення – традиційним конденсаційним та комбінованим конденсаційно-адсорбційним [11]. Порівнювалися сумарні витрати ексергії за даними термодинамічних потенціалів процесів обробки повітря в системах за $I-d$ -діаграмою.

За результатами аналізу надано перевагу конденсаційно-адсорбційному способу (рис. 1), який споживає на 9,2 % менше ексергії теплоти, що йде на другий підігрів, за умови використання теплоти від конденсатора холодильної машини.

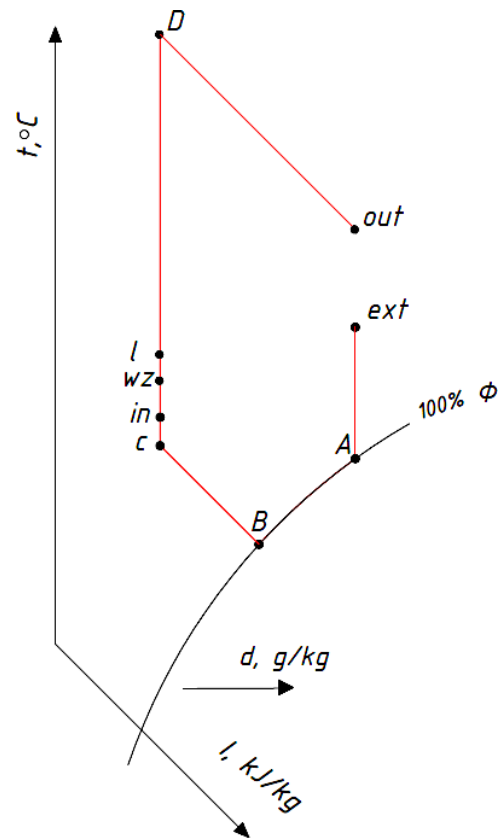


Рис.1. Процес обробки повітря в СКП в теплий період року:

ext-A – «сухе» охолодження в поверхневому повітроохолоджувачі; *A-B* – охолодження з частковим осушенням у поверхневому повітроохолоджувачі; *B-C* – адсорбційне осушення в адсорбері 9; *C-in* – підігрів у вентиляторі; *in-wz-ℓ* – процес у приміщенні; *ℓ-D* – нагрівання відпрацьованого повітря в нагрівачі повітря до температури десорбції $t_D = 60^\circ\text{C}$; *D-E* – процес десорбції в адсорбері

Для зручного й коректного визначення корисної та витраченої ексергії в СКП (рис. 2) складено й використано діаграму ексергетичних потоків складових ексергії вологого повітря, що на рис. 3 [10]. Параметри повітря відповідають табл. 1.

На діаграмі (рис. 3) зображено зміну ексергетичних потенціалів основних складових ексергії вологого повітря – термічної, воло-

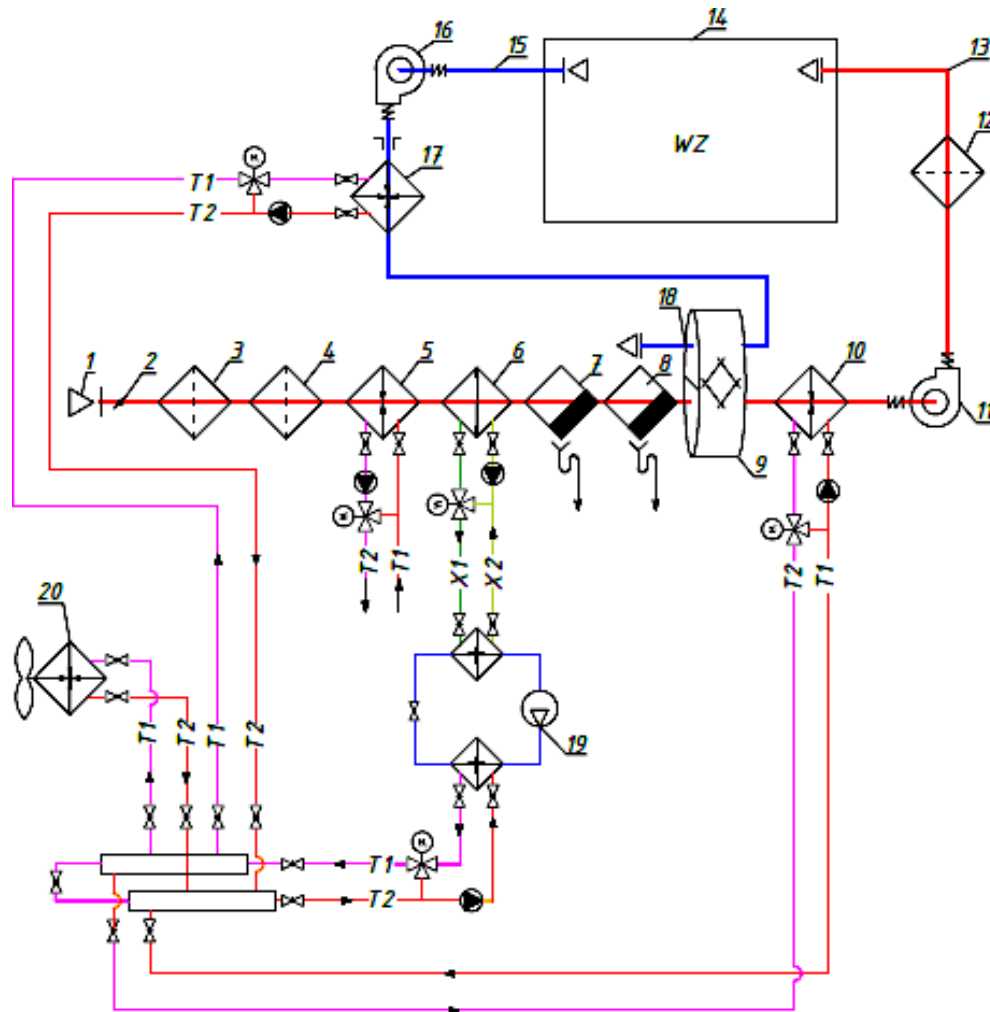


Рис.2. Функціональна схема СКП:

1 – повітрязабірна решітка; 2 – регулювальний пристрій; 3 – фільтр G4; 4 – фільтр F5; 5 – нагрівач повітря (холодний період); 6 – охолоджувач повітря; 7 – охолоджувач повітря (режим конденсації); 8 – сепаратор краплин води; 9 – адсорбер (режим осушення); 10 – нагрівач повітря; 11 – вентилятор; 12 – фільтр F9; 13 – ділянка припливних повітропроводів; 14 – приміщення, що обслуговується СКП; 15 – ділянка витяжних повітропроводів; 16 – вентилятор; 17 – нагрівач повітря; 18 – адсорбер (режим десорбції); 19 – холодильна машина; 20 – теплообмінник

Таблиця 1

Параметри повітря в процесі обробки

Позначення характерної точки процесу	Температура, t , °C	Ентальпія, I , кДж/кг	Відносна вологість, φ %	Вологовміст, d , г/кг
ext	30,0	62,3	45	12,5
A	17,6	49,4	95	12,5
B	13,3	37,3	95	9,4
C	21,9	37,3	35	6,0
in	23,0	38,5	32	6,0
wz	24,0	39,5	30	6,0
l	25,0	40,5	29	6,0
D	60,0	76,3	5	6,0
out	43,6	76,3	21	12,5

гісної та механічної – в процесі його обробки в елементах СКП від повітрязабірної решітки до викиду відпрацьованого повітря назовні.

На діаграмі (рис. 3) зображено зміну ексергетичних потенціалів основних складових ексергії вологого повітря – термічної, вологісної та механічної – у процесі його обробки в елементах СКП від повітрязабірної решітки до викиду відпрацьованого повітря назовні. Питомі значення вказаних складових ексергії визначалися за відомими формулами для вологого повітря [2].

З діаграми (рис. 3) видно, що найбільше значення термічної складової ексергії спостерігається в елементі № 17 (повітрянагрівач регенерації адсорбенту), яка характеризується відповідним піком кривої.

Як видно з рис. 2, живлення підігрівача здійснюється теплоносієм від конденсатора холодильної машини (поз. 19).

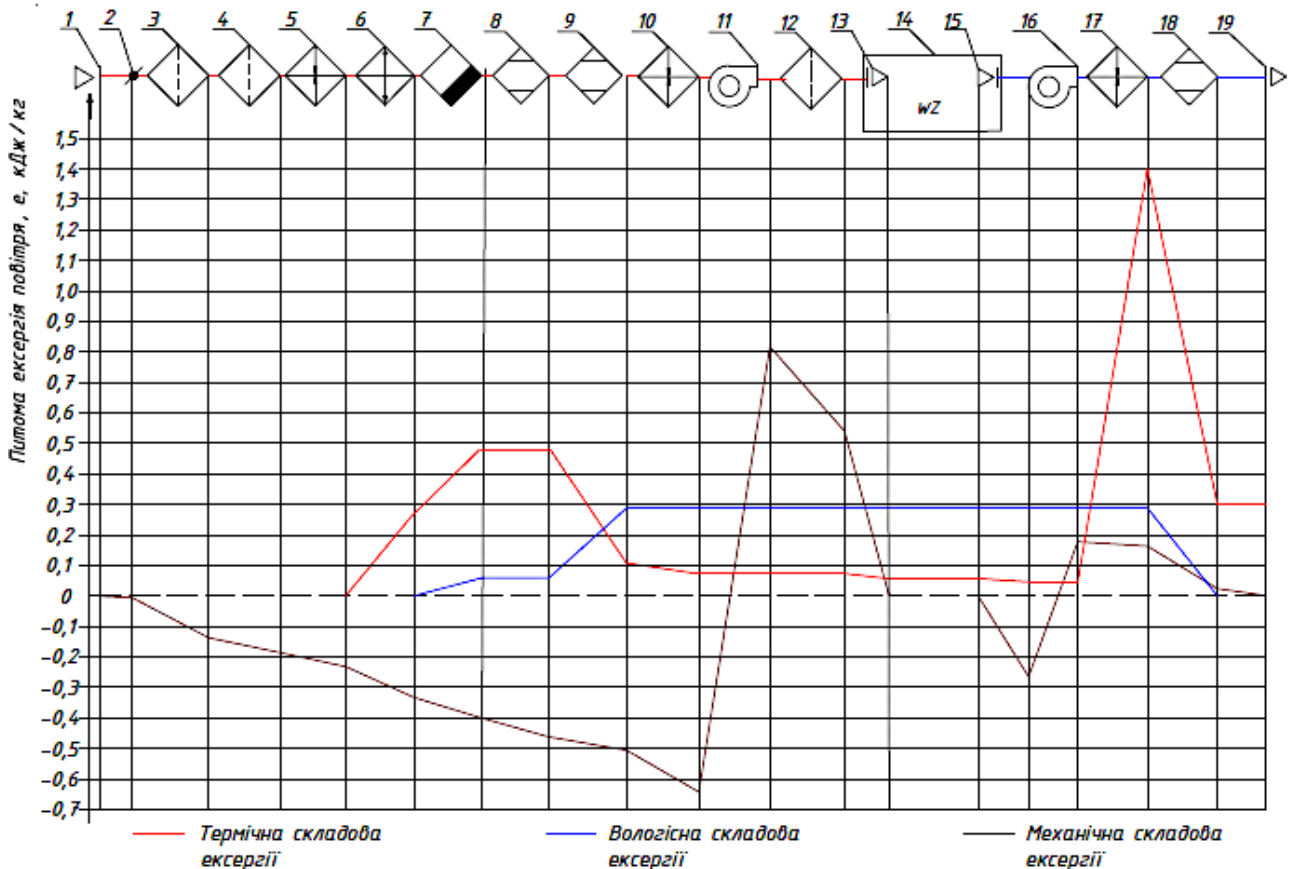


Рис.3. Діаграма ексергетичних потоків вологого повітря в СКП з конденсаційно-адсорбційним осушенням повітря: 1 – повітрязабірна решітка; 2 – дросель-кран з приводом; 3 – фільтр G4; 4 – фільтр F5; 5 – повітрянагрівач (холодний період); 6 – повітряохолоджувач; 7 – повітряохолоджувач (режим конденсації); 8 – каплевідокремлювач; 9 – сорбційний осушувач (режим осушення); 10 – повітрянагрівач; 11 – припливний вентилятор; 12 – фільтр F9; 13 – припливні повітропроводи; 14 – приміщення арбітражного зберігання; 15 – витяжні повітропроводи; 16 – витяжний вентилятор; 17 – повітрянагрівач; 18 – сорбційний осушувач (режим регенерації); 19 – видалення повітря назовні

Це обумовлює величину термічної складової, кДж/кг, на цій ділянці. На рис. 1 процес позначено лінією $l-D$.

Після нагрівача термічна складова ексергії різко зменшується (процес $D-out$). Це відповідає ізоентальпійному процесу охолодження повітря при десорбції з віддачею теплоти повітря на випаровування вологи з адсорбенту.

Значне збільшення термічної складової спостерігається на ділянках 6 (сухе охолодження, процес $ext-A$ на $I-d$ -діаграмі) та 7 (охолодження з випадінням конденсату, процес $A-B$ на $I-d$ -діаграмі), де розташовано поверхневий повітряохолоджувач. Адіабатне осушення повітря в адсорбері 9 (процес $B-C$ на $I-d$ -діаграмі) супроводжується зменшенням питомої ексергії термічної складової до параметрів температури припливного повітря.

