

**Tenth International Environmental Congress
(Twelfth International Scientific-Technical
Conference) «ECOLOGY AND LIFE PROTECTION
OF INDUSTRIAL-TRANSPORT COMPLEXES»
24-27 September, 2025 SAMARA-TOGLIATTI, RUSSIA**

ELPIT 2025

Volume 2 Том 2

**SCIENTIFIC SYMPOSIA «PHYSICS-CHEMISTRY AND
TECHNOLOGY OF NEW ECOLOGICALLY SAFE
FUNCTIONAL MATERIALS», «PROBLEMS AND
INNOVATIVE DECISIONS IN THE FIELD OF ENGINEERING
PROVISION OF ECOLOGICAL AND INDUSTRIAL SAFETY OF
URBAN TERRITORIES», «URBAN ECOLOGY»**

**НАУЧНЫЕ СИМПОЗИУМЫ «ФИЗИКО-ХИМИЯ И
ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ», «ПРОБЛЕМЫ И
ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ
ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВА-
ННЫХ ТЕРРИТОРИЙ», «УРБОЭКОЛОГИЯ»**

**десятого международного экологического конгресса
(двенадцатой Международной научно-технической
конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности
промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2025»**

Россия, Самарская область, гг. Самара, Тольятти,

24-27 сентября 2025 г.

**EDITOR: DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCE, PROFESSOR ANDREY
VASILYEV**

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР: Д.Т.Н., ПРОФЕССОР А.В. ВАСИЛЬЕВ

УДК 504: 331
ББК 20.1:20.18:68.9
Е46

E46 Proceedings of the Tenth International Environmental Congress (Twelfth International Scientific-Technical Conference) «Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes» ELPIT 2025 24-27 September, 2025 Samara-Togliatti, Russia: Edition ELPIT. Printed in Publishing House of Samara Scientific Centre, 2025. V. 2, Scientific symposia «Physics-Chemistry and Technology of New Ecologically Safe Functional Materials», «Problems and Innovative Decisions in the Field of Engineering Provision of Ecological and Industrial Safety of Urban Territories», «Urban Ecology»— p. 235.

E46 Сборник трудов десятого международного экологического конгресса (двенадцатой международной научно-технической конференции) "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2025, 24-27 сентября 2025 г., гг. Самара - Тольятти, Россия: Издательство «ELPIT». Отпечатано в АНО «Издательство СНЦ». 2025. Т.2, научные симпозиумы «Физико-химия и технологии новых экологически безопасных функциональных материалов», «Проблемы и инновационные решения в области инженерного обеспечения экологической и промышленной безопасности урбанизированных территорий», «Урбоэкология» – 235 с.

Scientific Redactor of Proceedings: Andrey V. Vasilyev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Technosphere Safety and of Quality Management, Director of Povolzhsky Resources Center of Engineering Ecology and of Chemical Technology of Samara State Technical University, Russia

Scientific Board: Carmine Gambardella, Professor, President and CEO BENECON UNESCO Chair, Italy; Valery P. Meshalkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Russia; Gennady S. Rosenberg, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Russia; Dmitry E. Bykov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia; Andrey V. Vasilyev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia; Nicolay I. Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia; Yury V. Trofimenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia; Ilydar G. Shaykhiev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia; Erkin A. Djailaybekov, Candidate of Technical Sciences, Professor, Republic of Kazakhstan; Gagik O. Torosyan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Republic of Armenia; Jenny Pange, Professor, Greece; Sergio Sibilio, Professor, Italy; Janis I. Ievinsh, Doctor of Economical Sciences, Professor, Latvia; Dr. Sergio Luzzi, Italy; Nicola Pisacane, Professor, Italy

Научный редактор сборника: Васильев А.В., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность и управление качеством», директор научно-технического центра техносферной безопасности и новых материалов, Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Редакционная коллегия: профессор К. Гамбарделла (Италия); д.т.н., профессор, академик РАН В.П. Мешалкин, д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг, д.т.н., профессор Д.Е. Быков, д.т.н., профессор А.В. Васильев, д.т.н., профессор Н.И. Иванов, д.т.н., профессор Ю.В. Трофименко, д.т.н., профессор И.Г. Шайхиев, к.т.н, профессор Е.А. Джайлаубеков (Казахстан), д.х.н., профессор Г.О. Торосян (Армения), профессор Дж. Панге (Греция), профессор С. Сибиллио (Италия), д.э.н., профессор Я.И. Иевинш (Латвия), доктор С. Луцци (Италия), профессор Н. Писакане (Италия)

Рекомендовано к изданию научным комитетом международного экологического конгресса ELPIT 2025 и издательством ELPIT

ISBN 978-5-6055329-1-0

© Васильев А.В. – научный
руководитель конгресса, 2025

СОДЕРЖАНИЕ. CONTENTS

С. 11-73

1. Научный симпозиум «Физико-химия и технологии новых экологически безопасных функциональных материалов», посвящённый 110-летию со дня рождения Л.А. Костандова – министра химической промышленности СССР

РР. 11-73

1. Scientific symposium «Physics-Chemistry and Technology of New Ecologically Safe Functional Materials», dedicated to the 100 years of anniversary of L.A. Kostandov – ministry of chemical industry of the USSR

С. 12-30

A.V. Vasilyev

PECULIARITIES OF PHYSICAL-CHEMICAL DIAGNOSTICS
CHARACTERISTICS OF POLYMER-INORGANIC COMPOSITE
MATERIALS

А.В. Васильев

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

С. 31-36

D.V. Gainulova

NEW MATERIALS FOR MEMBRANE HOUSINGS AND CASSETTES:
IMPACT ON DURABILITY AND OPERATION

Д.В. Гайнулова

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОРПУСОВ И КАССЕТ МЕМБРАН:
ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ

