

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Нові рішення в
сучасних технологіях**

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: New solutions in
modern technology**

№ 1(23)' 2025

No. 1(23)' 2025

Збірник наукових праць

Collection of Scientific papers

Видання засноване у 1961 р.

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2025

Kharkiv
NTU "KhPI", 2025

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2025. — № 1(23). — 107 с. — ISSN 2079-5459.

Видання публікує наукові результати та досягнення мультидисциплінарних досліджень молодих науковців широкого профілю у сферах машинобудування, енергетики, технологій органічних і неорганічних речовин, екології, інформаційних технологій і систем управління, техніки та електрофізики високих напруг, а також з фундаментальних аспектів сучасних технологій.

The journal publishes scientific results and accomplishments of multidisciplinary researches of young scientists of a wide profile in the field of machine building, energy, technologies of organic and inorganic substances, ecology, information technologies and control systems, high voltage techniques and electrophysics, as well as on the fundamental aspects of modern technologies.

Ідентифікатор медіа R30-02565, згідно з рішенням Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення від 11.01.2024 № 33.

Мова статей – українська, англійська.

Офіційний сайт видання: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/>

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях включено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії», **категорія «Б»** (накази МОН України № 409 від 17.03.2020 р. та №886 від 02.07.2020 р.).

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях» включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в наукометричну базу даних Index Copernicus (Польща), бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Засновник
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Редакційна колегія

Відповідальний редактор:

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАНУ, НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

Авдєєва О. П., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Байрачний В. Б., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Березка Т. О., НТУ «ХПІ», Україна
Брагіна Л. Л., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Бурлака М. В., SoftInWay Inc., США
Глушко А. В., НТУ «ХПІ», Україна
Гораш Є., проф., Університет Стратклайда, Великобританія
Гринченко Н. Г., доц., ХДУХТ, Україна
Данильченко Д. О., НТУ «ХПІ», Україна
Демидов І. М., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Єнікієєв О. Ф., доц., ДДМА, Україна
Заковоротний О. Ю., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Колодязна Л. В., ІПМаш НАНУ, Україна
Костик К. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Куліченко В. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Ларін О. О., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Львов Г. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Мазасва В. С., УкрНДІОЖ НАНУ, Україна
Меньшикова С. І., НТУ «ХПІ», Україна
Мінакова К. О., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Моїсєєв В. Ф., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Ноздрачова К. Л., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Носенко Т. Т., проф., НУХТ, Україна
Папченко В. Ю., УкрНДІОЖ НАНУ, Україна
Піментел С. Р., проф., Федеральний Університет Гояс, Бразилія
Пітак І. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Плеснецов С. Ю., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Раскін Л. Г., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Руденко С. С., НДПІКІ «Молнія» НТУ «ХПІ», Україна
Селін Р. В., ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, Україна
Сучков Г. М., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Тихомірова Т. С., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Томашевський Р. С., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Філенко О. М., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Хохлов М. А., ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, Україна
Шевченко С. Ю., проф., НТУ «ХПІ», Україна
Шестопалов О. В., доц., НТУ «ХПІ», Україна
Шідакова-Каменюка О. Г., доц., ХДУХТ, Україна

Editorial staff

Associate editor:

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of NASU, NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Avdieieva O. P., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Bairachnyi V. B., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Berezka T. O., NTU "KhPI", Ukraine
Bragina L. L., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Burlaka M. V., SoftInWay Inc., United States
Glushko A. V., NTU "KhPI", Ukraine
Gorash Ye., prof., University of Strathclyde, UK
Grynchenko N. G., docent, HDUHT, Ukraine
Danylchenko D. O., NTU "KhPI", Ukraine
Demidov I. N., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Yenikieiev O. F., docent, DSEA, Ukraine
Zakovorotniy A. Yu., prof., NTU "KPI", Ukraine
Kolodyazhnaya L. V., IPMash NASU, Ukraine
Kostyk K. O., prof., NTU "KPI", Ukraine
Kulichenko V. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Larin A. A., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Lvov G. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Mazaeva V. S., UkrRIOF NASU, Ukraine
Menshikova S. I., NTU "KhPI", Ukraine
Minakova K. O., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Moiseev V. F., prof., NTU "KPI", Ukraine
Nozdrachova K. L., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Nosenko T. T., prof., NUFT, Ukraine
Papchenko V. Yu., UkrRIOF NASU, Ukraine
Pimentel S., prof., Federal University of Goias, Brazil
Pitak I. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Plesnetsov S. Yu., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Raskin L. G., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Rudenko S. S., RDI "Molniya" NTU "KhPI", Ukraine
Selin R. V., E.O. Paton EWI NASU, Ukraine
Suchkov G. M., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Tykhomirova T. S., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Tomashevskiy R. S., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Filenko O. M., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Khokhlov M. A., E.O. Paton EWI NASU, Ukraine
Shevchenko S. Yu., prof., NTU "KhPI", Ukraine
Shestopalov A. V., docent, NTU "KhPI", Ukraine
Shidakova-Kamenyuka E. G., docent, HDUHT, Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 4 від 27 березня 2025 р.

UDC 661.2

doi:10.20998/2413-4295.2025.01.10

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE QUALITY OF THE FEEDSTOCK ON THE PROCESS OF CATALYTIC OXIDATION OF SO₂ TO SO₃ IN A CONTACT APPARATUS FOR THE PRODUCTION OF SULFURIC ACID

D. NOSALSKYI¹, D. DEINEKA¹, Yu. VETSNER^{1*}, E. MYKHAILOVA², O. KOBZIEV¹

¹Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, Catalysis and Ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

²Department of Healthy Lifestyle, Technologies and Life Safety, KhNEU im. S. Kuznets, UKRAINE

*e-mail: vetsner7@gmail.com

ABSTRACT In the modern sulfuric acid industry, vanadium catalysts play an important role in the oxidation of sulfur dioxide (SO₂) to sulfur trioxide (SO₃). However, the efficiency of these catalysts can be significantly reduced by the presence of impurities such as calcium and iron. In this article, we will consider the effect of these impurities on the operation of the first layer of vanadium catalyst and try to identify the optimal conditions for ensuring stable operation of the process, starting from the feedstock and ending with the compounds formed as a result of combustion in furnaces. Special attention is paid to the requirements for the feedstock, because they can significantly affect first the heat transfer, and then the activity of the catalyst and its hydraulic resistance. It has been shown that factors such as the origin of sulfur, the method of its transportation and the combustion temperature can be the main sources of calcium impurities, while the temperature of the sulfur combustion process, corrosion products of metal parts of the furnace and boiler recycler are the main sources of iron impurities. In addition, attention should be paid to the influence of the physicochemical properties of the starting material on the process of formation of calcium and iron compounds. It is important to consider not only the composition of the raw material, but also the conditions of its extraction, transportation and storage, since this can significantly affect the quality of the final product and the efficiency of the production process. It should be noted that controlling and minimizing the level of calcium and iron impurities is important for ensuring the stability of sulfuric acid production and preventing possible technological failures. For this, it is necessary to develop effective methods for monitoring and regulating the content of these elements at different stages of production. Studies show that calcium and iron impurities can lead to the formation of precipitates on the catalyst surface, which complicates the accessibility of active reaction centers and reduces its activity. This negatively affects the conversion of SO₂ to SO₃ and, accordingly, the product yield. Understanding the mechanisms of action of these impurities will help optimize the composition of vanadium catalysts and develop methods to prevent possible negative consequences of their use.