Вологісна складова ексергії починає проявляти себе з початку процесу конденсації вологи з повітря на поверхні повітряохолоджувача 7 (процес $A-B$ на $I-d$ -діаграмі) і приймає найбільше значення після закінчення

процесу осушення повітря в адсорбері 9, (процес $B-C$ на $I-d$ -діаграмі).

Отримане значення ексергетичного потенціалу вологісної складової відповідає необхідному вологовмісту в припливному повітрі – 6,6 г/кг. Далі воно не змінюється при повітрообміні в приміщенні ($\epsilon = +\infty$). Наприкінці мережі після адсорбера (процес десорбції $D-out$ на $I-d$ -діаграмі) вологісна складова ексергії у результаті насичення повітря вологою до значень зовнішнього вологовмісту набуває нульового значення. Слід зазначити, що вказаний процес обробки повітря достатньо коректно обґрунтований теоретично, але потребує експериментального уточнення.

Механічна складова ексергії, повітря змінюється в системі з початку мережі по ходу повітря із збільшенням гідравлічних втрат відповідно до епюри надлишкових тисків системи. У приміщенні вона дорівнює нулю (атмосферний тиск повітря), а найбільші значення вона набуває перед та після нагнітачів.

Діаграма ексергетичних потоків надає можливість отримати значення перетворень ексергетичних потенціалів повітря, визначити ділянки в системі з найбільшими витратами та обчислити вищевказані значення ексергетичної ефективності за формулами (2) і (5).

Було проведено (табл. 2) розрахунки ЕККД за даними робочих креслень за формулами (2), (3), (4) та (5). З розрахунків видно, що використання теплоти конденсації холодильної машини СКП для регенерації адсорбенту збільшує ЕККД «брутто» майже вдвічі порівняно з централізованим теплопостачанням. Аналіз результатів наведених ексергетичних розрахунків показує доцільність застосування в СКП комбінованого способу осушення повітря з використанням теплоти конденсації холодильних машин для регенерації адсорбенту. Витрати підведеної ексергії теплоти на здійснення процесів обробки повітря за даного способу вдвічі менші ніж при централізованому теплопостачанні.

Висновки. Обґрунтована можливість послідовного чисельного визначення та коректного порівняльного аналізу схемних рішень та варіантів енергопостачання СКП із застосуванням методів ексергетичного аналізу. Використання потокових діаграм ексергії повітря та оцінки енергоощадності за безрозмірними

критеріями на етапі прийняття проектних рішень на різних стадіях дозволяє оцінити енергетичні витрати та скоригувати рішення задля їхнього заощадження. Застосування комбінованого конденсаційно-адсорбційного способу осушення повітря з використанням теплоти конденсації холодильних машин в СКП суттєво скорочує енерговитрати на здійснення процесів обробки повітря.

Ексергетичний аналіз з використанням потокових діаграм складових ексергії повітря та оцінкою енергоощадності процесів обробки повітря в СКП за безрозмірними показниками ЕККД «нетто» та «брутто» на прикладі дослідження СКП з комбінованим способом осушення повітря підтверджує перспективність його запровадження. Він може бути застосований із вказаною метою при проектуванні СКП на різних стадіях проектування. У результаті застосування вказаного методу оцінки енергоощадності СКП стає можливим значне заощадження енерговитрат на обробку повітря.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому результати даної роботи планується використати для експериментальних досліджень та провести аналіз ексергетичної вартості з урахуванням тарифів на різні види енергоносіїв.

Таблиця 2

Результати розрахунків ЕККД

Найменування СКП	Δe_{wz} , кДж/кг	$\sum E_{ext-in}$, кВт	$\sum E_{\ell-ext}$, кВт	$\sum E_i$, кВт	η_E^{net} , %	η_E^{brt} , %
СКП з конденсаційно-адсорбційним осушенням повітря та регенерацією від централізованих джерел теплопостачання	0,352	8,421	3,867	52,234	2,863	0,673
СКП з конденсаційно-адсорбційним осушенням повітря та регенерацією теплою від конденсаторів холодильної установки	0,352	8,421	3,867	28,839	2,863	1,220

Література

- ДБН В.1.2-11-2008. «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд економія енергії». – Чинні від 01 10 2008. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008 – V, 14 с.
- Бродянский В. М. Эксергетические расчеты технических систем: справ. пособие / В. М. Бродянский, Г. П. Верхивкер, С. В. Дубовской и др.; под ред. А. А. Долинского, В. М. Бродянского. – Київ: Наук. Думка, 1991. – 360 с.
- Задоянний О. В. Види ексергії в системах кондиціонування повітря та їх визначення / О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2016. – Вип. 19. – С. 3-15.
- Задоянний О. В. Порівняльний ексергетичний аналіз пристроїв із створення мікроклімату офісних приміщень / О. В. Задоянний, О. О. Товстограй // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2019. – Вип. 28. – С. 17-27.
- Задоянний О. В. Ексергетичні критерії при оцінці енергоощадності систем кондиціонування повітря будівель і споруд / О. В. Задоянний // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2014. – Вип. 17. – С. 3-18.

6. Лабай В. Й. Стан і перспективи підвищення енергоефективності систем кондиціонування повітря чистих приміщень / В. Й. Лабай, Д. І. Гарасим // Енергоефективність в будівництві та архітектурі: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва та архітектури. – 2014. – Вип. 6. – с. 161-166.
7. Лабай В. Й. Діаграма Грассмана в ексергетичному аналізі систем кондиціонування повітря чистих приміщень / В. Й. Лабай, Д. І. Гарасим // Холодильна техніка і технологія. – 2014. – № 5 (151). – с. 17-22.
<https://doi.org/10.15673/0453-8307.5/2014.28691>
8. Luigi Marletta. Air Conditioning Systems from a 2-nd Law Perspective / Luigi Marletta // Entropy. – 2010. – Vol. 12. – Iss. 4. – P. 859-877. <https://doi.org/10.3390/e12040859>
9. Ratlamwala T. A. H. Efficiency assessment of key psychometric processes / T.A.H. Ratlamwala, I. Dincer // International Journal of Refrigeration. – 2013. – Vol. 36. – Iss. 3. – P. 1142-1153.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.10.038>
10. Задоянний О. В. Діаграма потоків ексергії вологого повітря для систем кондиціонування повітря / О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва та архітектури. – 2015. – Вип. 18. – с. 3-15.
11. Задоянний О. В. Порівняльна ексергетична оцінка прямої системи кондиціонування повітря з конденсаційним та комбінованим осушенням повітря / О. В. Задоянний, Ю. М. Євдокименко // Енергоефективність в будівництві та архітектурі: наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва та архітектури. – 2014. – Вип. 6. – С. 91-94.

References

1. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnikh ob'ektiv. Osnovni vymohy do budivel i sporud ekonomiiia enerhii.* DBN V.1.2-11-2008. Minbud Ukrainy, 2008.
2. Brodyanskiy V. M., Verhivker G. P., Karchev Ya. Ya. i dr. *Eksergeticheskie raschety tehnikeskikh sistem.* Naukova Dumka, 1991.
3. Zadoiannyi O. V., Yevdokymenko Yu. M. “Vydy ekserhii v systemakh kondytsionuvannia povitria ta yikh vyznachennia.” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 19, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016, pp. 3-15.
4. Zadoiannyi O. V., Tovstohrai O. O. “Porivnialnyi ekserhetychnyi analiz prystroiv iz stvorennia mikroklimatu ofisnykh prymishchen.” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 28, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2019, pp. 17-27.
<https://doi.org/10.32347/2409-2606.2019.28.17-27>
5. Zadoiannyi O. V. “Ekserhetychni kryterii pry otsyntsi enerhooshchadnosti system kondytsionuvannia povitria budivel i sporud.” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 17, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2014, pp. 3-18.
6. Labai V. Y., Harasym D. I. “Stan i perspektyvy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti system kondytsionuvannia povitria chystykh prymishchen.” *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 6, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2014, pp. 161-166.
7. Labai V. Y., Harasym D. I. “Diahrama Hrassmana v ekserhetychnomu analizi system kondytsionuvannia povitria chystykh prymishchen.” *Kholodylna tekhnika i tekhnolohiia*. № 5 (151). 2014. pp. 17-22.
<https://doi.org/10.15673/0453-8307.5/2014.28691>
8. Luigi Marletta. “Air Conditioning Systems from a 2-nd Law Perspective.” *Entropy*. 2010. Vol. 12. Iss. 4. P. 859-877. <https://doi.org/10.3390/e12040859>
9. Ratlamwala T. A. H., Dincer I. “Efficiency assessment of key psychometric processes.” *International Journal of Refrigeration*. 2013. Vol. 36. Iss. 3. P. 1142-1153. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.10.038>
10. Zadoiannyi O. V., Yevdokymenko Yu. M. “Diahrama potokiv ekserhii volohoho povitria dlia system kondytsionuvannia povitria.” *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 18, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2015, pp. 3-15.
11. Zadoiannyi O. V., Yevdokymenko Yu. M. “Porivnialna ekserhetychna otsinka priamotochnoi systemy kondytsionuvannia povitria z kondensatsiinym ta kombinovanyim osushenniam povitria.” *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, Iss. 6, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2014, pp. 91-94.

УДК 697.94

Эксергетическая эффективность системы кондиционирования воздуха с адсорбционной осушкой и регенерацией адсорбента теплотой конденсации для помещений арбитражного хранения лекарств

А. В. Задоянный¹, Ю. Н. Евдокименко²

¹к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, zadoiannyi.ov@knuba.edu.ua, ORCID:0000-0001-6781-9756

²асп. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, bonnesante91@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1154-5108.

Аннотация. Инженерные системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений являются существенными потребителями электрической и тепловой энергии различного температурного уровня. Среди них системы кондиционирования воздуха различного назначения по показателю энергопотребления являются наиболее энергозатратными. При их проектировании не всегда уделяется должное внимание оценке степени их энергоэффективности и не проводится вариантное проектирование сравнением соответствующих показателей. Эксергетический метод анализа технических систем обеспечивает корректную численную оценку энергоэффективности и возможность сравнительного анализа схемных решений на разных стадиях. Однако, для его применения недостаточно корректных инженерных методик. В данной статье приведён пример эксергетического анализа при проектировании системы кондиционирования воздуха для фармацевтического производства с целью выбора лучшего по показателям энергоэффективности источника теплоты для регенерации адсорбента. Результаты аналитических исследований представлены в виде относительных значений эксергетической эффективности и удельных значений эксергии воздуха при его обработке, которые удобны для корректного сравнения и последующего анализа. В статье показано, как с помощью эксергетической потоковой диаграммы составляющих эксергии влажного воздуха определены деструкция эксергии и наиболее энергоёмкие процессы в системе. Последовательный численный эксергетический анализ является действенным и полезным инструментом для определения показателей экономии энергии кондиционирования воздуха при проектировании.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха; адсорбционная система; фармацевтическое производство; эксергетический анализ; десорбция; теплота конденсаторов холодильных машин.

UDC 697.94

Exergy efficiency of the air-conditioning system with adsorption drying and regeneration of the adsorbent by heat of condensation for the premises of arbitration storage of drugs

O. Zadoiannyi¹, Y. Yevdokymenko²

¹PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, zadoiannyi.ov@knuba.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6781-9756.

²Post-graduate student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, bonnesante91@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1154-5108.

Abstract. Engineering systems of microclimate provision in buildings and structures are significant consumers of electrical and heat energy at different temperature levels. Among them, air conditioning systems for various purposes in terms of energy consumption are the most energy-intensive. When developing them, the enough attention is not always paid to assessing the degree of their energy efficiency, and variant design is carried out by comparing the non-relevant indicators. The exergy method of analysis for technical systems provides the correct numerical assessment of energy efficiency and the possibility of a comparative analysis of circuit solutions at different stages. The existing engineering methods are not enough for this application. Adsorption is more energy efficient method for dehumidifying than condensation with re-heating, especially using the secondary energy source – heat of a condenser of a chiller. This article provides an example of an exergy analysis when developing an air conditioning system for pharmaceutical production in order to select the best heat source in terms of energy efficiency for adsorbent regeneration. The results of analytical studies are presented in the form of relative values of exergy efficiency and specific values of air exergy during its processing, which are convenient for proper comparison and subsequent analysis. The article shows how exergetic destruction and the most energy-intensive processes in the system are determined using an exergetic flow diagram of exergetic components of moist air. Sequential numerical exergy analysis is an effective and useful tool for determining energy-efficiency indicators of air conditioning systems in their design. The method allows significant decrease of energy consumption in air treatment of air conditioning in buildings.

Keywords: air conditioning; adsorption system; pharmaceutical manufacturing; exergy analysis; desorption; heat of the condensers of chillers.

Надійшла до редакції / Received 02.03.2020.