С. 37-44

D.A. Golov, L.N. Olshanskaya

CHITOSAN-BASED MAGNETIC COMPOSITE MATERIAL FOR
WASTEWATER TREATMENT FROM ANIONIC SURFACTANTS

Д.А. Голов, Л.Н. Ольшанская

МАГНИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ
ХИТОЗАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИОННЫХ ПАВ

С. 45-50

А.М. Kuzminskaya, M.V. Buzaeva

PHYSICO-CHEMICAL ASPECTS OF INTRODUCING ADDITIVES INTO
GASOLINE DURING STORAGE FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

А.М. Кузьминская, М.В. Бузаева

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВВЕДЕНИЯ ПРИСАДОК В БЕНЗИН
ПРИ ХРАНЕНИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

С. 51-58

E.S. Nikolaeva, R.K. Zakirov, E.S. Balymova, F.Yu. Akhmadulina

POSSIBILITIES AND POTENTIAL OF BIOLOGICAL FILTRATION
TECHNOLOGIES IN CLEANING OF GAS-AIR MIXTURES

Е.С. Николаева, Р.К. Закиров, Е.С. Балымова, Ф.Ю. Ахмадулина

ВОЗМОЖНОСТИ И ПОТЕНЦИАЛ БИОФИЛЬТРАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ В ОЧИСТКЕ ГАЗО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

С. 59-66

G.O. Nikolsky, A.N. Varakin, N.A. Vinogradov, S.V. Vostrikov

SYNTHESIS OF HIGHER ALCOHOLS FROM SYNTHESIS GAS ON KCoMo
SULFIDE CATALYZERS. INFLUENCE OF THE CARRIER NATURE ON
PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES AND CATALYTIC ACTIVITY

Г.О. Никольский, А.Н. Варакин, Н.А. Виноградов, С.В. Востриков

СИНТЕЗ ВЫСШИХ СПИРТОВ ИЗ СИНТЕЗ ГАЗА НА KCoMo
СУЛЬФИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НОСИТЕЛЯ
НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАТАЛИТИЧЕСКУЮ
АКТИВНОСТЬ

С. 67-73

V.A. Perov, S.V. Dolzhenkov, A.V. Zvyagintseva

WAYS TO REDUCE THE TOXICITY OF MATERIALS: STUDYING THE PROSPECTS OF USING ALUMINIUM NITRIDE-BASED CERAMICS AS A CASE MATERIAL IN THE ELECTRONIC INDUSTRY

В.А. Перов, С.В. Долженков, А.В. Звягинцева

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ: ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОРПУСИРОВАНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. 74-152

2. Научный симпозиум «Проблемы и инновационные решения в области инженерного обеспечения экологической и промышленной безопасности урбанизированных территорий»

РР. 74-152

2. Scientific symposium «Problems and Innovative Decisions in the Field of Engineering Provision of Ecological and Industrial Safety of Urban Territories»

С. 75-82

D.E. Blinova, A.S. Blinov, M.V. Shuvarin, E.E. Borisova

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL PROTECTION MEANS OF LOWER EXTREMITIES IN CONDITION OF WORKING AT LOW TEMPERATURES

Д.Е. Блинова, А.С. Блинов, М.В. Шуварин, Е.Е. Борисова

АНАЛИЗ И РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

С. 83-88

A.A. Gareev, A.A. Igolkin, A.O. Pantyushin

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SILENCER CONTAMINATION ON ITS THROUGHPUT

А.А. Гареев, А.А. Иголкин, А.О. Пантюшин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЛУШИТЕЛЯ НА ЕГО ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

C. 89-95

A.F. Danilyuk, P.A. Moshkov, M.N. Ostroumov, V.V. Rubanovsky

STUDY OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF AEROGEL IN AN IMPEDANCE TUBE

А.Ф. Данилюк, П.А. Мошков, М.Н. Остроумов, В.В. Рубановский

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОГЕЛЯ В ИМПЕДАНСНОЙ ТРУБЕ

C. 96-102

S.V. Dolzhenkov, V.A. Perov, A.V. Zvyagintseva

IMPROVING TECHNOSPHERE SAFETY: IMPROVING OF THE QUALITY OF CONTACT JOINTS IN THE PRODUCTION BY OPTIMIZING WELDING BY WEDGE

С.В. Долженков, В.А. Перов, А.В. Звягинцева

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КЛИНОВИДНОЙ СВАРКИ

C. 103-112

E.V. Druzhkova, E.E. Borisova

IMPROVEMENT OF CONDITIONS AND SAFETY OF LABOR OF OPERATORS IN WAREHOUSES FACILITIES

Е.В. Дружкова, Е.Е. Борисова

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ОПЕРАТОРОВ В СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

C. 113-119

O.F. Larionova

IMPLEMENTATION OF EXOSKELETONS AS AN EFFECTIVE WAY TO REDUCE THE SEVERITY OF LABOR IN PRODUCTION

О.Ф. Ларионова

ВНЕДРЕНИЕ ЭКСОСКЕЛЕТОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТЯЖЕСТИ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

C. 120-128

A.V. Maistruk, S.V. Parfenov

TASK OF OPTIMIZING THE PROGRAM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES, TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY INDICATORS OF DIAGNOSTIC TOOLS