Keywords: vanadium catalyst; combustion; sulfur; sulfuric acid; impurities; calcium compounds; iron compounds

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ НА ПРОЦЕС КАТАЛІТИЧНОГО ОКИСЛЕННЯ SO₂ ДО SO₃ В КОНТАКТНОМУ АПАРАТІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

Д. В. НОСАЛЬСЬКИЙ¹, Д. М. ДЕЙНЕКА¹, Ю. І. ВЕЦНЕР^{1*}, Е. А. МИХАЙЛОВА², О. В. КОБЗЄВ¹

¹ Кафедра хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА

² Кафедра здорового способу життя, технологій та безпеки життєдіяльності ХНЕУ ім. С. Кузнеця, УКРАЇНА

АНОТАЦІЯ У сучасній промисловості виробництва сірчаної кислоти важливу роль відіграють ванадієві каталізатори, що використовуються для окислення сірки діоксиду (SO₂) до триоксиду сірки (SO₃). Однак, ефективність роботи цих каталізаторів може значно знижуватися через наявність домішок, таких як кальцій та залізо. У цій статті ми розглянемо вплив цих домішок на експлуатацію першого шару каталізатора ванадієвого і постараємося виявити оптимальні умови для забезпечення стабільної роботи процесу, починаючи з вихідної сировини і закінчуючи сполуками, що утворюються в результаті горіння в печах. Особлива увага приділяється вимогам до вихідної сировини, тому що вони можуть суттєво впливати спочатку на тепловіддачу, а потім активність каталізатора та його гідравлічний опір. Було показано, що такі фактори, як походження сірки, спосіб її транспортування та температура горіння можуть бути основними джерелами утворення кальцієвих домішок, в той час як температура процесу спалювання сірки, продукти корозії металевих деталей печі та утилізатора котла є основними джерелами утворення залізних домішок. Крім того, слід звернути увагу на вплив фізико-хімічних властивостей вихідної сировини на процес утворення сполук кальцію та заліза. Важливо враховувати не лише склад сировини, а й умови її видобутку, транспортування та зберігання, оскільки це може суттєво вплинути на якість кінцевої продукції та ефективність виробничого процесу. Слід зазначити, що контроль та мінімізація рівня кальцієвих та залізних домішок мають важливе значення для забезпечення стабільності виробництва сульфатної кислоти та запобігання можливим технологічним збійм. Для цього необхідно розробити ефективні методи моніторингу та регулювання змісту даних елементів на різних етапах виробництва. Дослідження показують, що домішки кальцію та заліза можуть призводити до утворення опадів на поверхні каталізатора, що ускладнює доступність активних центрів реакції та зменшує його активність. Це негативно впливає на конверсію SO₂ в SO₃ і, відповідно, на вихід продукту. Розуміння механізмів дії цих домішок допоможе оптимізувати склад ванадієвих каталізаторів та розробити методи запобігання можливим негативним наслідкам їх використання.

Ключові слова: ванадієвий каталізатор; горіння; сірка; сульфатна кислота; домішки; сполуки кальцію; сполуки заліза

Introduction

One of the main problems in the operation of the first layer of vanadium catalyst for oxidation of SO₂ to

SO₃ in the production of sulfuric acid is the rapid growth of hydraulic resistance of the catalyst due to the influx of solid impurities (ash) in the form of dust [1-4]. This is

especially true after starting operations and after reloading the catalyst.

According to some authors [5,6], a component of this "ash" is a combination of calcium compounds in the form of CaO and iron in the form of sulfate salts such as FeSO_4 and $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. The main way to remove such "ash" from the technology is the use of filters - settling tanks and liquid sulfur filters, which are installed in the supply of liquid sulfur at the entrance to the sulfur combustion furnace. But these methods only solve the consequences of the presence of undesirable impurities in production and do not solve the problem of their occurrence.

Purpose of work

The main purpose of this work was to address the origin of these calcium and iron compounds, so that in the future it was possible to take measures to eliminate them. Let us first consider the question of the nature of the occurrence of calcium compounds in reaction gases.

Presentation of the main material

Considering the possible sources of calcium during sulfur combustion, it can be assumed that it may arise either from sulfur itself, or from the destruction products of the lining of the sulfur combustion furnace and cement mortar used to bind this lining, or introduced into the furnace by some other means in the form of various impurities.

Sulfuric acid companies typically use lump sulfur grade 9950, which is a product of natural gas purification, and high-quality sulfur with a low carbon content of grades 9990 and 9998 as raw materials.

According to the technology, when sulfur enters the furnace through the nozzles, it must be liquid and free of ash and iron, not only to prevent clogging of the nozzles, but also, mainly to reduce dusting of the gas stream by solid particles that are deposited in the boiler, reducing its heat transfer parameters, and then planted on the catalyst, reduce its activity and increase hydraulic resistance.