УДК 745/749:628.9

Концепція міждисциплінарного дослідження естетичного, психологічного і фізіологічного впливу хроматичного світлового середовища на людину

Л. М. Коваль¹

¹канд. мистецтвознавства, доц., докторант. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, likocolor@gmail.com. ORCID:0000-0002-7324-0377

Анотація. У статті запропоновано й теоретично обґрунтовано концепцію міждисциплінарного дослідження естетичного, психологічного та фізіологічного впливу хроматичного світлового середовища на людину. Також визначено, що основними умовами практичного втілення цієї концепції є забезпечення комплексного впливу хроматичного освітлення на користувача як через органи зору, так і через шкіру, в межах середовища для проведення дослідження; організація хроматичного світлового середовища – цілісного, безперервного і позбавленого будь-яких додаткових семантичних нашарувань; усунення можливих проявів блискавості та засліплення користувача шляхом використання для дослідження простору, який складається з внутрішніх поверхонь із рівномірно розсіяним освітленням помірної яскравості; проведення одночасного комплексного аналізу естетичного, психологічного й фізіологічного впливу кольорового світла на користувача в середовищі його перебування. У майбутньому при продовженні дослідження в даному напрямку доцільно виявити та проаналізувати основні показники комфортності світлового середовища для користувача з метою визначення шляхів підвищення його енергоефективності без втрат якості освітлення.

Ключові слова: хроматичне світлове середовище, світлолікування, фототерапія, електричні світлові ванни.

Вступ. На сьогодні світловий режим вважається одним із потужних факторів, здатних викликати функціональні перебудови в організмі людини і, зокрема, в обміні речовин. Відомо, що зміна світлового режиму змінює реактивність усієї вегетативної системи організму [1]. Однак, повне науково-обґрунтоване уявлення про комплексний вплив світлового середовища на людину ще не сформовано. Відкриття гангліозних клітин (ipRGC) і механізму їх функціонування викликало поширення досліджень циркадного регулювання [2], а також актуалізувало потребу визначення детальних рекомендацій щодо можливого використання світлового впливу на побутовому рівні для покращення здоров'я та самопочуття людини.

Для об'єднання міждисциплінарних спільнот у дослідженнях з цього напрямку у 2004 та 2006 роках Міжнародною комісією з освітлення (CIE) [3] було проведено експертні симпозиуми, а в 2007 та 2011 роках скликано семінари на чотирирічних сесіях. У результаті, визначено питання, які потребують відповідей у найближчому майбутньому [2]:

- яка схема повсякденного чергування світла та темряви (щодо інтенсивності, спектру, часу, тривалості) найкраще підтримує як циркадне регулювання, так і активне функціонування індивіда (наприклад, пильність, емоції, соціальна поведінка);
- як змінюється ця схема протягом усього

життя – від дитинства до похилого віку;

- на які фізіологічні та психологічні процеси, окрім циркадного регулювання, впливає сприйняття світла оком;
- чи існують додаткові поведінкові або фізіологічні ефекти від поглинання оптичного випромінювання видимого діапазону різними системами людського організму, а не лише оком?

Пошуки відповідей на ці питання важливі для досягнення балансу між якістю штучного світлового середовища життєдіяльності людини та його енергоефективністю [2]. На сьогодні серед усіх штучних джерел світла світлодіоди вважаються найбільш енергоефективними [4], що стало причиною стрімкого поширення їх в освітлювальних системах різного призначення. Враховуючи це, на думку Кіри Ксавія (Куга Хавія), для сучасної галузі освітлення «необхідною є зміна парадигми у використанні світла, оскільки воно має такий же потужний вплив на організм людини, як і лікарські засоби [5]».

Також сучасні дослідники дизайну освітлення вважають, що використання принципово нового типу джерел світла – світлодіодів – стало важливою поворотною точкою еволюції галузі штучного освітлення [6]. Водночас, широке застосування світлодіодів зробило реальністю зорові переважанні кольоровими ефектами через непрофесійне використання хроматичного червоно-зелено-синього (RGB) світла [7].

Актуальність дослідження. Оскільки організація гармонійного середовища життєдіяльності людини є одним з основних напрямків роботи дизайнера, професійні підходи саме цієї проектної практики можуть стати основою для формування загальної концепції міждисциплінарного дослідження комплексного впливу хроматичного світлового середовища на людину.

Останні дослідження та публікації. Як зазначає Г. В. Казаков, активна робота в напрямку вдосконалення взаємодії «людського фактору», світла й архітектурного середовища розпочата у 80-х роках ХХ ст. і триває до сьогодні. Це створює умови переходу від психофізіологічної до емоційно-естетичної оцінки умов освітлення та комплексного поєднання обох цих підходів [8]. Відомий представник абстракціонізму в живописі В. В. Кандинський наголошував, що «фарби таять у собі мало досліджену, але величезну силу, яка може впливати на все тіло, на весь фізичний організм людини [9]».

Ці дві думки демонструють узгодженість серед дослідників світла й кольору в межах різних наукових напрямків з приводу одночасної психофізіологічної та естетичної дії хроматичного середовища на людину за посередництва емоційного сприйняття навколишньої реальності. Тому в даній статті розглянуто широку джерельну базу медичного характеру щодо фізіологічної та психологічної дії випромінювання візуального діапазону в контексті його впливу на емоційний стан і естетичне сприйняття людини.

Окрім сучасних праць, які містять дослідження властивостей кольорового світла, опрацьовано значну кількість стародруків. Завдяки цьому сформовано хронологію ключових моментів розвитку наукових досліджень впливу випромінювання оптичного діапазону на живі організми і людину.

Людство здавна використовує для лікування хвороб різні фізичні сили природи: повітря, воду, світло, тепло і т. д. Цей напрямок називається фізіотерапією. Сонячне світло застосовувалося для лікування (геліотерапія) ще в стародавньому Єгипті [10]. Пізніше, грецькі, римські й арабські лікарі використовували його в загальній медичній практиці, хоча наукове обґрунтування світлового впливу на той час було відсутнє [11].

З появою електричних джерел штучного світла активізувався такий напрям фізіотерапії, як фототерапія [12]. Наукові дослідження впливу світла на живі організми також почалися з розвитком електротехніки, оскільки з'явилася можливість дозувати й точно вимірювати

світлову енергію [13]. Розглянемо основні історичні моменти розвитку даного напрямку.

У 1666 р. І. Ньютон відкрив просторове розкладання сонячного світла на прості кольори завдяки пропусканню його пучка крізь скляну призму. Зображення, яке з'являлося на екрані, Ньютон назвав спектром [14].

У 1771 р. Пристлей виявив, що рослини поглинають CO_2 з повітря. У 1779 р. – І. Гоуз довів, що це поглинання відбувається лише при денному світлі.

У 1815 р. Лебель влаштовує першу сонячну ванну, яка стала прототипом шаф для світлового лікування.

1824 р. ознаменовано початком вивчення дії сонячного світла на організм тварин.

У 1858 р. з'явилися роботи щодо кольорового світла, отриманого пропусканням звичайного світла крізь кольорове скло, забарвлені розчини або розкладанням за допомогою призми. Експериментальні умови в різних дослідників не були синхронізованими і дали суперечливі результати, переважно, з таких причин:

- не монохроматичні, а змішані тони світла після проходження через скло;
- не стандартизована товщина скла;
- не фіксовані сила світла й освітленість об'єктів дослідження [13].

Тому достовірно специфічну дію окремих кольорів спектра встановлено не було [15].

У 1853 р. Г. Г. Грассман (H. G. Grassmann), на основі експериментальних досліджень, вивів три закони оптичного або адитивного (додаванням) змішування кольорів – оптичного відчуття, яке утворюється від злиття в білі декількох монохроматичних світлових потоків [14].

У 1876 р. – Понц (Poncz) уперше застосував кольорове світло для лікування душевно хворих [16]. У 1891 р. розпочато застосування в терапії світла окремих кольорів (хромотерапія), здебільшого червоного й синього. Прикладом є рефлектор А. В. Мініна з синьою лампою [17].

У 1893 р. Б. Фрідлендер (B. Friedländer) запропонував замість сонячного світла використовувати з терапевтичною (лікувальною) метою електричне світло [18] вольтової дуги, яке містило значну кількість ультрафіолетових променів [15].

У 1894 р. американським лікарем Ж. Н. Келлогом (J. H. Kellogg) у медицину введені світлові електричні ванни з лампами розжарювання (рис. 1). Потім хімік К. А. В. Гібгардт (K. A. W. Gebhardt) заснував у Берліні перший світлолікувальний заклад [18].

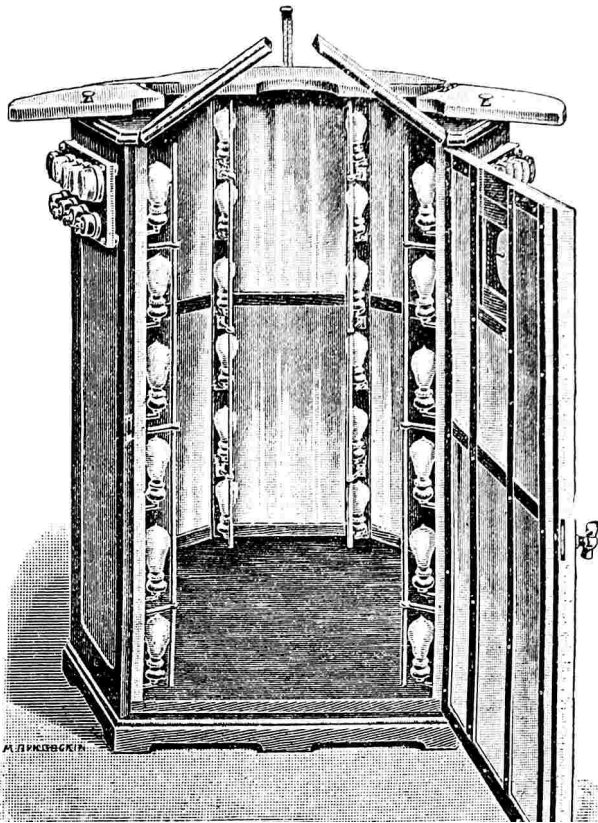


Рис. 1. Світлова електрична ванна або ящик Келлога [38]

Терапевтична дія зазначених електричних ванн полягала у впливі на потовиділення [17] через значне інфрачервоне (88...90 % [19]) випромінювання ламп розжарювання [15].

У 1895 р. – Лахман (Lahmann) і Цігельрот (Ziegelroth) звернули увагу на можливість світлового лікування поверхневих бактеріальних інфекцій. Однак, потужності застосовуваного ними світла вольтової дуги, яке направлялося шляхом відбиття, було недостатньо для лікувального ефекту [15].

У 1895 р. на базі дослідження Г. Бахнера (H. Buchner) та Гейслера щодо бактерицидної дії сонячного світла Н. Р. Фінсен (N. R. Finsen) використовував для опромінення хворої шкіри концентроване світло: сонячне або електричне вольтової дуги (багате на ультрафіолетове випромінювання). За допомогою спеціального обладнання (рис. 2) він вилучав через поглинання інфрачервоні теплові промені і концентрував ультрафіолетові [15].

У 1896 р. в Копенгагені на приватні пожертвування було засновано публічний науковий інститут «Медичний світлолікувальний інститут Фінсена», який мав два відділення: науково-експериментальне та практичне.

У дослідженнях, виконаних у цьому інституті, автори прийшли до наступних висновків:

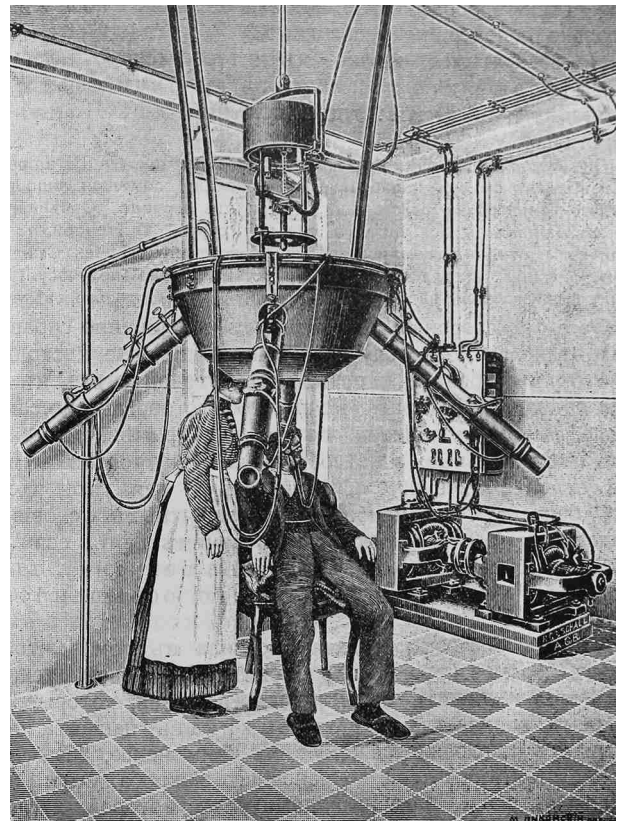


Рис. 2. Фінзенівський апарат для лікування «холодним» світлом [38]

- усі частини спектра затримують розвиток бактерій;
- дія окремих частин спектра на затримку росту і знищення бактерій зростає помірно до фіолетових променів, а починаючи з них – зростає різко;
- найсильніший вплив мають фіолетові й ультрафіолетові промені.

Н. Р. Фінсен був представлений до Стокгольмської Нобелівської премії в галузі наукової медицини [18, 20, 21].

У 1900 р. В. В. Филипович вивчав пропускну здатність кольорових середовищ. Він використовував анілінові фарби, нанесені на скляну пластинку, ситець, різнокольорові скло й папір. Він прийшов до висновку, що для ультрафіолетового випромінювання сонця зелений колір є найбільш непроникним, а синій – найбільш проникним [22].