A.B. Майструк, С.В. Парфенов

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

C. 129-137

A.V. Maistruk, S.V. Parfenov

TASK OF LOCAL OPTIMIZATION OF STOCKS OF CRITICAL ITEMS TAKING INTO ACCOUNT SAFETY REQUIREMENTS

A.B. Майструк, С.В. Парфенов

ЗАДАЧА ЛОКАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПАСОВ ЭЛЕМЕНТОВ КРИТИЧНОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

C. 138-145

A.V. Maistruk, S.V. Parfenov

ASSESSMENT OF RELIABILITY AND SAFETY INDICATORS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS AT STAGES OF PHYSICAL AGING

A.B. Майструк, С.В. Парфенов

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПАХ ФИЗИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

C. 146-152

O.V. Plitsyna

THE PACKAGE OF DESIGN ASSIGNMENTS FOR AERODYNAMIC NOISE PROTECTION

О.В. Плицына

ПАКЕТ ЗАДАНИЙ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА

C. 153-234

3. Научный симпозиум «Урбоэкология»

PP. 153-234

3. Scientific symposium «Urban Ecology»

C. 154-161

I.A. Basharina, D.G. Malakhov

ON THE QUESTION OF ASSESSING ENVIRONMENTAL DAMAGE
FROM ACCIDENTS AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES
OF THE OIL INDUSTRY

И.А. Башарина, Д.Г. Малахов

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ АВАРИЙ НА
ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЯНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

C. 162-167

A.S. Bukhtin

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF A MODERN PETROLEUM PRODUCT
ACCOUNTING SYSTEM FOR AN ENTERPRISE

А.С. Бухтин

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ
УЧЕТА НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

C. 168-173

R.R. Valieva, E.V. Serazeeva

WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY AT A HOUSING AND
COMMUNAL SERVICES ENTERPRISE

Р.Р. Валиева, Е.В. Серазеева

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

C. 174-195

A.V. Vasilyev

STRUCTURE AND DESCRIPTION OF BLOCKS OF DATABASE OF RESULTS OF SYSTEMATIZATION AND RANGING OF CHEMICAL COMPONENTS AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER-INORGANIC CONSTRUCTION COMPOSITES

A.B. Васильев

СТРУКТУРА И ОПИСАНИЕ БЛОКОВ БАЗЫ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ СИСТЕМАТИЗАЦИИ И РАНЖИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

C. 196-199

A.D. Volkova, O.V. Tupitsyna

ANALYSIS OF APPROACHES TO THE ESTIMATION OF VARIABILITY OF THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

А.Д. Волкова, О.В. Тупицына

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

C. 200-205

O.V. Dukhanina, Y.V. Kobeleva, A.S. Sirotkin

APPLICATION OF A COMBINED REAGENT PREPARATION IN BIOTECHNOLOGY OF WASTEWATER TREATMENT

О.В. Духанина, Й.В. Кобелева, А.С. Сироткин

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО РЕАГЕНТНОГО ПРЕПАРАТА В БИОТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

C. 206-212

T.D. Larionov

AUTOMATION OF THE OIL STORAGE PROCESS SAFETY SYSTEM

Т.Д. Ларионов

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ НЕФТИ

C. 213-218

A.Z. Mindubaev

BIODEGRADATION IS THE KEY TO A CLEAN ENVIRONMENT

А.З. Миндубаев

БИОДЕГРАДАЦИЯ – ЗАЛОГ ЧИСТОТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

C. 219-222

V.S. Muftaeva, D.I. Vasilyeva

THE QUESTIONS OF ECOLOGICAL SAFETY OF OBJECTS OF URBAN DEVELOPMENT IN CONDITIONS OF FLOODING (ON THE EXAMPLE OF CITY DISTRICT SAMARA)

В.С. Муфтаева, Д.И. Васильева

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ В УСЛОВИЯХ ПОДТОПЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА САМАРА)

C. 223-228

V.A. Pastushkov, T.Yu. Grigorieva

CLIMATE RISKS IN THE USE RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE ROAD TRANSPORT COMPLEX

В.А. Пастушков, Т.Ю. Григорьева

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

C. 229-234

T.V. Shevkunova, E.N. Patova

ENVIRONMENTAL RISKS ASSOCIATED WITH THE IMPACT OF MUNICIPAL WASTEWATER INTO A RECREATIONAL WATER BODY (VYCHEGDA RIVER BASIN)

Т.В. Шевкунова, Е.Н. Патова

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ПОСТУПЛЕНИЕМ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В РЕКРЕАЦИОННЫЙ ВОДОЕМ (БАССЕЙН Р. ВЫЧЕГДА)

1. Научный симпозиум «Физико-химия и технологии новых экологически безопасных функциональных материалов», посвящённый 110-летию со дня рождения Л.А. Костандова – министра химической промышленности СССР

1. Scientific symposium «Physics-Chemistry and Technology of New Ecologically Safe Functional Materials», dedicated to the 100 years of anniversary of L.A. Kostandov – ministry of chemical industry of the USSR



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

PECULIARITIES OF PHYSICAL-CHEMICAL DIAGNOSTICS CHARACTERISTICS OF POLYMER-INORGANIC COMPOSITE MATERIALS

A.V. Vasilyev

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

ABSTRACT

In this paper review of the main methods used for physical-chemical diagnostics of characteristics of polymer-inorganic composite materials has been carried out. Approaches of it improvement have been suggested.