Therefore, for liquid sulfur there are the following requirements:

- ash content not more than 0.003%;
- the content of organic impurities is not more than 0.06%.

When transporting lump sulfur, as a rule, open gondola cars are used, where the hatches are fixed with iron wire, the gaps are sealed with boards and plugged with paper. And all these impurities get into the sulfur, which, in turn, leads to difficulties in the operation of sulfur smelters and filters.

In addition to ash and organic impurities, the operation of the raw material preparation unit is complicated by corrosion of the equipment. One of the factors that can cause corrosion is the use of sulfur as a raw material, which is used in acid treatment, which takes place in some industries in other countries. The content of sulfuric acid in the sulfur obtained in this way is up to 0.1%, and the content of chloride ions up to 0.01 to 0.04%. An example is the use

of sulfur a few years ago at the Sumykhimprom plant, which was purified using AlCl_3 . When such sulfur got into the smelting furnace, which was made of ferrous metal, intense corrosion of the metal was observed.

In addition to ash and organic impurities, the operation of the raw material preparation unit is complicated by corrosion of the equipment. One of the factors that can cause corrosion is the use of sulfur as a raw material, which is used in acid treatment, which takes place in some industries in other countries. The content of sulfuric acid in the sulfur obtained in this way is up to 0.1%, and the content of chloride ions up to 0.01 to 0.04%. An example is the use of sulfur a few years ago at the Sumykhimprom plant, which was purified using AlCl_3 . When such sulfur got into the smelting furnace, which was made of ferrous metal, intense corrosion of the metal was observed.

The process of sulfur combustion has been sufficiently studied [7-9] and we should only note that at high temperatures the rate of the chemical reaction of sulfur oxidation is greater than the rate of physical processes occurring in the furnace. Therefore, the speed of the sulfur combustion process will be limited by the processes of mass and heat transfer, ie it takes place in the diffusion mode.

In the study of burning sulfur droplets using kinograms and oscillograms, it was confirmed together with the authors [8,9] that the process has an "explosive" nature, and the evaporation time of sulfur droplets is less than their time in the combustion chamber. In addition, it was found that the process of combustion in the flare mode is much faster than from the surface of the droplets, due to the lack of products of interaction of impurities with sulfur in the reaction gases.

In the course of research, the quality of granulated sulfur of Kazakh origin, obtained from oil and gas raw materials, was analyzed for the presence of calcium and iron compounds in sulfur.

According to the results of research it can be concluded that a significant amount of calcium and iron in the samples of granular sulfur was not found, their content was less than 0.015% of the mass.

It is known from the literature [2,8,10] that solid and organic impurities are separated from the molten sulfur in the process of its settling, and, in addition, before feeding into the furnace, the melt is filtered. Lime (0.15 kg / t of sulfur) is sometimes added to sulfur to neutralize acidic impurities and prevent corrosion, and this may be one of the sources of calcium introduced into the study.

Another object of study was the lining of the sulfur combustion furnace. An analysis of the literature on the theory of the use of refractory materials for thermal insulation of thermal technological units revealed that there are no special materials for lining in the sulfuric acid industry, namely sulfur combustion furnaces.

All proposals in this regard are based only on theoretical considerations about the critical combustion temperature of sulfur 1200 - 1300 °C and the provisions that at temperatures above 1300 °C the lining loses performance [11,12]. There are almost no research results on the processes that occur in the materials used for

lining, taking into account their physicochemical properties. It is not clear the nature of the processes occurring in the thermal insulation material in the conditions of operation of the furnace for burning sulfur, due to which processes is the destruction of the lining.

It can be assumed that for the metallurgical (steel, blast furnace), cement, construction, glass industry, as well as coke production, it is not particularly important, but for the chemical industry (production of sulfuric and nitric acids, etc.), where there are catalysts that react to the presence of foreign substances and catalytic poisons, it is very important.