У 1904 р. у світлолікувальному кабінеті клініки В. М. Бехтерева в межах свого дисертаційного дослідження А. П. Розен створив і випробував першу (і на той час єдину) світлову ванну загальної дії. Використано світло ламп розжарювання з вилученими поглинанням тепловими променями. Таким чином, застосовувалося світло переважно видимого діапазону [13].

У 40-ві рр. XX ст. С. Краков встановив, що

червоне світло стимулює симпатичний відділ вегетативної нервової системи, а синє світло – парасимпатичний. Пізніше, Р. Джерард виявив феномен підвищення артеріального тиску під дією червоного світла і його зниження під дією синього [23].

У 1960 р. Т. Майманом продемонстровано перший лазер (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, що в перекладі означає: посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання) [24, 25]. Лазерне випромінювання відрізняється від природного світла важливими характеристиками, серед яких:

- монохроматичність;
- високий рівень когерентності (високий рівень упорядкованості світлового поля) [24];
- паралельність світлового пучка;
- висока інтенсивність [25].

На сьогодні лазер активно застосовується в різноманітних галузях, зокрема, у медицині [26].

У 80-ті рр. ХХ ст. у фізіотерапії з'явилися фототерапевтичні апарати, переважно лазери, які випромінювали поляризоване світло у вузькому хвильовому діапазоні. Подальший розвиток цього напрямку привів до створення пристроїв, які генерують поляризоване некогерентне та низькоенергетичне світло видимого й інфрачервоного діапазону (наприклад, БЮ-ПТРОН з лінійно-поляризованим світлом) [27].

У 1983 р. з використанням сучасної виміральної техніки Ріманн оновив дані щодо абсорбційних властивостей і характеристик світлопроникності крові та її складових частин. Вони підтвердили матеріали Шуберта і Коллата-Зурманна. Ці результати вплинули на розвиток і виробництво нових приладів для опромінення крові. Наприклад, для лікування дітей, уражених жовтяницею (гіпербілірубінемією), було розроблено спеціальні прилади і методики. За основу взято те [28], що видиме (блакитне) світло впливає на шкіру новонароджених і перетворює білірубін плазми з токсичної в нетоксичну форму [27].

На сьогодні дослідження специфіки психофізіологічного впливу й використання світла людиною продовжується як закордоном, так і в Україні в межах різноманітних наукових напрямків. Сучасні роботи характеризуються більшою зосередженістю на видимій частині оптичного діапазону електромагнітного випромінювання, порівняно з дослідженнями кінця ХІХ – першої половини ХХ століття, увага в яких концентрувалася переважно на властивостях ультрафіолетової й інфрачервоної ча-

стин спектру. Для даної статті серед таких робіт найбільш важливими є ті, що стосуються хроматичного світлового випромінювання.

Так, О. П. Мельниченко встановив, що використання опромінення інкубаційного яйця (курячого та перепелиного) монохроматичним червоним світлом (довжина хвилі $\lambda=630$ нм, інтенсивність $I=0,01$ мВт/см²) протягом 180 с на початку терміну зберігання дозволяє прискорити темпи раннього ембріонального розвитку птаці, знизити ембріональну смертність і підвищити виводимість молодняку [29]. Для лікування усіх видів амбліопії Л. В. Венгер рекомендує метод фотостимуляції центральної зони сітківки низькоенергетичним монохроматичним імпульсним світлом при оптимальному режимі світлового впливу в жовтій частині спектра ($\lambda=550...580$ нм) [30].

О. Г. Селезньов розробив метод латерально-стрессового кольоропрограмування на основі засвічування сітківки очей (червоно-фіолетовим або помаранчево-фіолетовим світлом з частотою мерехтіння 10 Гц). Його пропонується застосовувати в наркологічних диспансерах для лікування хворих із І–ІІ стадіями хронічного алкоголізму без явних ознак алкогольної деградації особистості [31].

Ю. О. Васильєва створила нову конструкцію освітлювача волоконних ендоскопів зі світлодіодами. Вона дозволяє істотно підвищити ефективність використання ендоскопів при дослідженні й лікуванні органів вуха-горла-носа [32]. І. В. Прокопенко виявив, що лімфоцити периферичної крові здорових донорів виявляють спектрально-залежну чутливість до когерентного і некогерентного світла [33].

В. В. Пантьо зі співавторами встановлено, що світлодіодне випромінювання червоно-інфрачервоного та синьо-інфрачервоного діапазонів, яке генерують апарати Medolight, може використовуватися для комплексної терапії поверхневих гнійно-запальних процесів, зумовлених *Staphylococcus aureus* [34]. А. Л. Косаковський зі співавторами виявили, що використання як червоного монохроматичного, так і синього монохроматичного світла в комбінації з інфрачервоним випромінюванням при лікуванні пацієнтів з гострими вірусними та бактеріальними захворюваннями вуха, горла та носа пришвидшує зменшення симптомів захворювання і покращує функції ЛОР-органів [35].

С. А. Гуляр характеризує ефективне застосування поляризованого поліхроматичного світла із ближнім інфрачервоним компонентом ($\lambda=480...3400$ нм) у хірургії [36]. Наведено

позитивні результати клінічних досліджень можливості зменшення больового, запального, набрякового, алергійного та інших синдромів.

Окрім наукових праць досить поширеними є філософські роботи метафізичного характеру, наприклад [37]. У них досліджуються різні аспекти взаємодії світла і людської свідомості.

Залежність людської діяльності та людського життя від світла стає помітною з його впливу на психологічний стан людини. Як правило, яскраві сонячні дні супроводжуються підвищенням працездатності, енергійності і життєрадісності, похмурі ж – емоційно пригнічують [15].

Так, Ф. Ніцше у листах до своєї сестри, говорив: «При похмурому небі я в буквальному сенсі інша людина: я жовчний, злий на себе, а іноді і на інших» [38]. Н. Тесла у своїй автобіографії зазначав, що більшість людей «відчують раптову хвилю смутку й ламають собі голову над поясненням, хоч могли б зауважити, що це спричинила хмара, яка затулила собою сонце» [39]. У багатій на сонячні дні Італії, взагалі, існує приказка «Dove va il sole, non va il medico» – куди доходить сонце, туди не приходять лікарі [17].

Усі ці приклади, однак, стосуються природного освітлення, яке, як відомо, значно відрізняється за спектральним складом від штучних джерел світла. Тому, якщо узагальнити історію застосування штучного світла з метою лікування, то можна констатувати використання в медичному світловому обладнанні джерел з електромагнітним випромінюванням переважно одного з основних проміжків оптичного діапазону:

- інфрачервоного,
- ультрафіолетового,
- видимого.

Хоча кожен з цих проміжків має декілька напрямків фізіологічного впливу, але їх можна охарактеризувати за основною дією на організм людини:

- інфрачервоне випромінювання – тепловою;
- ультрафіолетове – гігієнічною;
- видиме – забезпеченням зорової функції.

На початку ХХ століття коротко називали:

- червоні та інфрачервоні – тепловими променями;
- ультрафіолетові разом з синіми і фіолетовими – хімічними променями;
- жовті і зелені – світловими променями [15].

Серед сучасного обладнання із застосуванням переважно одного з цих трьох видів ви-

промінювання можна навести основні приклади. Інфрачервоні сауни використовують інфрачервоне випромінювання. У саунах вживаються ультрафіолетові промені. Устаткування для нормалізації циркадного ритму [40] використовує видиме світло з колірною температурою близько 6500 К, аналогічною до колірної температури денного світла опівдні.

Окрім обумовленості фізіологічного впливу спектральним складом випромінювання, сучасне штучне світло може специфічно впливати на людину залежно від таких його властивостей як, наприклад, монохроматичність, наявність і вид поляризації (лінійна чи кругова [25]) або когерентність.

У межах даного дослідження більш детального розгляду потребує поняття монохроматичності. Монохроматичність – це наявність у світловому потоці випромінювання практично тільки однієї довжини хвилі, нм [25] (точніше, випромінювання, в якому довжина хвилі, що його складають, відрізняється не більше, ніж на десяти частки нанометра [19]). Грецькою мовою моно (μόνο) означає одно, хрома (χρῶμα) – колір. Монохроматичний значить однокольоровий [14].

Тривалий час отримання чистого монохроматичного світлового випромінювання було технологічно не простим завданням. Так, кольорові водні розчини, як і кольорове скло, загалом пропускають суміш променів, серед яких, у переважній більшості, містяться промені певної довжини хвилі [41]. І, хоча сучасні виробники обладнання для світлового лікування (наприклад, Zepter-Biopton AG [27]) використовують кольорові фільтри зі скла інтенсивного і стабільного кольору [23], все ж, застосування джерел світла, які безпосередньо випромінюють монохроматичне світло є більш перспективним.

Першими джерелами подібного світла стали лазери, випромінювання яких характеризується як монохроматичністю [25], так і когерентністю [42]. Поява сучасних світлодіодів з високою світловою ефективністю привнесла як у галузь світлового лікування, так і у галузь повсякденного штучного освітлення, джерело некогерентного монохроматичного світла.

Особливістю кольорового світлодіодного освітлення є переважне використання для його утворення світлодіодів з монохроматичним випромінюванням трьох основних кольорів: червоного, зеленого, і синього. Завдяки імітації специфіки сприйняття кольору червоно-, зелено- і синьо-чутливими рецепторами (колбочками) сітківки ока людини, RGB-техноло-

гія забезпечує значну кількість кольорових відтінків і недоступний раніше рівень чистоти хроматичного (кольорового) світла. У цьому контексті, необхідно детальніше розглянути поняття кольору.

Загалом, усі кольори, які зустрічаються у природі, діляться на [14]:

- ахроматичні – білий, чорний і відтінки сірого;
- хроматичні – усі кольори, крім ахроматичних.

Хроматичні кольори відрізняються один від одного кольоровим тоном, який залежить від довжини хвилі:

- червоний – 760–620 нм;
- помаранчевий – 620–585 нм;
- жовтий – 585–575 нм;
- жовто-зелений – 575–550 нм;
- зелений – 550–510 нм;
- блакитний – 510–480 нм;
- синій – 480–450 нм;
- фіолетовий – 450–380 нм [43].

Будь-який колір для ока характеризується трьома основними параметрами: кольоровістю, яскравістю й насиченістю (чистотою). Кольоровість дає якісну характеристику кольору, яка залежить від ступеня розбавлення спектрального кольору білим світлом, а яскравість – кількісну характеристику. Спектральні (монохроматичні) кольори є найбільш насиченими (найчистішими).

Кількість кольорових тонів, які розрізняються оком людини, – близько 180. Оптичне відчуття, яке утворюється від злиття в очі декількох монохроматичних світлових потоків, носить назву оптичне або адитивне (додавання) змішування кольорів. Г. Г. Грассманом, на основі експериментальних досліджень, було виведено три закони оптичного змішування кольорів, які експериментально підтверджені Д. К. Максвелом, Г. Л. Ф. Гельмгольцем та ін. [14]:

- для будь-якого кольору є такий інший колір, від змішування з яким отримується колір ахроматичний: білий або сірий. Такі два кольори називають додатковими. Для променів зеленої ділянки спектра немає монохроматичних додаткових променів. Додатковими до зеленого є пурпурні, які самі виникають в результаті змішування червоних і фіолетових променів;
- якщо в очі змішуються кольори не додаткові, а розміщені в кольоровому колі близько один до одного, а це усі кольори, окрім додаткових, то виникає від-

чуття нового хроматичного кольору, кольоровий тон якого лежить між змішаними кольорами;

- кольори, які виглядають однаково, дають суміші, які теж виглядають однаково, незалежно від відмінностей у фізичному складі кольорових подразників, які змішуються.

На сьогодні, вже є певний експериментально-клінічний досвід, який говорить про помітний психофізіологічний вплив кольорового монохроматичного світла і підтверджує можливість отримання лікувальних ефектів за допомогою його застосування [23]. Далі, наводиться узагальнення відомої щодо цього питання інформації.

Дослідження впливу кольорового світла на нервову систему проводив А. Ф. Акопенко при клініці проф. В. М. Бехтерева, вивчаючи швидкість сприйняття окремих звуків та проведення числових розрахунків під час перебування піддослідного в кімнаті з різним кольоровим склом. Він дійшов до таких висновків [16]:

- чим ближче до червоної межі спектра, тим більше прискорення психічних процесів;
- під впливом жовтого світла ні настрої, ні швидкість сприйняття не змінюються;
- зелене світло пригнічує, уповільнюючи хід психічних процесів;
- пригнічення зростає у напрямку до фіолетового світла, яке при тривалій дії може викликати головні болі;
- промені всіх кольорів справляють найбільший вплив протягом першої години своєї дії;
- дія всіх кольорів продовжується і після припинення кольорового освітлення, коли піддослідний знаходиться в денному світлі;
- дія всіх кольорів є найбільш сильною в перші дні, коли ще не утворилася звичка.

Таким чином, забарвлення навколишнього середовища так чи інакше впливає на психіку людини, а при сприйнятті кольору в чуттєвості відбувається якась «активна» робота, яка викликає симпатію чи антипатію та позначається на розумовій діяльності [38].

І. І. Шиманко зазначає, що різні кольори видимого спектра неоднаково впливають на нервово-психічну сферу. Він наводить такі данні щодо їхнього впливу [44]:

- промені, які лежать ближче до червоної частини спектра, діють з поживленням і збудженням;
- промені середньої частини спектра –

жовті і зелені – заспокоюють;

- сині і фіолетові промені пригнічують.