Key words: polymer-inorganic composites, physical-chemical diagnostics, characteristics, systematization

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.В. Васильев

Самарский государственный технический университет, г. Самара,
Россия

АННОТАЦИЯ

В настоящей статье проведен обзор основных методов, используемых для физико-химической диагностики характеристик полимер-неорганических композитных материалов. Описаны достоинства и недостатки существующих методов. Предложены подходы к их совершенствованию.

Ключевые слова: полимер-неорганические композиты, физико-химическая диагностика, характеристики, систематизация

1. ВВЕДЕНИЕ

Физико-химическая диагностика свойств полимерных композитных материалов играет важнейшую роль на всех этапах их разработки, производства и эксплуатации. Она помогает не только оценить состав и структуру материала, но и предсказать его поведение в реальных условиях эксплуатации, выявить возможные дефекты и загрязнения, а также улучшить эксплуатационные характеристики [1, 2, 4, 5, 8, 16, 20].

Регулярное проведение диагностики способствует созданию более надёжных, долговечных, безопасных и экологичных материалов для различных отраслей.

Методы физико-химической диагностики свойств полимерных композитов позволяют решить ряд задач, направленных на обеспечение их качества, повышение надёжности, долговечности, безопасности, экологичности энергосбережения.

1. Одной из основных целей физико-химической диагностики является определение состава композитного материала. Изучение каждого компонента позволяет определить его процентное содержание, а также взаимодействие между различными элементами. Это помогает не только при разработке новых материалов, но и при проверке их качества на разных стадиях производства.

2. Другой важной задачей является определение эксплуатационных характеристик. Композитные материалы используются в самых разных условиях: от экстремально высоких температур до воздействия агрессивных химических веществ. Физико-химическая диагностика помогает определить, насколько композит способен выдерживать такие воздействия без потери прочности и других важных характеристик.

3. Контроль качества производства композитов. Во время производства композитных материалов важно убедиться, что состав и структура материала соответствуют установленным стандартам. Погрешности в производственном процессе могут привести к значительным отклонениям в качестве материалов, что может вызвать дефекты или снизить долговечность. Физико-химическая диагностика помогает повысить качество композитных материалов, предотвращая использование неисправных или неподходящих компонентов.

4. Выявление дефектов и загрязнителей композитных материалов. Физико-химическая диагностика свойств полимерных композитов помогает обнаружить даже незначительные дефекты или примеси, которые могут существенно повлиять на эксплуатационные свойства композитов. Это включает в себя загрязнения, вызванные сырьём или производственным процессом, а также скрытые дефекты в самом составе материала.

5. Предсказание поведения композитных материалов при их эксплуатации.

Физико-химическая диагностика позволяет предсказать, как материал будет вести себя при воздействии различных внешних факторов, таких как высокая температура, механическое напряжение, химическая агрессия,

воздействие радиации и др. Это позволяет заранее предусмотреть возможные проблемы и адаптировать материал к конкретным условиям эксплуатации.

6. Продление срока службы композитных материалов. Физико-химическая диагностика помогает выявить дефекты или слабые места в композитных материалах, что позволяет своевременно их исправить или заменить, продлевая срок службы материалов и снижая риск выхода из строя.

7. Повышение безопасности и экологичности композитных материалов.

С помощью физико-химической диагностики композитных материалов исследователи могут разрабатывать новые материалы с улучшенными свойствами, такими как повышенная прочность, устойчивость к высоким температурам или химическим веществам. Это помогает создавать безопасные и экологичные композитные материалы.

В настоящее время используется достаточно большое количество методов физико-химической диагностики композитных материалов, описанных в научных источниках и в нормативных документах. Так, в России имеется национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 57921-2017 Композиты полимерные. Методы испытаний. Общие требования (Polymer composites. Test methods. General requirements), дата введения 2018-02-01. Данный стандарт является модифицированным по отношению к стандарту ASTM D4762-11a* "Стандартные практические указания по испытаниям композитных материалов с полимерной матрицей" (ASTM D4762-11a "Standard Guide for Testing Polymer Matrix Composite Materials", MOD).

Рассмотрим далее основные методы физико-химической диагностики свойств полимерных композитных материалов, их эффективность и области применения.

2. ИНФРАКРАСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ (FTIR)

Метод ИК-Фурье-спектрометрии используется для изучения химической структуры органических компонентов композитных материалов, таких как смолы, наполнители и добавки. Он помогает выявить различные функциональные группы в молекулах, что полезно для анализа состава полимерных матриц и других органических компонентов [2, 7].

В настоящее время данный метод является одним из самых распространенных методов идентификации полимеров и полимерных композиционных материалов и их структурного анализа. Широкое распространение этого метода по сравнению с другими современными физико-химическими и химическими методами обусловлено доступностью и надежностью современных серийных ИК спектрометров, высокой скоростью выполнения анализа, высоким уровнем экспериментальной техники спектрального исследования полимерных систем. Кроме того, в процессе анализа полимер не подвергается химическому изменению.

Широкое применение метода ИК спектроскопии в анализе химических соединений объясняется тем, что колебательные спектры являются специфическими и чувствительными характеристиками молекул и их качественная интерпретация достаточно проста. В основе анализа спектров полимеров лежит богатейший опыт, накопленный за многие годы колебательной спектроскопией низкомолекулярных соединений. Качественный анализ колебательных спектров полимеров, также как и для низкомолекулярных соединений, основан на концепции так называемых групповых или характеристических колебаний, т.е. таких колебаний, которые можно отнести к определенной группе атомов независимо от того какому классу соединений они принадлежат.