It should also be noted that the specified temperature of 1300 °C is not critical for refractory materials, in the above-mentioned metallurgical processes, materials are widely used at operating temperatures of 1500 - 1850 °C. As a rule, refractory products are used for lining for stabilizing chambers of gas burners of the SHA and MLSG-62 brands, in which only the content of Al_2O_3 (62% by weight) and Fe_2O_3 (not more than 1.5% by weight) is normalized.

On the other hand, the clay used for the installation of refractory fireclay bricks contains:

- silicon oxide SiO_2 60 - 80%;
- alumina Al_2O_3 5 - 20%;
- iron oxide Fe_2O_3 and FeO - 10%;
- calcium oxide CaO 0 - 25%;
- magnesium oxide MgO 0 - 3%.

The presence of chalk particles (CaCO_3) with a size of 1 - 2 mm leads to the formation of CaO during firing.

Studies of MSh (marl-chamotte) bricks and chrome-magnesia bricks of the Slavic plant and cement, which were used in the lining of the sulfur combustion furnace at RPE "Zarya" Ltd. in May 2021, showed that the CaO content is insignificant.

The studies were performed by X-ray diffraction analysis of the phase composition of the samples on an X-ray diffractometer. X-ray structural studies of the phase composition of the samples showed that the samples have the following phases:

- cement: quartz (SiO_2), kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), calcite (CaCO_3), feldspars, mica;
- marl-fireclay brick: mullite ($3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), quartz (SiO_2), tridymite (SiO_2), cristobalite (SiO_2);
- chrome-magnesia brick: periclase (MgO), magnesia-chrome spinel ($\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$).

It should also be noted another possible source of calcium in the system. Since Soviet times, it has been recommended to place a so-called substrate on the lattice of the catalyst bed, which usually consisted of pieces of quartz, which was necessary to maintain the heat capacity of the catalyst.

Thus, in [12] it is noted that this quartz was not specially made for the production of sulfuric acid, there were no regulations for its production and the characteristics to which it must meet were not regulated. All this led to the fact that there were cases when sulfate plants were supplied with quartz not only different in size, but also with different chemical composition, including different amounts of

calcium salts. Sometimes instead of ground quartz used the so-called fireclay crumb, which was obtained by crushing fireclay bricks and which may also contain calcium salts.

Some instructions recommended laying quartz on the surface of the catalyst bed. It is obvious that quartz can be used only after a special wash, which would eliminate the formation of dust and dirt on the quartz itself.

In modern Western technologies, such as BASF systems, it is recommended to use as the first layer special "support ceramic balls" type C167, article number BASF 54641770, which are inert ceramic balls with a diameter of about 20 - 25 mm and have a high degree of thermal resistance. and mechanical impact. The operating temperature is above 980 °C, and the low porosity and hygroscopicity do not lead to interaction with the reaction gases. These beads have the following chemical composition, % wt.: 64 - 75 SiO_2 ; 19-26 Al_2O_3 ; <1.5 TiO_2 ; <0.5 CaO ; <1.5 Fe_2O_3 .

Let us now consider the problem of iron compounds entering the first catalyst bed. It is known that at relatively low temperatures in the presence of potassium and iron can form iron-potassium alum [13], which can cause a change in the chemical composition of the active substance of the oxidation catalyst SO_2 to SO_3 by reducing the potassium content in the mass. To confirm this, an X-ray phase analysis of spent vanadium catalysts was performed, which resulted in the presence of $\text{KFe}(\text{SO}_4)$ and $[\text{K}(\text{Fe}, \text{Al})\text{SO}_4]_2$ salts, both on the surface and in the depth of the granules.

One of the possible sources of iron may be pyrite FeS_2 [13], which can be formed at the initial stage of melt sulfur, as well as in stagnant areas of the kiln due to contact of sulfur with metal parts of the equipment. Also, the corrosion products of metal parts of the equipment of the kiln and the boiler-utilizer can be a source of iron compounds, which through the pipeline is on the catalyst layer.

In [14] it is shown that per 1 m^2 of the surface of the first layer of the catalyst is sometimes delayed about 250 - 300 g of iron oxides, if we assume that the mass of 1 cm^2 of iron oxides is 0.28 g. It can be argued that under such conditions the layer will be damaged by about 3% of the surface of the catalyst layer.