Стосовно впливу на настрій людини усі кольори найчастіше поділять на дві групи [45]:

- такі, що підбадьорюють, пожвавлюють, збуджують – червоно-жовті;
- такі, що пригнічують – синьо-фіолетові.

Відтінки зеленого вважаються індиферентними.

Отже, на сьогодні встановлено, що світло та колір впливають і на функціонування організму людини, і на її емоції [46].

Для подальшого розвитку концепції даного дослідження необхідно визначитися з тим, які основні емоції можна ідентифікувати опитуванням осіб під час їхнього перебування у світловому середовищі певного кольору. Відомо [47], що емоції мають відповідні фізіологічні прояви. Вони виражаються фізично (через жести, вираз обличчя тощо) та є результатом конкретних подій і часто призводять до дій. П. Екман (P. Ekman) виокремлює сім універсальних емоцій [48, 49]:

- радість;
- сум;
- презирство;
- страх;
- відраза;
- подив;
- гнів.

Ж. Леду (J. LeDoux), який вивчав біологічні основи пам'яті й емоцій, встановив [50], що коли люди відчувають певні емоції, активуються відповідні ділянки мозку. Для встановлення того, яку саме емоцію відчував індивід у хроматичному світловому середовищі, можна застосовувати не лише психологічне опитування,

а й певні фізіологічні заміри та фіксацію наявної в цей період мозкової активності.

Стосовно фізіологічного впливу кольорового (хроматичного) світла на людину, то перше слід звернути увагу на те, що шкіра й тканини під нею поглинають видиме випромінювання по-різному. Це залежить від властивостей самої шкіри і тканин, а також від довжини хвилі випромінювання.

Так, фіолетові, сині і майже усі зелені промені поглинаються шкірою (лише 5% зелених променів досягають підшкірної клітковини). Промені червоного кольору, до 30% від загального потоку, проникають у підшкірну клітковину й глибші тканини. Найбільш глибоко (більше 1 см від поверхні шкіри) проникають довгохвильові червоні промені (700–760 нм) [19].

Як відомо, механізм взаємодії світла з речовиною проявляється в його електричній, хімічній, тепловій і механічній діях [14]. Тому при поглинанні енергії світлового потоку атомами й молекулами тканин організму відбувається її перетворення в інші види енергії – теплову та хімічну [19].

За сучасними уявленнями світло має властивості як електромагнітної хвилі, так і потоку часток – фотонів (хвильова і корпускулярна теорії). Характеристикою хвильових властивостей світла є частота коливань і пов'язана з нею довжина хвилі у вакуумі. Чим коротшою є довжина світлової хвилі, тим більшою є енергія її кванта (табл. 1) [19]. Ця характеристика багато в чому визначає дію світлового випромінювання при поглинанні організмом світлової енергії.

Таблиця 1

Довжина хвилі і величина енергії квантів світла (за [19]).

Довжина хвилі, нм	Вид випромінювання	Енергія кванта, кДж
1000	Короткі інфрачервоні промені	118,9
760	Межа видимого світла	157,0
700	Червоні промені	170,4
580	Жовті промені	205,2
530	Зелені промені	225,7
420	Фіолетові промені	283,4
400	Межа видимого світла	300,2
300	Ультрафіолетові промені	396,9
200	Короткі ультрафіолетові промені	595,8

Адже відомо, що основним базисом для світлолікування слугують:

- закон Гротус-Дрепера (Grothus-Dräper), за яким хімічну дію може справляти тільки поглинутий промінь;
- дослідження Бунзена і Роско, за якими всі промені можуть діяти хімічно за умови їхнього поглинання.

Ці висновки підтверджуються у подальших наукових роботах. К. А. Тімірязєв так формулює основні закони фотохімії:

- всі світлові хвилі, незалежно від їхньої довжини, можуть діяти хімічно;
- діють тільки поглинуті тілами хвилі;
- хімічна дія хвиль залежить від їхньої енергії [16].

Сучасними дослідженнями встановлено, що під впливом світла в організмі людини:

- збільшується енергетична активність кліткових мембран;
- приводяться в дію регенераційні процеси;
- відбувається позитивний вплив на імунну захисну систему і нервові закінчення [51].

Історично, коли в фізіології виникло питання про світловий вплив на організм людини, мова йшла про дію усього оптичного спектра без явного диференціювання на видиме, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання. Після того, як була з'ясована особлива біологічна активність ультрафіолетових променів та їхня здатність синтезувати вітамін D, майже уся увага приділялася їхньому вивченню [1].

З іншого боку, на сьогодні відомо, що видиме світло пов'язане не лише з зоровими відчуттями. Сітківка ока містить, окрім колбочок і паличок, інші світлочутливі (гангліозні) клітини. Вони слугують для сприйняття сигналів і їхньої подальшої передачі шишкоподібній залозі.

Виявилось, що видиме випромінювання впливає на гормональну діяльність людини. Воно запускає її внутрішній годинник [28] та добові ритми активності цілого ряду фізіологічних процесів [45]. Встановлено, що недоотримання світла вранці і його велика кількість вночі, особливо в блакитному діапазоні 460...500 нм, можуть призвести до порушень циркадного ритму людини та проблем із засинанням. Це стимулювало активні дослідження щодо впливу на живі організми синього монохроматичного світла.

Наприклад, нещодавнє вивчення впливу синього світлодіодного освітлення на звичайних плодових мушок *Drosophila melanogaster*

показало, що воно пришвидшує процеси старіння [52]. Також було виявлено, що опромінення блакитним світлом усього тіла людини (450 нм протягом 30 хв) знижує артеріальний тиск та ризик розвитку серцево-судинних захворювань [53].

Важливою подією стало опублікування нової позиції Міжнародної комісії з освітлення (CIE) щодо невізуального впливу світла у другому виданні «Рекомендацій щодо належного світла в належний час» [54].

Разом з тим, широких і комплексних досліджень психофізіологічного впливу на людину монохроматичного світла різних кольорів, а також складного кольорового RGB-світла, поки що не проводилося. На необхідності проведення міждисциплінарних науково-дослідних робіт щодо впливу оптичного випромінювання на життя й здоров'я людини наголошував І. Фіш (J. Fisch) [28]. На його думку, техніки, фізики, біохіміки й медики повинні об'єднати зусилля для вивчення взаємодії оптичного випромінювання з людиною в цілому і з її окремими органами з урахуванням умов навколишнього середовища.

Загалом, світло впливає на організм такими шляхами [55]:

- переважно через зоровий аналізатор;
- через шкіру;
- безпосередньо на органи;
- комбіновано.

Відповідно, зміни, викликані світлом, розділяються на дві головні групи [17]:

- прямі – безпосередні;
- непрямі – опосередковані, тобто реагують частини тіла чи системи органів, які безпосередньо не піддавалися опроміненню.

З усього сказаного можна узагальнити, що у повсякденному житті світло впливає на людину як через локальну дію, так і через навколишнє середовище [16]. З терапевтичною метою світло застосовується [15]:

- у вигляді сонячної чи штучної світлової ванни, яка діє на весь організм;
- у вигляді місцевої дії світлових променів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є формування і викладення концепції міждисциплінарного дослідження впливу хроматичного світлового середовища на людину.

Основна частина. Задля створення концепції дослідження впливу випромінювання виключно видимого діапазону необхідно обрати її прототип для подальшого розвитку. Таким є світлова ванна (рис. 3), спроектована і випробувана А. П. Розеном.

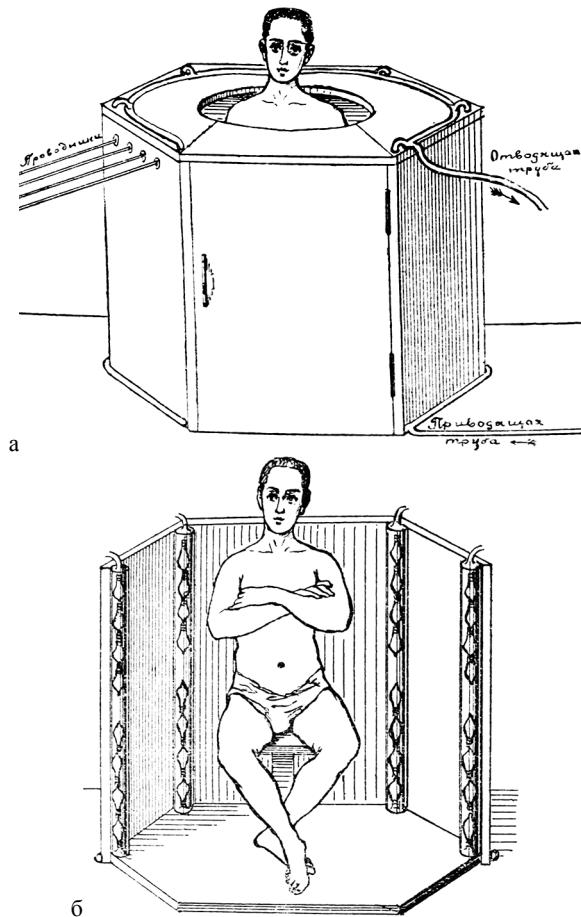


Рис. 3. Світлова ванна А. П. Розена з виключеним тепловим впливом ламп розжарювання [13]: а – у закритому стані; б - вид зсередини

Основою цього наукового дослідження стало порівняння впливу світла ламп розжарювання з наявним і усунутим тепловим випромінюванням на морфологічний склад крові, пульс, температуру й масу тіла здорових людей. Для вилучення теплового випромінювання використовувалось охолодження ламп водою з водопроводу. Завдяки цьому температура всередині ванни не підвищувалася.

У результаті дослідження А. П. Розен встановив [13], що дія світлових ванн (з виключеним тепловим впливом) покращує загальний стан піддослідних:

- самопочуття було відмінним, відчувалася легкість рухів;
- знижувалася втомлюваність;
- сон був міцним і підбадьорював;
- настрої ставав гарним.

Усі піддослідні після завершення експерименту виявили бажання продовжувати застосування світлових ванн з метою покращення свого загального самопочуття.

Цікавим є те, що А. П. Розен проводив процедуру для учасників експерименту зранку в проміжку з сьомої до дев'ятої години ранку

[13]. Це відповідає вимогам сучасної світлової терапії для підтримки біологічного годинника людини, сеанси якої проводяться зранку і припиняються ввечері.

Висновки А. П. Розена щодо позитивного впливу його світлових ванн на загальне самопочуття, якість сну і працездатність піддослідних, збігаються з ефектом від сучасної методики коригування циркадного ритму. Однак, у його досліді світло впливало лише через тіло людини (рис. 3 а) без подразнення зорового аналізатора з його невізуальними рецепторами.

При використанні ультрафіолетового випромінювання, навіть у терапевтичних дозах, необхідно враховувати близькість лікувальних і руйнівних впливів для унеможливлення віддалених негативних наслідків [27]. При використанні випромінювання видимого діапазону подібної небезпеки немає, але питання дозування залишається важливим. Адже застосування випромінювання недостатньої потужності може завадити виявленню його помітного фізіологічного впливу. Тому для визначення орієнтовних параметрів кольорового світла можна скористатися вже відомими даними щодо білого освітлення, достатнього для фізіологічного впливу з метою корекції циркадного ритму людини [40]:

- яскравість світної поверхні повинна бути близько 8000 кд/м^2 ;
- площа світної поверхні має бути якомога більшою з максимально рівномірним розподілом яскравості;
- залежно від відстані до приладу освітленість повинна становити від 2000 до 10000 лк.

У звичайних умовах середовища життєдіяльності сприйняття людиною світла носить складний характер і не обмежується світловим впливом лише через очі або лише через шкіру чи будь-яку локальну частину тіла. Тому для комплексного дослідження впливу кольорового світла на людину необхідне створення хроматичного світлового середовища, яке б сприймалося усім організмом одночасно, аналогічно до того як сприймається світлове середовище у повсякденному житті. За таких умов, буде забезпечено:

- невізуальний вплив:
 - через шкіру;
 - невізуальні рецептори ока;
- візуальний вплив – через зоровий аналізатор.

При дії на зоровий аналізатор світло формує візуальне сприйняття, яке усвідомлює-

ться людиною. З одного боку, це відкриває додаткові можливості щодо психологічного опитування учасників експерименту. З іншого боку це створює додаткові складності щодо чистоти сприйняття кольору через семантичні нашарування й впливи форми простору та його елементів на те, що саме усвідомлюється людиною. Адже довготривалий культурний розвиток сформував у людській свідомості стійкі смислові зв'язки не лише між звичними об'єктами навколишньої реальності і їх кольором, але, навіть, між абстрактними геометричними формами й кольором. Виходом з цієї ситуації є забезпечення хроматичного середовища, вільного від будь-яких семантичних нашарувань, за допомогою створення простору без меж, які б могли візуально сприйматися.

В. В. Кандинський зазначав, що «Колір не допускає безмежного поширення. Безмежне червоне можна лише мислити або духовно споглядати» [9]. Проте сучасне мистецтво на сьогодні має низку прикладів різних творчих експериментів з формування «безмежних» світлових середовищ, що змінюють сприйняття простору і не обтяжують свідомість глядача семантичним значенням жодної з форм. Це окремі проекти Дж. Таррелла і О. Еліассона, які були проаналізовані у попередніх роботах автора [56].