Для идентификации соединения и определения типа замещения используют не только характеристические полосы поглощения, но и целые участки спектра, имеющие характерный вид с учетом всех полос и распределения интенсивности в данной области. Характеристические частоты приводятся в справочниках, атласах ИК спектров и корреляционных таблицах в соответствии с классами соединений. Использование метода групповых характеристических частот позволяет достаточно быстро определить как химическое строение макромолекул, пространственное расположение атомов и функциональных групп в полимерах различных классов, так и количество концевых групп в полимерном образце, наличие и тип разветвления; насыщенность, тип и регулярность присоединения звеньев в макромолекуле.

Вопросы теории колебательных спектров полимеров, практического применения метода ИК спектроскопии для качественного и количественного анализа и изучения полимерных систем, специфические проблемы, направления и перспективы развития метода отражены в ряде монографий, список которых приведен в литературе.

Значительные успехи ИК спектроскопии в идентификации полимеров и полимерных композиционных материалов, анализе их структуры связаны в последнее время с появлением приборов нового типа с высокой разрешающей способностью – Фурье спектрометров. В основу конструкции ИК-Фурье спектрометров положено явление интерференции волн электромагнитного излучения. Спектрометры с Фурье преобразованием в отличие от ИК-спектрометров с волновой дисперсией, в которых спектр регистрируется последовательно, позволяют получить сразу всю информацию о спектре в форме интерферограммы.

Достоинствами Фурье спектроскопии являются: высокая чувствительность и точность измерений интенсивности, особенно при многократном сканировании и накоплении сигнала; высокое разрешение и высокая точность определения волновых чисел; высокое быстродействие, т.е. возможность быстрого исследования широкой спектральной области (время сканирования интервала в несколько сотен см^{-1} составляет меньше одной секунды). Широкое внедрение ИК-Фурье спектрометров связано с

разработкой нового поколения различных приставок в кюветное отделение спектрометра, которые позволили в значительной степени сократить время пробоподготовки исследуемых образцов, а также расширить функциональные возможности метода ИК спектроскопии при исследовании полимерных композиционных материалов.

Выпускаются различные модели приставок: приставки однократного и многократного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО и МНПВО), диффузного и зеркального отражения, которые позволяют производить неразрушающий контроль и анализ полимерных композиционных материалов и их целевых ингредиентов. Приставки НПВО позволяют получить ИК спектры непрозрачных, окрашенных, саженаполненных полимерных образцов, резин, гранул, волокон, темных и вязких жидкостей, водных растворов и других образцов, которые невозможно проанализировать методом пропускания. Использование приставок НПВО и диффузного отражения открывают принципиально новые возможности изучения полимерных систем: исследование поверхности полимерных материалов, особенностей химического строения и структуры поверхностных и граничных слоев; наличие функциональных групп, по которым может идти взаимодействие; исследование адсорбционных связей. Отличительной особенностью ИК-Фурье спектрометров является возможность подключения к ним внешних устройств (ИК микроскопы) и устройств сопряжения (интерфейсы) с другими аналитическими приборами: термоанализаторами, хроматографами, Раман-модулями.

3. РЕНТГЕНОВСКАЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ (XRF)

Этот метод используется для быстрого и неразрушающего анализа состава композитных материалов. С помощью рентгеновской флуоресценции можно точно определить содержание металлов и других элементов, таких как кремний, кальций, железо, магний и другие. Этот метод особенно полезен для анализа армирующих волокон и компонентов матрицы.

Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия измеряет характеристические рентгеновские лучи, испускаемые образцом после его бомбардировки излучением высокой энергии. Это неразрушающий аналитический метод, при котором образец облучается рентгеновскими лучами высокой энергии, вызывая ионизацию атомов образцов и выбрасывая электроны с их орбиталей. Выброшенные электроны заменяются электронами, падающими с других орбит, и падающие электроны испускают рентгеновские лучи, которые имеют уникальный уровень энергии в зависимости от того, с какой орбиты они пришли и как далеко они упали. Измеряя энергию и количество испускаемых рентгеновских лучей, можно определить, какие элементы присутствуют в образце.

Если образец полимерных материалов представляет собой порошок или гранулы, его можно упаковать в контейнеры для образцов для получения более сильного рентгеновского сигнала.

Преимущества рентгеновской флуоресцентной спектроскопии:

- неразрушающий анализ: не изменяется образец;
- широкий диапазон элементов: с помощью данного метода можно определить элементы от натрия до урана в концентрациях от частей на миллион до 100%;
- быстрота и точность: данный метод анализа обеспечивает быстрые и надежные результаты, что делает его пригодным как для лабораторных, так и для полевых применений.

Таким образом, рентгеновская флуоресцентная спектроскопия – это мощный аналитический инструмент позволяющий проводить детальный элементный анализ широкого спектра материалов областей применения. В том числе, его неразрушающий характер, возможность получения быстрых и точных результатов обуславливают его широкое применение для экологических исследований.

Вместе с тем, рентгеновская флуоресцентная спектроскопия не может количественно определить легкие элементы, такие как углерод, азот, кислород, фтор или натрий, и для этого надо использовать другие методы. Образцы, которые очень малы или требуют количественного определения легких элементов, могут быть проанализированы с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (SEM-EDS) и сканирующей электронной микроскопии.

4. ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (TGA)

Термогравиметрический анализ используется для изучения термостойкости композитных материалов и определения количества органических веществ (например, полимеров и смол), которые могут подвергаться термическому разложению [28]. Этот метод позволяет узнать, при какой температуре происходит изменение массы материала, что даёт представление о его стабильности при воздействии высоких температур.