The causes of corrosion can be a violation of the temperature regime in the furnace, because it is known that at temperatures of 350 - 400 °C the formation of SO_3 (up to 35%), and at temperatures of 1200 °C and above nitrogen oxides are formed [2,8,11].

Conclusions

To reduce the impact of contamination of the layers of vanadium catalysts, especially I and IV, in the DK / DA system, we propose to take the following measures:

- to organize storage of lump sulfur in warehouses, excluding its pollution by dust, lime, corrosion products;
- to improve the filtration stage of liquid sulfur, excluding impurities that may contain lime;
- maintain the norms of the technological mode of operation of the sulfur combustion furnace, excluding the operation of the furnace at temperatures below 500 °C and

above 1200 °C, understanding that at such temperatures can be reproduced acid-forming oxides SO₃ and NO₂, which can lead to equipment corrosion;

- before each start-up of the system to carry out thorough cleaning of the inner surface of the furnace from dust, corrosion products and dirt;

- install filters on the gas path of the reaction gases after the boiler-utilizer;

- carefully follow the provisions for laying and starting vanadium catalysts, especially the first layer;

- load as the first layer of the upper part of the catalyst or an annular tubular catalyst with a diameter of 10 - 15 mm, or ceramic refractory balls on a sample from BASF;

- to develop refractory elements (bricks and cement) exclusively for the sulfuric acid industry for lining, which would not contain calcium and iron compounds.

Список літератури

1. Ivanenko I. M., Dontsova T. A., Fedenko Yu. M. Adsorption, adsorbents and catalysts based on them. *Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Chemical Technology*. 2019. 256 p.
2. Концевой А. Л., Концевой С. А. Технологія неорганічних кислот і солей Технологія і алгоритми розрахунків виробництва сульфатної кислоти. *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*. 2023. 150 с.
3. Akola J., Unnikrishnan P., Joshi M. B., Chinthala P. K., Dhaduk B. Insight studies on the deactivation of sulfuric acid regeneration catalyst. *Journal of the Indian Chemical Society*. 2024. Vol. 101. Issue 4. P. 101-140. doi: 10.1016/j.jics.2024.101140.
4. Li S., Wang B., Liang Z., Qi L. Insights into P-doping effect of the activity and anti-SO₂/H₂O poisoning of V₂O₅-MoO₃/TiO₂ catalysts for NH₃-SCR. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2025. Vol. 13. P. 114978. doi: 10.1016/j.jece.2024.114978.
5. Zhang Y. Recent advances in the polymerization of elemental sulphur, inverse vulcanization and methods to obtain functional Chalcogenide Hybrid Inorganic/Organic Polymers (CHIPs). *Polymer Chemistry*. 2019. Vol. 10, no. 30. P. 4078–4105. doi: 10.1039/c9py00636b.
6. Curran G. P. Production of Clean Fuel Gas from Bituminous Coal. University of Illinois at Urbana. *National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce*. 2018. 237 p.
7. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Sulphuric Acid and Fertilizer Industries. *Production of sulphuric acid*. Booklet No. 3 of 8. 2000. 68 p.
8. Wasim Ullah Khan. Nanomaterials in catalysis. *Handbook of Nanomaterials*. 2024. Vol. 1. P. 393-420. doi: 10.1016/B978-0-323-95511-9.00030-5.
9. Sepehrian M., Anbia M., Hedayatzadeh M. H., Yazdi F. SO₂ dry-based catalytic removal from flue gas leading to elemental sulfur production: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024. Vol. 182. P. 456-480. doi: 10.1016/j.psep.2023.11.077.
10. Іванченко Л. В., Кожухар В. Я., Усатюк І. І. Технологія сульфатної кислоти. Навчальний посібник. 2021. 196 с.
11. Zidi Yan, Wenpo Shan, Xiaoyan Shi, Guangzhi He, Zhihua Lian, Yunbo Yu, Yulong Shan, Jingjing Liu, Hong He. The

way to enhance the thermal stability of V₂O₅-based catalysts for NH₃-SCR. *Catalysis Today*. 2020. Vol. 35. P. 408-414.