У межах даної статті найближчою до необхідного конструктивного рішення є робота «D-N SF 12 PG VI», 2012 р., відомого світлодизайнера Д. Вілера (D. Wheeler), яка експонувалася як частина виставки «The illusion of light» в галереї Палаццо Грасці (Palazzo Grassi, м. Венеція, Італія) з 13 квітня по 31 грудня 2014 р. Цей світловий простір сприймається при перебуванні в ньому як безперервне та нескінченне середовище без кутів і стін. Такий ефект досягається тим, що представлена конструкція складається з півсфери, внутрішня частина якої вистелена цільним (без швів і стиків) матовим покриттям білого кольору, яке освітлюється яскравим білим світлом таким чином, що об'єкти в утвореному світловому середовищі (відповідно і глядач, який в це середовище потрапляє) не відкидають тіней.

У контексті даного дослідження, незважаючи на свою концептуальну і конструктивну близькість до необхідного рішення, інсталяція «D-N SF 12 PG VI» все ж не може бути абсолютним аналогом через принципову невідповідність світлових властивостей. Адже її світлове середовище створюється світлом, рівномірно відбитим від поверхонь навколишнього оточення. А для вирішення поставлених у за-

пропонованому дослідженні завдань, світлове середовище шуканого простору повинно створюватися світлом, яке рівномірно випромінюється поверхнями, які оточують піддослідного.

Прикладом простору з такими світловими властивостями може слугувати Маррагіум (Marraquium) у Бостонській бібліотеці Меррі Бейкер Едді (Mary Baker Eddy Library). Це – своєрідна сфероподібна конструкція у формі глобуса з освітлених вітражів, спроектована архітектором Ч. Л. Черчиллем (Ch. L. Churchill) і відкрита для публіки в 1935 р. (рис. 4). З самого початку Marraquium освітлювався звичайними електричними лампами, розміщеними поза сферою (з її зовнішнього боку). Потім освітлення змінилося на світлодіодні світильники з можливістю програмування змін кольору освітлення [57].

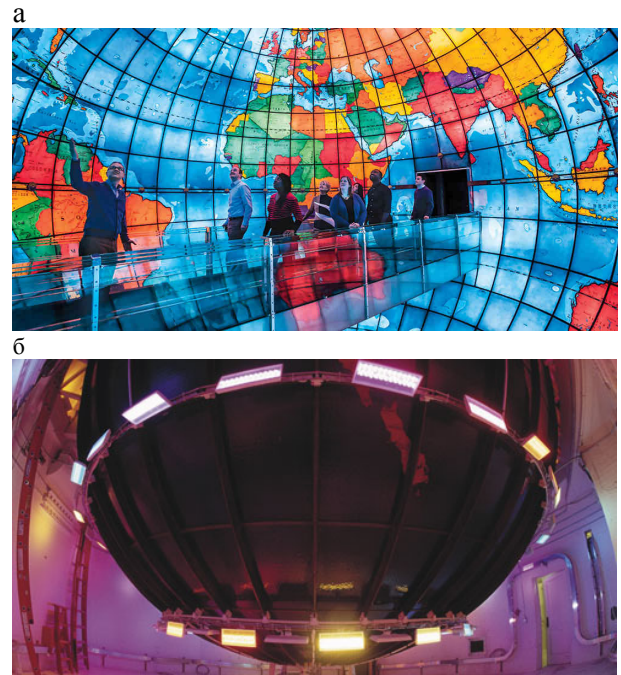


Рис. 4. Маррагіум у бібліотеці Меррі Бейкер Едді: а – внутрішня частина для відвідувань; б – тильна частина з освітлювальними конструкціями (за [57])

Конструкція простору для проведення дослідження впливу хроматичного світлового середовища на людину не повинна повторювати рішення, використані у наведених вище прикладах. Але обов'язковою є рівномірна цілісність (без швів і стиків) внутрішньої поверхні простору – аналогічно до роботи Д. Вілера та рівномірна світлимість цієї внутрішньої поверхні – аналогічно до вітражів з Marraquium. Форма простору не повинна повторювати сферу. Для створення ілюзії безмежності середовища зі світловою внутрішньою поверхнею може бути доречним застосування паралелепіпеда чи куба

з кутами і ребрами із значним заокругленням. Таке рішення форми простору більш прийнятне для забезпечення високого рівня освітленості об'єкта (людини) залежно від відстані до світлової поверхні.

Тривалість перебування учасників досліду в хроматичному середовищі можна визначити на основі відомих даних стосовно тривалості світлових ванн.

Так, за С. Б. Вермелем тривалість світлової ванни коливається від 10 до 25...30 хвилин [16], а ванни А. П. Розена тривали по 20 хв [13]. Таким чином, період від 10 до 20 хв. залежно від індивідуального самопочуття людини є оптимальним для її перебування в хроматичному світловому середовищі під час проведення досліду.

Будь-який витвір візуального мистецтва (окрім концептуального) в першу чергу апелює до емоцій глядача. Колір давно визнаний мистцями як найбільш потужний інструмент емоційного впливу. Тому емоції є тією ланкою, що пов'язує естетичне враження з психологічним сприйняттям і можливим фізіологічним впливом кольорового світла.

Відкриття світлової залежності секреції мелатоніну, особливо від блакитної частини спектра, звертає увагу на можливості різноманітного впливу світла різних кольорів на гормональну систему людини. Тому психологічно встановлене естетично-емоційне враження від перебування у хроматичному середовищі може стати підґрунтям для визначення медиками переліку гормонів і фізіологічних реакцій, зміни в яких доречно визначати після або під час перебування людини під комплексною дією кольорового світла.

У межах світлодіодної RGB-системи серед досліджуваних кольорів можуть бути:

- монохроматичні:
 - червоний;
 - зелений;
 - синій;
- їхні прості суміші:

- жовтий – червоний і зелений;
- блакитний – синій і зелений;
- пурпурний – червоний і синій.

Обов'язковою умовою є однаковість яскравості світлової поверхні простору й освітленості від неї як при різних монохроматичних кольорах, так і при їхніх сумішах.

Висновки. Запропонована і теоретично обґрунтована концепція міждисциплінарного дослідження естетичного, психологічного й фізіологічного впливу хроматичного світлового середовища на людину дозволяє отримувати результати для розробки як методик світлолікування, так і рекомендацій щодо створення комфортного світлового середовища приміщень. У процесі дослідження виявлено, що основними умовами практичного втілення цієї концепції є:

- забезпечення в межах середовища для проведення дослідження комплексного впливу хроматичного освітлення на користувача як через органи зору, так і через шкіру;
- організація цілісного, безперервного і позбавленого будь-яких додаткових семантичних нашарувань хроматичного світлового середовища;
- унеможливлення проявів блискавості та засліплення користувача шляхом використання для дослідження простору, який складається з внутрішніх поверхонь із рівномірно розсіяним освітленням помірно яскравості;
- одночасний комплексний аналіз естетичного, психологічного і фізіологічного впливу кольорового світла на користувача в середовищі його перебування.

Перспективи подальших досліджень. У майбутньому доцільно виявити та проаналізувати основні показники комфортності для користувача світлового середовища з метою визначення шляхів підвищення його енергоефективності без втрат якості освітлення.

Література

1. Попов Н. А. О физиологическом действии физических агентов. I. Ультрафиолетовые лучи, лучи видимого спектра, частопеременные токи и высокочастотное поле / Н. А. Попов. – МЕДГИЗ, 1940. – 228 с.
2. Luger Research e.U. CIE Calls for Focused Research Efforts to Support Healthful Lighting Recommendations // LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/cie-calls-for-focused-research-efforts-to-support-healthful-lighting-recommendations>. - Дата публікації 25.09.2017.
3. Офіційний сайт CIE (International Commission on Illumination) Міжнародної комісії з освітлення [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.cie.co.at/>. - Дата звернення 06.02.2020.
4. Світлодіоди: Новинки. Практика. Перспективи. Офіційний каталог виставки світлодіодного освітлення LED expo. Матеріали конференції LED Progress. 13-15 вересня 2017 р. - 128 с.
5. Care, Caution & Awareness Are Needed When Using LED Lights // LED professional (The Global Information

Hub for Lighting Technologies) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/care-caution-awareness-are-needed-when-using-led-lights>. - Дата публікації 16.12.2019.

6. Charlotte & Peter Fiell. 1000 Lights / С. Fiell, P. Fiell. - Köln: TASCHEN GmbH, 2013. - 639 p.

7. Oksanen J. Design Concepts in Architectural Outdoor Lighting Design Based on Metaphors as a Heuristic Tool / Julle Oksanen // Aalto University publication series Doctoral Dissertations 73/2017 - Helsinki, Finland : Aalto University School of Arts, Design and Architecture Department of Architecture Printed by Unigrafia, 2017. - 294 p. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://shop.aalto.fi/media/filer_public/8b/25/8b253f49-c052-4249-b518-5f754dd199b5/oksanen_verkkoversio.pdf. - Дата звернення 06.02.2020.

8. Казаков Г. В. Сучасна світлова архітектура: підручник / Г. В. Казаков. - Львів: Видавництво «Растр-7», 2010. - 620 с.

9. Кандинский В. В. О духовном в искусстве / Василий Васильевич Кандинский. - Москва: Издательство «Э», 2016. - 160 с.

10. Чернявский Е. А. Жалюзийные экраны и способы их использования при солнцелечении (геофизические основы гелиоаэротерапии) / Е. А. Чернявский // Узбекский государственный научно-исследовательский институт курортологии и физиотерапии им. Н. А. Семашко. - Ташкент: Типография Объед. изд-ва «Правда Востока» и «Кзыл Узбекистан», 1949. - 60 с.

11. Застосування БІОПТРОН-ПАЙЛЕР-світла в медицині: навчально-методичний посібник для лікарів / за редакцією проф. С. О. Гуляра, проф. А. Л. Косаковського. - Київ: Вид-во ІФБ НАН України та КМАПО МОЗ України, 2006. - 152 с.

12. Ливенцев Н. М. Электричество на службе здоровья (о лечении светом и электричеством) / Н. М. Ливенцев, И. А. Абрикосов, З. А. Кириллова. - М.: МЕДГИЗ, 1956. - 60 с.

13. Розень А. П. О влиянии обшихъ электрическихъ свето-тепловыхъ ваннь и световыхъ съ исключеніемъ тепла на морфологической составъ крови здоровыхъ людей: диссертация на степень Доктора Медицины; экспериментальное изследование изъ светолечебнаго отделения клиники душевныхъ и нервныхъ болезней Профессора Академика В. М. Бехтерева / Розень Анатолий Павловичъ; Императорская Военно-Медицинская Академия. - Двинскъ: Типографія «Двинскаго листка», 1904. - 109 с.

14. Тетерина Т. П. Свет, глаз, мозг. Принципы цветолечения. Кн. I. / Т. П. Тетерина - Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. - 208 с.

15. Rieder H. Светолечение: Съ историческимъ введеніемъ къ светолеченію д-ра Marcuse / H. Rieder; переводъ съ немецкаго д-ра мед. И. А. Шабада. - С.-Петербургъ: Изданіе журнала «Практическа Медицина», 1902. - 82 с.

16. Вермель С. Б. Медицинское светолечение (биологическое и лечебное действие света): руководство для врачей и студентов, изд. 2-е, переработ. / С. Б. Вермель. - Москва: автор, типо-лит. ЦУП ВСНХ «Новая Деревня», 1926. - 215 с.

17. Гаусманн В. Руководство по светолечению / В. Гаусманн (W. Hausmann), Р. Фольк (R. Volk) и др.; под ред. С. А. Бруштейна; перевод с нем. Э. Б. Соловейчика. - Государственное медицинское издательство, 1929. - 393 с.

18. Дитрихъ Г. Лечение светомъ и его примененіе при болезняхъ кожи, почекъ, растройстве обмена веществъ, ревматизме, подагре, волчанке, малокровіи, бледной немочи, общей слабости и т.д. / Г. Дитрихъ; подъ ред. Г. К. Цеханскаго. - М.: Типо-литографія Т-ва И. Н. Кушнеревъ и К^о, 1903. - 80 с.

19. Шеметило И. Г. Современные методы электро- и светолечения / И. Г. Шеметило, М. Г. Воробьев. - Л.: Медицина, 1980. - 200 с.

20. Финзенъ Нильсъ Р. Светолечение / Нильсъ Р. Финзенъ; въ общедоступномъ изложеніи д-ра И. М. Цирульскаго. - С.-Петербургъ: Типографія журнала «Народное Здравіе», 1901. - 39 с.

21. Серапинъ К. П. Опыты леченія светомъ по N. Finsen'у. Выпускъ II. (Къ отчету Академической Хирургической Клиники проф. Н. А. Вельяминова за 1899-1900 учебный годъ) / К. П. Серапинъ // Приложение къ Т. V (1900 г.) журнала «Летопись Русской Хирургіи». - С.-Петербургъ: Товарищество «Печатня С. П. Яковлева», 1900. - 12 с.

22. Филипович В. В. Наблюденія надъ химическими лучами солнца / В. В. Филипович. - Одесса: «Славянская» типографія Н. Хрисогелось, 1900. - 8 с.

23. Гуляр С. А. Боль и цвет: лечение болевых синдромов цветным поляризованным светом / С. А. Гуляр, Ю. П. Лиманский, З. А. Тамарова. - Киев - Донецк: Изд-во БИОСВЕТ, 2004. - 122 с.