Термогравиметрический анализ является важным инструментом для изучения полимеров, позволяющим получить информацию о термической стабильности, составе и поведении материалов при нагревании.

Принцип метода: метод основан на измерении массы образца в зависимости от температуры или времени. Образец нагревается в контролируемой среде (например, в воздухе или инертном газе) и любые изменения массы записываются.

Основные параметры, определяемые методом термогравиметрического анализа:

- Температура разложения: определение температуры, при которой начинается разложение полимера;

- Массовые потери: измерение потери массы при нагревании, что позволяет определить количество и состав летучих компонентов;
- Термостабильность: оценка устойчивости полимера к термическому воздействию;
- Содержание неорганических наполнителей и добавок: остаток после полного разложения полимера может свидетельствовать о наличии неорганических компонентов.

Типы экспериментов:

Изотермический анализ: образец удерживается при постоянной температуре.

Динамический анализ: образец нагревается с постоянной скоростью.

Применение термогравиметрического анализа полимеров:

1. Исследование термической стабильности: определение температуры разложения полимеров; анализ стабильности при высоких температурах.
2. Определение состава: изучение содержания летучих компонентов, таких как пластификаторы, растворители и мономеры; анализ остатка после разложения для определения содержания органических наполнителей.
3. Исследование процессов разложения: определение механизмов и стадий разложения полимеров; изучение кинетики термического разложения.
4. Контроль качества и соответствие стандартам: оценка стабильности и чистоты полимерных материалов; сравнение термостабильности различных партий продукции.
5. Разработка новых материалов: оптимизация состава и структуры полимеров для улучшения термических свойств; сравнение термических характеристик новых и существующих материалов.

Рассмотрим преимущества и ограничения метода.

Преимущества: высокая точность и чувствительность; возможность анализа различных типов материалов (порошки, пленки, волокна); широкий диапазон температур анализа; возможность проведения анализа в различных газовых средах (инертных, окислительных и др.).

Ограничения: некоторые летучие продукты разложения могут конденсироваться в аппарате, что может привести к ошибкам измерения; ограниченная информация о химическом составе выделяющихся продуктов без дополнительного анализа (например, с помощью масс-спектрометрии); требуются тщательная подготовка и выбор условий анализа для точных результатов.

5. СКАНИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ (SEM)

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) позволяет детально изучить микроструктуру композитных материалов [12]. Это помогает исследовать распределение армирующих волокон, выявлять микротрещины, поры и другие дефекты, которые могут снижать прочность материала.

Принцип работы: хорошо сфокусированный луч перемещается по поверхности образца, а изображение с высокой степенью разрешения создаётся вследствие рассеяния вторичных электронов от исследуемой поверхности.

Некоторые особенности исследования полимеров с помощью СЭМ:

Накопление заряда: при исследовании полимеров в СЭМ на их поверхности происходит накапливание заряда, что мешает получению данных о морфологии и микроструктуре полимерных материалов.

Использование СЭМ низкого напряжения: так как полимеры обычно имеют низкую электропроводимость, это создаёт опасность накопления заряда и повреждения электронного пучка.

Применение специальных методов: для минимизации заряда образец могут покрыть инертным металлом, повысить давление в камере или уменьшить напряжение электронного пучка.

Некоторые области применения СЭМ для исследования полимеров:

- изучение деформации микрофазовой структуры полимерных матриц при механическом нагружении;

- исследование микроструктуры полимеров во влажном состоянии и в процессе высыхания.

Кроме получения фотографического изображения структуры и морфологии образца, СЭМ позволяет получать информацию о химическом составе материала. Для этого анализируется характеристическое рентгеновское излучение, которое возникает при взаимодействии пучка первичных электронов с атомами образца.

6. ЯДЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС (ЯМР)

Метод ядерного магнитного резонанса позволяет анализировать молекулярную структуру полимерных компонентов в составе композитных материалов [15]. С помощью этого метода можно детально исследовать внутреннюю структуру материалов, изучить их механические и химические свойства, а также выявить аномалии, такие как повреждения или деградация.

Ядерный магнитный резонанс является мощным инструментом для исследования структуры и динамики молекул. В области полимерных композитов ЯМР позволяет получать информацию о составе, распределении компонентов и взаимодействиях между ними. Этот метод особенно полезен для изучения гетерогенных систем, таких как смеси полимеров и наполненные полимеры. В целом, ЯМР является ценным инструментом для понимания и разработки новых композиционных полимерных материалов.

Некоторые области применения ЯМР в исследовании полимеров:

- Анализ последовательности синтетических сополимеров. ЯМР-спектроскопия позволяет определять относительное обилие сомономерных последовательностей на уровне диад, а в случаях небольших повторяющихся единиц — даже триад и более.

- Изучение полимерных композитов. ЯМР даёт информацию о составе, распределении компонентов и взаимодействиях между ними. Такие данные могут использоваться для оптимизации свойств композиционных материалов, например, для улучшения их прочности и термостойкости.

- Исследование полимерных гелей. С помощью ЯМР можно определить количественное соотношение блоков, зарегистрировать их взаимодействие, выявить концевые и стыковые звенья, определить диффузионные характеристики и различить блок-сополимеры с другими компонентами смеси.

- Выявление побочных реакций синтеза. Метод применяется для определения реакций, которые влияют на структуру и ключевые характеристики продукта.

7. ЖИДКОСТНАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ (HPLC)

Метод жидкостной хроматографии используется для анализа растворимых веществ в составе композитных материалов. Он позволяет выявить наличие примесей или загрязняющих веществ, которые могут негативно повлиять на характеристики материала [1, 2, 16 и др.].

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) является мощным средством исследования и количественного анализа синтетических и природных полимеров. Метод позволяет проводить фракционирование их по молекулярным массам, химическому составу, функциональным группам и т.д. ВЭЖХ применяется также для выделения и очистки биополимеров и анализа добавок в композитах на основе полимеров. В ВЭЖХ процесс распределения компонентов пробы между подвижной и стационарной фазами происходит в растворе внутри хроматографической колонки, заполненной пористыми частицами органического происхождения (синтетические смолы и др.) или неорганических сорбентов (обычно на основе силикагеля). Такая среда оказывает высокое гидравлическое сопротивление потоку жидкости (подвижной фазе), прокачиваемой через колонку механическим насосом. В зависимости от цели конкретной аналитической задачи может применяться метод изократического элюирования (постоянный состав подвижной фазы) или метод градиентного элюирования (переменный состав подвижной фазы), причем второй вариант значительно расширяет возможности жидкостной хроматографии.

Метод фракционирования по Байкеру-Вильямсу, предложенный в середине 1950-х годов, основан на использовании одновременно температурного градиента и градиента состава элюента, что обеспечивает разделение полимеров по их растворимости за счет многократного проведения процесса растворение—осаждение. Этот метод, усовершенствованный за последние 20 лет, под названием «высокоэффективная осадительная жидкостная хроматография» (ВЭОЖХ) меняется до сих пор для фракционирования синтетических сополимеров и

полимерных композитов. Достижения в области жидкостной хроматографии в 1970-х годах (приборное оформление, способы приготовления колонок, а также лучшее понимание механизма разделения) оказали стимулирующее влияние на развитие хроматографических методов разделения полимеров. Так, метод гель-проникающей хроматографии (гель-фильтрационной хроматографии в случае водных элюентов) стал первым методом определения молекулярно-массового распределения синтетических и природных полимеров.

Наряду с традиционными типами ВЭЖХ (обращеннофазная, ионообменная, гидрофобного взаимодействия и аффинная хроматография) этот метод вошел в практику анализа белков и других биополимеров. В течение двух последующих десятилетий нормально-фазный и обращенно-фазный варианты жидкостной хроматографии привлекают значительное внимание как методы разделения синтетических полимеров и полимерных композитов.

Двухмерная ВЭЖХ-техника (называемая также хроматографическим кросс-фракционированием) в последние годы используется для получения наиболее полной характеристики полимеров. Поскольку в данном варианте обычно комбинируются различные методы хроматографического разделения, то это позволяет определять распределение и по молекулярным массам, и по химическому составу.

Приложения жидкостной хроматографии полимеров: разделение биообъектов; разделение синтетических полимеров и др.

8. ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ (ПГХ)

Этот метод используется для анализа полимерных материалов по продуктам термического разложения.

Состав продуктов деструкции полимеров и полимерных композиционных материалов сложен. Он зависит от их состава и строения, от введенных целевых добавок, от примесей, содержащихся в исходном сырье, от способа получения полимера и способа переработки его в изделия, от условий, в которых протекает деструкция.

Некоторые продукты деструкции токсичны и представляют потенциальную опасность для здоровья человека в условиях производства и полимерных композиционных материалов и их использования в быту, а также в аварийных ситуациях (при возгорании и пожарах). Однако, продукты высокотемпературной, пиролизической деструкции характерны только для данного полимера и поэтому могут быть использованы для идентификации полимерных материалов.

Для исследования продуктов разложения полимеров широкое распространение находит метод пиролизической газовой хроматографии (ПГХ), сочетающий процесс пиролизической деструкции полимерного образца с газохроматографическим анализом.

Аппаратурное оформление метода ПГХ очень разнообразно. Для высокотемпературной деструкции и деполимеризации полимерных материалов используются устройства (пиролизеры) различного типа (пиролизеры печного типа, ячейки филаментного типа и по точке Кюри и др.).

Идентификационный анализ методом ПГХ проводят путем сравнения полученных пирограмм с эталонными для известных полимеров. Сравнение осуществляют по положению пика на хроматограмме продуктов пиролиза, т.е. по значению времени удерживания вещества, а также по высоте пика. Для количественного анализа определенного компонента, выделенного по пирохроматограмме, необходимо провести калибровку по композициям известного состава.

Метод ПГХ удобен при анализе полимерных композитов, содержащих различные наполнители, для сложных смесевых материалов из полимеров. Для получения воспроизводимых результатов при пиролизе необходимо строго стандартизировать параметры опыта. [2, 8, 16].

Определяющими параметрами эксперимента являются: температура, размеры и форма пиролизуемого образца, природа и скорость газа-носителя, условия хроматографического разделения. Важен и правильный подбор образца для анализа.

Перспективным направлением идентификации и количественного определения продуктов разложения полимеров и ПКМ является сочетание хроматографического метода концентрирования и разделения с оптическими методами исследования строения анализируемых соединений. В настоящее время эффективна комбинация газовой хроматографии и масспектрометрии. Имеются методики определения наиболее токсичных продуктов деструкции.

9. РАДИАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Радиационные испытания полимерных материалов проводят с целью определения и прогнозирования радиационных эффектов в процессе и (или) после радиационного или комбинированного радиационного воздействия на ПМ, а также способности ПМ сохранять значения характерных показателей их радиационной стойкости в пределах, установленных в нормативно-технической документации на ПМ или техническом задании на проведение радиационных испытаний.