12. Mengxia Qing, Sheng Su, Lele Wang, Lijun Liu, Kai Xu, Limo He, Xu Jun, Song Hu Getting insight into the oxidation of SO₂ to SO₃ over V₂O₅-WO₃/TiO₂ catalysts: Reaction mechanism and effects of NO and NH₃. *Chemical Engineering Journal*. 2019. Vol. 361. 1. P. 1215-1224.
13. Liqun Lian, Dexing Kong, Yan Wang, Yangxian Liu. A review on sulfur trioxide (SO₃) removal from coal combustion process: Research progress challenges and suggestions. *Separation and Purification Technology*. 2025. Vol. 358. Part B. P. 130190. doi: 10.1016/j.seppur.2024.130190.
14. Santos D. P., Pelissari P. I. B. G. B., de Oliveira B. S., Leiva D. R., de Mello R. F., Pandolfelli V. C. Materials selection of furnace linings with multi-component refractory ceramics based on an evolutionary screening procedure. *Ceramics International*. 2020. Vol. 46, Issue 4. P. 4113-4125. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.10.127.

References (transliterated)

1. Ivanenko I. M., Dontsova T. A., Fedenko Yu. M. Adsorption, adsorbents and catalysts based on them. *Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Chemical Technology*. 2019. 256 p.
2. Kontsevoy A. L., Kontsevoy S. A. Tekhnolohiya neorhanichnykh kyslot i soley Tekhnolohiya i alhorytmy rozrakhunkiv vyrobnytstva sul'fatnoyi kysloty. *Natsional'nyy tekhnichnyy universytet Ukrayiny «Kyivskyy politekhnichnyy instytut imeni Ihorya Sikors'koho»*. 2023. 150 p.
3. Akola J., Unnikrishnan P., Joshi M. B., Chinthala P. K., Dhaduk B. Insight studies on the deactivation of sulfuric acid regeneration catalyst. *Journal of the Indian Chemical Society*, 2024, vol. 101, issue 4, pp. 101-140, doi: 10.1016/j.jics.2024.101140.
4. Li S., Wang B., Liang Z., Qi L. Insights into P-doping effect of the activity and anti-SO₂/H₂O poisoning of V₂O₅-MoO₃/TiO₂ catalysts for NH₃-SCR. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2025, vol. 13, pp. 114978, doi: 10.1016/j.jece.2024.114978.
5. Zhang Y. Recent advances in the polymerization of elemental sulphur, inverse vulcanization and methods to obtain functional Chalcogenide Hybrid Inorganic/Organic Polymers (CHIPs). *Polymer Chemistry*, 2019, vol. 10, no. 30, pp. 4078–4105, doi: 10.1039/c9py00636b.
6. Curran G. P. Production of Clean Fuel Gas from Bituminous Coal. University of Illinois at Urbana. *National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce*. 2018. 237 p.
7. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Sulphuric Acid and Fertilizer Industries. *Production of sulphuric acid*. Booklet No. 3 of 8. 2000. 68 p.
8. Wasim Ullah Khan. Nanomaterials in catalysis. *Handbook of Nanomaterials*, 2024, vol. 1, pp. 393-420, doi: 10.1016/B978-0-323-95511-9.00030-5.
9. Sepehrian M., Anbia M., Hedayatzadeh M. H., Yazdi F. SO₂ dry-based catalytic removal from flue gas leading to elemental sulfur production: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 2024, vol. 182, pp. 456-480, doi: 10.1016/j.psep.2023.11.077.
10. Ivanchenko L. V., Kozhukhar V. Ya., Usatyuk I. I. Tekhnolohiya sul'fatnoyi kysloty. Navchal'nyy posibnyk. 2021, 196 p.
11. Zidi Yan, Wenpo Shan, Xiaoyan Shi, Guangzhi He, Zhihua Lian, Yunbo Yu, Yulong Shan, Jingjing Liu, Hong He The