24. Тарасов Л. В. Оптика рожденная лазером / Л. В. Тарасов. - М.: «Просвещение», 1977. - 143 с.

25. Залесский В. Н. Лазерная медицина на рубеже XX-XXI веков: монография / В. Н. Залесский; предисл. президента НАН Украины, академика Б. Е. Патона. - К.: ЗАО «Віпол», 2010. - 894 с.

26. Современные аспекты лазерной терапии / под ред. В. Д. Попова. - Черкассы: Вертикаль, издатель Кандыч С. Г., 2011. - 608 с.

27. Антология светотерапии. Медицинские БІОПТРОН-технологии (теория, клиника, перспективы): сборник научных трудов / гл. науч. ред.- проф. С. А. Гуляр. - К.: Изд-во Ин-та физиол. им. А. А. Богомольца НАН Украины (цикл «Высокие технологии долголетия»), 2009. - 1024 с.

28. Фиш И. Свет и здоровье / Иоахим Фиш (Joachim Fisch); под редакцией Ю. Б. Айзенберга; перевод с нем. В. П. Жильцова // Новости светотехники. Выпуск 5-6 (32-33). - М.: Дом Света, 2001. - 38 с.

29. Мельниченко О. П. Порівняльна характеристика антиоксидантної системи ембріонів перепелів та курей в нормі та за дії монохроматичного червоного світла: аторэф. дис. ... канд. сільськогосподарських наук: 03.00.13 - фізіологія людини і тварини / Мельниченко Олена Петрівна; Українська академія аграрних наук, Ін-

ститут свинарства УААН. - Полтава, 2008. - 20 с.

30. Венгер Л. В. Использование низкоэнергетического монохроматического импульсного света в восстановительном лечении больных амблиопией: дис... канд. мед. наук: 14.00.08 - глазные болезни / Венгер Людмила Виленовна; Одесский государственный медицинский университет. – Одесса, 2001. – 20 с.

31. Селезньов О. Г. Психотерапевтичне потенціювання латеральної світлотерапії алкогольної залежності: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.27 – наркологія / Селезньов Олександр Георгійович; Харківський інститут удосконалення лікарів. – Харків, 1996. – 23 с.

32. Васильєва Ю. О. Світлодіодні освітлювальні системи волоконних ендоскопів для оториноларингології: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.09.07 - світлотехніка та джерела світла / Васильєва Юлія Олегівна; Харківська національна академія міського господарства. - Харків, 2007. - 21 с.

33. Прокопенко І. В. Чутливість нормальних та малігнізованих лімфоцитів до світлового випромінювання видимої ділянки спектру: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 14.01.07 - онкологія / Прокопенко Ігор Вікторович; Національна академія наук України, Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького. - Київ, 2005. - 19 с.

34. Пантьо В. В. Вплив світлодіодного випромінювання різних довжин хвиль на інтенсивність росту *Staphylococcus aureus* / В. В. Пантьо, Г. М. Коваль, В. І. Пантьо, С. О. Гуляр // Scientific Journal «ScienceRise:Biological Science», № 4(7), 2017. – С. 16–20.

35. Косаковський А. Л. Досвід застосування червоного і синього ЛЕД-світла з інфрачервоним компонентом при лікуванні захворювань вуха, горла та носа у дітей / А. Л. Косаковський, С. О. Гуляр, І. А. Косаківська, Н. П. Грушецька, Л. А. Шух, Ю. В. Ткаченко // Современная педиатрия 1(89), 2018. – С. 73–79.

36. Гуляр С. А. БИОПТРОН-светотерапия и ресурсы ее применения в хирургии / С. А. Гуляр // Клінічна фотомедицина / Фотобіологія та фотомедицина, 1, 2 '2012. – С. 16–30.

37. Джейкоб Л. Исцеление светом и цветом: практическое руководство / Либерман Джейкоб; пер. с англ. – М.: ООО Книжное издательство «София», 2018. – 256 с.

38. Жук В. Н. Свет-целитель (светолечение). Часть I-я «Целебных сил природы» в общедоступном изложении / В. Н. Жук. – Одесса: Тип. газеты «Одесские новости», 1909. – 248 с.

39. Тесла Н. Мої винаходи. Автобіографія / Нікола Тесла; переклад з англ. Олександри Гординчук. - Львів: Видавництво Старого Лева, 2017. - 132 с.

40. Impact of Light on Human Beings. Licht.wissen 19. - Frankfurt am Main: Fördergemeinschaft Gutes Licht – eine Brancheninitiative des ZVEI e.V., 2014. - 56 p.

41. Глебовській А. А. Лечение светом по N. Finzen'у. О действии концентрированного света Вольтовой дуги на волчанку (*Lupus vulgaris*). (Клиническое и гистологическое исследование из академической хирургической клиники проф. Н. А. Вельяминова). Выпуск III / А. А. Глебовській. – С.-Петербург: Паровая Скоропечатня «Восток» М. М. Гутзапа, 1901. – 167 с.

42. Пагава К. И. Морфо-функциональные сдвиги при воздействии на организм монохроматическим когерентным красным светом / К. И. Пагава; АН ГССР, Ин-т эксперим. морфологии им. А. Н. Натишвили. – Тбилиси: Мецниереба, 1988. – 103 с.

43. Алиева Н. З. Физика цвета и психология зрительного восприятия / Н. З. Алиева. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.

44. Шиманко И. И. Светолечение / И. И. Шиманко. – М.: Мин. Здрав. СССР, Центральный институт усовершенствования врачей, 1950. – 175 с.

45. Парфенов А. П. Физические лечебные средства. Часть III. Свет: учеб. пособ. для слушателей ВММА и врачей флота / А. П. Парфенов. – Ленинград: Военно-морская медицинская академия, 1953. – 178 с.

46. Бэббитт Э. Д. Принципы света и цвета. Исцеляющая сила цвета / Эдвин Д. Бэббитт (Edwin D. Babbitt); под редакцией Фейбра Бэррена (Faber Birren); пер. с англ. – К.: «София», 1996. – 320 с.

47. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна / С. Уэйншенк. - СПб.: Питер, 2012. - 272 с.

48. Экман П. Психология эмоций. Я знаю, что ты чувствуешь / П. Экман. – СПб.: Питер, 2010. – 336 с.

49. Экман П. Психология лжи. Обмани меня, если сможешь / П. Экман. – СПб.: Питер, 2010. – 304 с.

50. LeDoux J. Emotion circuits in the brain / Joseph LeDoux // Annual Review of Neuroscience, 23, 2000. – С. 155–84.

51. Барун В. В. Тепловое воздействие мощного светового облучения на биологические ткани / В. В. Барун, А. П. Иванов. – Минск: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, 2003. – 28 с.

52. Blue LED lighting increases ageing, says study // LUX review [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://luxreview.com/article/2019/10/blue-led-lighting-increases-ageing-says-study> . - Дата публікації 21.10.2019.

53. Researchers from the University of Surrey Find that Blue Light Can Reduce Blood Pressure // LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.led-professional.com/resources-1/led-reports-roadmaps/researchers-from-the-university-of-surrey-find-that-blue-light-can-reduce-blood-pressure> . - Дата публікації 09.11.2018.

54. CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light - 2nd Edition // LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.led-professional.com/resources-1/standardization/cie-position-statement-on-non-visual-effects-of-light-2nd-edition>. – Дата публікації 10.10.2019.

55. Кожин А. А. Физические методы в медицине / А. А. Кожин. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – 296 с.
56. Коваль Л.М. Дизайн & LED-технології: монографія / Л. М. Коваль. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 132 с.
57. The Mapparium // Mary Baker Eddy Library [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.marybakereddylibrary.org/project/mapparium/?cn-reloaded=1> . - Дата звернення 06.02.2020.

References

1. Popov N. A. O fiziologicheskome dejstvii fizicheskikh agentov. I. *Ul'trafiol'etovye luchy, luchy vidimogo spektra, chastoperemennye toki i vysokochastotnoe pole*. MEDGIZ, 1940.
2. CIE Calls for Focused Research Efforts to Support Healthful Lighting Recommendations. *LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies)*, <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/cie-calls-for-focused-research-efforts-to-support-healthful-lighting-recommendations>. Posted by 25 September 2017.
3. CIE (International Commission on Illumination), <http://www.cie.co.at/>. Accessed 06 February 2020.
4. Svitlodiody: Novynky. Praktyka. Perspektyvy. Ofitsiyni kataloh vystavky svitlodiodnoho osvittennia LED expo. *Materialy konferentsii LED Progress. 13-15 veresnia 2017 r., Kyiv, Ukraina*, 2017.
5. Care, Caution & Awareness Are Needed When Using LED Lights. *LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies)*, <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/care-caution-awareness-are-needed-when-using-led-lights>. Posted by 16 December 2019.
6. Charlotte & Peter Fiell. *1000 Lights*. TASCHEN GmbH, 2013.
7. Oksanen J. *Design Concepts in Architectural Outdoor Lighting Design Based on Metaphors as a Heuristic Tool*: Aalto University publication series Doctoral Dissertations 73/2017. Aalto University School of Arts, Design and Architecture Department of Architecture, 2017, https://shop.aalto.fi/media/filer_public/8b/25/8b253f49-c052-4249-b518-5f754dd199b5/oksanen_verkkoversio.pdf. Accessed 06 February 2020.
8. Kazakov H. V. *Sučasna sviitlova arhitektura*: pidručnyk. Vydavnytstvo "Rastr-7", 2010.
9. Kandinskij V. V. *O duhovnom v iskusstve*. Izdatel'stvo "Je", 2016.
10. Chernjavskij E. A. *Zhaljuzijnye jekrany i sposoby ih ispol'zovanija pri solncelechenii (geofizicheskie osnovy gelioajeroterapii)*. Uzbekskij gosudarstvennyj nauchno-issledovatel'skij institut kurortologii i fizioterapii im. N. A. Semashko. Tipografija izd-va "Pravda Vostoka" i "Kzyl Uzbekistan", 1949.
11. Za red. prof. Huljara S. O., prof. Kosakovskoho A. L. *Zastosuvannja BIOPTRON-PAJLER-svitla v medycyni: navčal'no-metodyčnyj posibnyk dlja likariv*. Vyd-vo IFB NAN Ukraïny ta KMAPO MOZ Ukraïny, 2006.
12. Livencev N. M., Abrikosov I. A., Kirillova Z. A. *Jelektrichestvo na sluzhbe zdorov'ja* (o lechenii svetom i jelektrichestvom). MEDGIZ, 1956.
13. Rozen A. P. *O vlijanii obshhij jelektricheskijh sveto-teplovijh vann i svetovijh s isključenijem tepla na morfologicheskij sostav krovi zdorovijh ljudej*: dissertacija na stepen' Dok. Med.; jeksperimental'noe izsledovanie iz svetolechebnago otdelenija kliniki dushevnyh i nervnyh boleznej Professora Akademika Behtereva V. M. Imperatorskaja Voenno-Medicinskaja Akademija, Tipografija "Dvinskago listka", 1904.
14. Teterina T. P. *Svet, glaz, mozg. Principy svetolečhenija*. Kn. I. Izdatel'stvo N. Bochkarevoj, 2000.
15. Rieder H. Svetolečheniie. S istoricheskim vvedenijem k svetolečheniju d-ra Marcuse; perevod s nemeckago d-ra med. Shabada I. A. *Svetolečhenie*. Izdanie zhurnala "Praktičeska Medicina", 1902.
16. Vermel' S. B. *Medicinskoe svetouchenie (biologičeskoe i lečebnoe dejstvie sveta)*: rukovodstvo dlja vrachej i studentov, izd. 2-e, pererabot. avtor. Tipo-lit. CUP VSNH "Novaja Derevnja", 1926.
17. Hausmann W., Volk R. i dr.; pod. red. Brushtejna S. A.; perevod s nem. Solovejchika Je. B. *Rukovodstvo po svetolečheniju*. Gosudarstvennoe medicinskoe izdatel'stvo, 1929.
18. Diritih G., pod red. Cehanskago G. K. *Lečenie svetom i ego primenenie pri boleznyh kozhi, poček, rastrojstve obmena veshhestv, revmatizme, podagre, volchanke, malokrovii, blednoj nemochi, obshhej slabosti i t.d.* Tipo-litografija T-va I. N. Kushnerev i Ko, 1903.
19. Shemetilo I. G., Vorob'ev M. G. *Sovremennye metody jelektr- i svetolečhenija*. Medicina, 1980.
20. Finzen N. R. *Svetolečhenie: v obshhedostupnom izloženii d-ra Cirul'skago I. M.* Tipografija zhurnala "Narodnoe Zdravie", 1901.
21. Serapin K. P. *Opyty lečhenija svetom po N. Finsen'u*. Vypusk II (K otchetu Akademicheskoi Hirurgičeskoi Kliniki prof. N. A. Vel'jaminova za 1899–1900 uchebnyj god). Prilozhenie k T. V (1900 g.) zhurnala "Letopis' Russkoj Hirurgii". Tovarishhestvo "Pechatnja S. P. Jakovleva", 1900.
22. Filipovich V. V. *Nabljudenija nad himičeskimi luchami solnca*. "Slavjanskaja" tipografija N. Hrisogelos, 1900.
23. Guljar S. A., Limanskij Ju. P., Tamarova Z. A. *Bol' i cvet: lečenie bolevijh sindromov cvetnym poljarizovannym svetom*. Izd-vo BIOSVET, 2004.
24. Tarasov L. V. *Optika rozhdennaja lazerom*. "Prosveshhenie", 1977.
25. Zaleskij V. N.; predisl. prezidenta NAN Ukraïny, akademika Patona B. E. *Lazernaja medicina na rubezhe XX–XXI vekov*: monografija. ZAO "Vipol", 2010.
26. Popov V. D., red. *Sovremennye aspekty lazernoj terapii*. Vertikal', izdatel' Kandych S. G., 2011.
27. Antologija svetoterapii; gl. nauch. red.- prof. S. A. Guljar. *Medicinskije BIOPTRON-tehnologii (teorija, klinika, perspektivy)*: sbornik nauchnyh trudov. Izd-vo In-ta fiziol. im. A. A. Bogomol'ca NAN Ukraïny, 2009.