- way to enhance the thermal stability of V_2O_5 -based catalysts for NH_3 -SCR. *Catalysis Today*. 2020, vol. 35, pp. 408-414.
12. Mengxia Qing, Sheng Su, Lele Wang, Lijun Liu, Kai Xu, Limo He, Xu Jun, Song Hu Getting insight into the oxidation of SO_2 to SO_3 over V_2O_5 - WO_3 / TiO_2 catalysts: Reaction mechanism and effects of NO and NH_3 . *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 361. 1, pp. 1215-1224.
13. Liqun Lian, Dexing Kong, Yan Wang, Yangxian Liu. A review on sulfur trioxide (SO_3) removal from coal combustion process: Research progress challenges and suggestions. *Separation and Purification Technology*, 2025, vol. 358, part B, pp. 130190, doi: 10.1016/j.seppur.2024.130190.
14. Santos D. P., Pelissari P. I. B. G. B., de Oliveira B. S., Leiva D. R., de Mello R. F., Pandolfelli V. C. Materials selection of furnace linings with multi-component refractory ceramics based on an evolutionary screening procedure. *Ceramics International*, 2020, vol. 46, issue 4, pp. 4113-4125, doi: 10.1016/j.ceramint.2019.10.127.

Відомості про авторів (About authors)

Nosalskyi Dmytro Vladyslavovych – Postgraduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, Catalysis and Ecology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0851-6285>

Носальський Дмитро Владиславович – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; кафедра хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0851-6285>

Deineka Dmytro Mykolayovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, Catalysis and Ecology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5233-6898>; e-mail: dmytro.deineka@khpi.edu.ua

Дейнека Дмитро Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5233-6898>; e-mail: dmytro.deineka@khpi.edu.ua

Vetsner Yulana Igorivna – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, Catalysis and Ecology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0362-4650>; e-mail: Yulana.Vetsner@khpi.edu.ua

Вецнер Юлана Ігорівна – кандидат технічних наук, старша викладачка, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0362-4650>; e-mail: Yulana.Vetsner@khpi.edu.ua

Mykhailova Evgenia Oleksandrivna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Associate Professor at the Department of Healthy Lifestyle, Technologies and Life Safety; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0182-0823>; e-mail: mykhailova.e@ukr.net

Михайлова Євгенія Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, доцент кафедри здорового способу життя, технологій і безпеки життєдіяльності; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0182-0823>; e-mail: mykhailova.e@ukr.net

Kobziev Oleksandr Viktorovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department, Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, Catalysis and Ecology; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2048-5685>; e-mail: oleksandr.kobziev@khpi.edu.ua

Кобзєв Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри, кафедри хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2048-5685>; e-mail: oleksandr.kobziev@khpi.edu.ua

Please cite this article as:

Nosalskyi D., Deineka D., Vetsner Yu., Mykhailova E., Kobziev O. Study of the influence of the quality of the feedstock on the process of catalytic oxidation of SO_2 to SO_3 in a contact apparatus for the production of sulfuric acid. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 1(23), pp. 76–80, doi:10.20998/2413-4295.2025.01.10.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Носальський Д. В., Дейнека Д. М., Вецнер Ю. І., Михайлова Е. А., Кобзєв О. В. Дослідження впливу якості вихідної сировини на процес каталітичного окислення SO_2 до SO_3 в контактному апараті для виробництва сірчаної кислоти. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 1 (23). С. 76-80. doi:10.20998/2413-4295.2025.01.10.

Надійшла (received) 13.01.2025
Прийнята (accepted) 14.03.2025

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ".
СЕРІЯ: НОВІ РІШЕННЯ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

Збірник наукових праць

№ 1(23)' 2025

Відповідальний редактор: Є. І. Сокол, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна
Технічний редактор: С. І. Меньшикова, канд. фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Україна
Відповідальний секретар: Р. С. Томашевський, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна
С. І. Меньшикова, канд. фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний за випуск: д-р техн. наук, проф. Р. С. Томашевський

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ ТА ВИДАВЦЯ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Рада молодих вчених, тел. (057)707-69-37, e-mail: vestnik.nsmi@khpі.edu.ua

Підп. до друку «31» березня 2025 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,9. Облік.вид.арк. 4,7.
Тираж 50 прим. Зам. № 511. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК №5478 від 21.08.2017
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