28. Fisch J., pod red. Ajzenberga Ju. B., per. s nem. Zhil'cova V. P. "Svet i zdorov'e." *Novosti svetotekhniki*, Vypusk 5-6 (32-33). Dom Sveta, 2001.
29. Mel'nyčenko O. P. *Porivnjal'na charakterystyka antyoksydantnoï systemy embrioniv perepeliv ta kurej v normi ta za diï monochromatyčnogo červonoho svitla*: avtoref. dysertacii. Ukraïns'ka akademija ahrarnykh nauk, Instytut svynarstva UAAN, 2008.
30. Venger L. V. *Ispol'zovanie nizkojenergetičeskogo monohromatičeskogo impul'snogo sveta v vosstanovitel'nom lechenii bol'nyh ambliopiej*: avtoref. dissertacii. Odesskij gosudarstvennyj medicinskij universitet, 2001.
31. Selez'nov O. H. *Psychoterapevtyčne potencijuvannja lateral'noï svitloterapiï alkohol'noï zaleznosti*: avtoref. dysertacii. Charkivs'kyj instytut udoskonalennja likariv, 1996.
32. Vasyľ'jeva Ju. O. *Svitlodiodni osvittljuval'ni systemy volokonnykh endoskopiv dlja otorynolarynhologii*: avtoref. dysertacii. Charkivs'ka nacional'na akademija mis'koho hospodarstva, 2007.
33. Prokopenko I. V. *Čutlyvist' normal'nykh ta malihnizovanykh limfocytiv do svitlovoho vyprominjuvannja vydymoï diljanky spektru*: avtoref. dysertacii. Nacional'na akademija nauk Ukraïny, Instytut eksperymental'noï patologii, onkologii i radiobiologii im. R. Je. Kavc'koho, 2005.
34. Pant'o V. V., Koval' H. M., Pant'o V. I., Huljar S. O. "Vplyv svitlodiodnogo vyprominjuvannja riznykh dovžyn chvyl' na intensyvniť rostu *Staphylococcus aureus*." *Scientific Journal "ScienceRise:Biological Science"*, № 4(7), 2017, pp. 16-20.
35. Kosakovs'kyj A. L., Huljar S. O., Kosakivs'ka I. A., Hrušec'ka N. P., Šuch L. A., Tkačenko Ju. V. "Dosvid zastosuvannja červonoho i syn'oho LED-svitla z infračervonym komponentom pry likuvanni zachvorjuvan' vucha, horla ta nosa u ditej." *Sovremennaja pediatrija*, 1(89), 2018, pp. 73-79.
36. Guljar S. A. "BIOPTRON-svetoterapija i resursy ee primenenija v hirurgii." *Klinična fotomedycyna. Fotobiologija ta fotomedycyna*, 1, 2 '2012, pp. 16-30.
37. Dzhejkob L.; per. s angl. *Iscelenie svetom i cvetom*: praktičeskoe rukovodstvo. OOO Knizhnoe izdatel'stvo "Sofija", 2018.
38. Zhuk V. N. "Svet-celitel' (svetolečenie)." *Chast' I-ja "Celebnyh sil prirody" v obshhedostupnom izloženii*. Tip. gazety "Odesskija novosti", 1909.
39. Tesla N., per. z anhl. Hordynčuk O. *Moi vynachody. Avtobiografija*. Vydavnytvo Staroho Leva, 2017.
40. Impact of Light on Human Beings. *Licht.wissen 19*. Fördergemeinschaft Gutes Licht – eine Brancheninitiative des ZVEI e.V., 2014.
41. Glebovskij A. A. *Lečenie svetom po N. Finsen'ju. O dejstvii koncentrirovannago sveta Vol'tovoj dugi na volchanku (Lupus vulgaris)*. Kliničeskoe i gistologičeskoe izsledovanie iz akademičeskoi hirurgičeskoi kliniki prof. N. A. Vel'jaminova. Vypusk III. Parovaja Skoropechatnja "Vostok" M. M. Gutzapa, 1901.
42. Pagava K. I. *Morfo-funkcional'nye sdvigi pri vozdeystvii na organizm monohromatičeskim kogerentnym krasnym svetom*. AN GSSR, In-t jeksperim. morfologii im. A. N. Natishvili, Mecniereba, 1988.
43. Alieva N. Z. *Fizika cveta i psihologija zritel'nogo vosprijatija*. Izdatel'skij centr "Akademija", 2008.
44. Shimanko I. I. *Svetolečenie*. Min. Zdrav. SSSR, Central'nyj institut usovershenstvovanija vrachej, 1950.
45. Parfenov A. P. Fizičeskie lečebnye sredstva. *Chast' III. Svet*: učeб. posob. dlja slushatelej VMMA i vrachej flota. Voenno-morskaja medicinskaja akademija, 1953.
46. Babbitt E. D.; pod red. Birren F.; per. s angl. *Principy sveta i cveta. Isceljajushhaja sila cveta*. Sofija, 1996.
47. Ujejnshenk S. *100 glavnyh principov dizajna*. Piter, 2012.
48. Ekman P. *Psihologija jemocij. Ja znaju, čto ty čuvstvuesh'*. Piter, 2010.
49. Ekman P. *Psihologija lzhi. Obmani menja, esli smozhesh'*. Piter, 2010.
50. LeDoux J. "Emotion circuits in the brain." *Annual Review of Neuroscience*, 23, 2000, pp. 155-84.
51. Barun V. V., Ivanov A. P. *Teplovoe vozdeystvie moshhnogo svetovogo obluchenija na biologičeskie tkani*. Institut fiziki im. B. I. Stepanova NAN Belarusi, 2003.
52. Blue LED lighting increases ageing, says study. *LUX review*, <https://luxreview.com/article/2019/10/blue-led-lighting-increases-ageing-says-study>. Posted by 21 October 2019.
53. Researchers from the University of Surrey Find that Blue Light Can Reduce Blood Pressure. *LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies)*, <https://www.led-professional.com/resources-1/led-reports-roadmaps/researchers-from-the-university-of-surrey-find-that-blue-light-can-reduce-blood-pressure>. Posted by 09 November 2018.
54. CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light - 2nd Edition. *LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies)*, <https://www.led-professional.com/resources-1/standardization/cie-position-statement-on-non-visual-effects-of-light-2nd-edition>. Posted by 10 October 2019.
55. Kozhin A. A. *Fizičeskie metody v medicine*. Izd-vo JuFU, 2010.56. Koval' L. M. *Dyzajn & LED-technologii*: monografija. ZNTU, 2014.
57. The Mapparium. *Mary Baker Eddy Library*, <https://www.marybakereddylibrary.org/project/mapparium/?cn-reloaded=1>. Accessed 06 February 2020.

УДК 745/749:628.9

Концепция междисциплинарного исследования эстетического, психологического и физиологического влияния хроматической световой среды на человека

Л. М. Коваль¹

¹канд. искусствоведения, доц., докторант. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, likocolor@gmail.com. ORCID:0000-0002-7324-0377

Аннотация. В статье предложена и теоретически обоснована концепция междисциплинарного исследования эстетического, психологического и физиологического воздействия хроматической световой среды на человека. Также определено, что основными условиями практического воплощения этой концепции являются: обеспечение комплексного воздействия хроматического освещения на пользователя, как через органы зрения, так и через кожу, в пределах среды для проведения исследования; организация хроматической световой среды – целостной, непрерывной и лишённой каких-либо дополнительных семантических наслоений; исключение возможных проявлений блескости и ослепления пользователя путём использования для исследования пространства, состоящего из внутренних поверхностей с равномерно рассеянным освещением умеренной яркости; проведение одновременного комплексного анализа эстетического, психологического и физиологического воздействия цветного света на пользователя в среде его пребывания. В будущем, продолжая исследования в данном направлении, целесообразно выявить и проанализировать основные показатели комфортности световой среды для пользователя с целью определения путей повышения её энергоэффективности без потерь качества освещения.

Ключевые слова: хроматическая световая среда, светолечение, фототерапия, электрические световые ванны.

UDC 745/749:628.9

The Concept of Multidisciplinary Study of the Aesthetic, Psychological and Physiological Impact of Chromatic Light Environment on a Person

L. Koval¹

¹PhD, associate professor, doctoral student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, likocolor@gmail.com. ORCID:0000-0002-7324-0377

Abstract. High-quality room lighting has great potential for improving quality of life. However, if grounded on imperfect knowledge, it can cause unintended harm. This issue is of particular relevance against the background of rapid spread of chromatic LED illumination in the modern lighting design. In this context, it is important to change the paradigm of the use of light, since it has a powerful effect on the human body, which is comparable to the effects of drugs. However, the formation and further development of such an approach to the design of the lighting environment of premises, requires interdisciplinary study, which would include the following aspects: designer's approach to the organization of the environment for human habitation; psychological methods of evaluation of the aesthetic perception of the light environment and human emotional state caused by its influence; medical methods for determining and registering physiological responses of a human body to chromatic illumination. The article proposes and theoretically substantiates the concept of such an interdisciplinary study of the aesthetic, psychological and physiological influence of chromatic light environment on a person. It has also been identified that the basic conditions for practical implementation of this concept include the provision of the integrated impact of chromatic illumination on the user; both through the organs of vision and through the skin, in the framework of the study environment; the organization of a chromatic light environment which is integral, continuous and devoid of any additional semantic layers; eliminating possible manifestations of discomfort glare and disability of a user by means of using a space consisting of interior surfaces with uniformly scattered illumination of moderate brightness; simultaneous comprehensive analysis of the aesthetic, psychological and physiological effects of colored light on a user in their environment. Further research in this area can be connected with identification and analysis of the main indicators of user's comfort in the lighting environment in order to outline ways to improve its energy efficiency without compromising the quality of lighting.

Keywords: chromatic light environment, chromotherapy, phototherapy, electric light baths.

Надійшла до редакції / Received 07.02.2020

Наукове видання

ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 33

Визнаний МОН України як наукове фахове видання України категорії “Б”, у якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття ступенів доктора і кандидата наук (Наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р.)

Збірник «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання» представлений на сайті <http://www.nbuv.gov.ua> національної бібліотеки НАН України ім. В. І. Вернадського та на сайті КНУБА (<http://vothp.knuba.edu.ua/>).

Підписано до друку 27.06.2020. Формат 60×84 1/8
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 7,32. обл. вид. арк. 7,67.
Наклад 100 прим. Замовлення № 161117

Надруковано в ТОВ “Видавництво “Юстон”
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36-а т: (044) 360-22-66, www.yuston.com.ua
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції серія дк № 797 від 09.09.2015 р.



- Група компаній «AEROSTAR GROUP» – український виробник енергоефективного та сучасного обладнання для вентиляції та кондиціонування повітря.

Компанія була заснована в 2008 році, головним пріоритетом діяльності якої є – підвищення рівня енергоефективності об'єктів різного призначення за допомогою комплексних рішень будь-якої складності.

Значна кількість об'єктів національного масштабу оснащені кліматичним обладнанням та BMS-системами нашого виробництва. Серед яких: інноваційний парк «Unit City», завод «Biopharma», надсучасний житловий комплекс «Smart Plaza», Національна дитяча спеціалізована лікарня «ОХМАТДИТ», перший органічний офісний центр «АСТАРТА», сертифікований по стандарту Breeam; завод «Електроконтакт Україна» – виробник електричних кабельних мереж до автомобілів концернів BMW, General Motors, VW, Daimler; новий термінал аеропорту «Одеса» та інші.

У 2018 році «AEROSTAR GROUP» визнано кращим енергоефективним виробником на Всеукраїнській будівельній премії «Ibuild». У 2019 році «AEROSTAR GROUP» вперше в Україні отримала міжнародний сертифікат «Eurovent».

До групи компаній "AEROSTAR GROUP" входять сім самостійних підприємств:

ТОВ ТД «АЕРОСТАР»
ТОВ ТД «АСІС»
ТОВ «АЕРОСТАР KZ»
ТОВ «АЕРОСВЕТ»
ТОВ «АЕРОСТАР МСК»
ТОВ «ВЕНТ-СЕРВІС»
ТОВ «ВЕНТКОНТРОЛ»

- Продукція «AEROSTAR GROUP»: енергоефективне повітрооброблюючі обладнання різної продуктивності (від 300 до 100 000 м³ / год), каналне вентиляційне обладнання, холодильне та обладнання для кондиціонування повітря: компресорно-конденсаторні блоки, VRF / VRV-системи, чиллери, фанкойли, адсорбційні осушувачі.

Ультрасучасні виробничі потужності підприємства, відділ нестандартних розробок, якісні комплектуючі провідних світових виробників дозволяють вирішувати завдання будь-якого рівня інженерної складності.