Соответствие требованиям по радиационным свойствам полимерсодержащих композитов имеет существенное значение [4, 8-11, 18, 21, 27]. Для оценки радиационных свойств материалов, в том числе композитных материалов, широко используются методы оценки активности радионуклидов.

Например, в золошлаках и зольных отходах от сжигания угля, нефтепродуктов и отходов могут накапливаться следующие радионуклиды и элементы:

- Урановые радионуклиды: U^{238} , U^{234} - концентрируются в золошлаках примерно в 4-7 раз больше, чем в исходном угле.
- Радий: Ra^{226} - также значительно обогащается в золошлаках и летучей золе.
- Торий и дочерние продукты: Th^{232} , Th^{228} , Pb^{210} , Po^{210} — концентрируются в золошлаках, причем наиболее летучие переносчики (Pb^{210} , Po^{210}) преимущественно в летучей золе.
- Калий: в виде стабильного и радиоактивного изотопа K^{40} — также содержится в золошлаках и летучей золе, иногда в повышенных концентрациях.
- Цезий (Cs^{137}) - как искусственный радионуклид, может присутствовать в золошлаках при загрязнении вследствие техногенных аварий, хотя в природных золошлаках обычно не встречается.
- Стронций (Sr^{90}) - техногенный радионуклид, при обычном сжигании нехарактерен для золошлаков, но может присутствовать при радиоактивном загрязнении.

активностью природных радионуклидов выше 1500 Бк/кг в жилом, общественном и большинстве производственныхстроек запрещено.

Все строительные материалы должны иметь санитарно-гигиенические сертификаты с указанием удельной эффективной активности радионуклидов, а контроль за содержанием радионуклидов обязателен как при производстве, так и при применении строительных материалов. Основным контролируемым параметром - удельная эффективная активность природных радионуклидов (Аэфф), измеряемая в Беккерелях на килограмм (Бк/кг), включает суммарную активность радия-226, тория-232 и калия-40 с учетом их биологического воздействия.

Радиационные испытания ПМ с измерением характерного показателя их радиационной стойкости после радиационного или комбинированного радиационного воздействия проводят для определения и прогнозирования необратимого и послерадиационного эффектов в ПМ.

Радиационные испытания с определением радиационных эффектов в ПМ в процессе радиационного или комбинированного радиационного воздействия проводят по одному или нескольким следующим характеристическим показателям радиационной стойкости ПМ: удельная объемная электрическая проводимость, тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость, скорость ползучести при растяжении, долговечность при растяжении.

При необходимости из суммы радиационных эффектов, определяемых в процессе радиационного или комбинированного радиационного воздействия, выделяют необратимый и прогнозируют обратимый радиационные эффекты.

Метод радиационных испытаний для определения удельной объемной электропроводимости полимерных материалов в процессе радиационного или комбинированного радиационного воздействия заключается в том, что

твердые образцы ПМ подвергают воздействию непрерывного или импульсного ионизирующего излучения в вакууме или газовой среде при заданных мощности поглощенной дозы ионизирующего излучения и температуре или ряде их значений и определяют удельную объемную электропроводимость ПМ в процессе указанного воздействия.

Метод прогнозирования радиационной удельной объемной электропроводимости полимерных материалов. В случае невозможности или сложности проведения испытаний при заданной мощности поглощенной дозы каждый образец испытывают при нескольких, но не менее четырех значениях мощности поглощенной дозы D из доступного для испытаний интервала.

10. ШУМОМЕТРИЯ. ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ И ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ

Важной задачей является создание полимерных композитных материалов, имеющих высокую эффективность звуковиброизоляции и звуковибропоглощения на широком диапазоне частот, а также имеющих соответствующие функциональные и эксплуатационные свойства [3, 6, 13, 14, 21-24 и др.].

Так как полимерные композитные материалы используются в самых различных целях: производство, транспорт, домашние условия и др., то оценка их звуковиброизолирующих и поглощающих характеристик приобретает существенное значение.

Развитие новых акустических полимерных материалов позволяет существенно снизить негативное воздействие повышенного шума и вибрации на человека.

Наиболее универсальными и широко применимыми, в том числе и в строительстве, являются пористые звукопоглощающие материалы (ЗПМ). Они представляют собой твердые вещества с большим количеством пор и каналов. Наличие открытой пористости позволяет звуковой волне проникать в материал и, проходя внутри образца, терять свою энергию на внутренних стенках. Поглощение, вызываемое вязкостью среды, происходит в результате наличия градиента скоростей частиц воздуха вблизи стенок материала. Силы вязкости, вызывающие поглощение звуковой волны, пропорциональны градиенту скорости, а их мощность, которая определяет поглощенную в единицу времени энергию, пропорциональна еще и скорости деформации частиц, которая также пропорциональна градиенту скорости. При низких частотах основной вклад в поглощение вносит вязкое поглощение на стенках. Однако с ростом частоты вклад вязких потерь в среде, пропорциональный волновому числу, растет. Потери от теплопроводности сопоставимы с потерями от вязкости среды.

Среди пористых ЗПМ можно выделить три основные группы: зернистые, волокнистые и ячеистые.

Волокнистые материалы представлены группами волокон, расположенных в продольном, поперечном и вертикальном направлении (например, базальтовая или минеральная вата). Зернистые материалы, как правило, представляют собой кубическую и гексагональную укладку шарообразного заполнителя (например, материалы на основе перлита, вермикулита, гранул вспененного стекла). Ячеистая структура материала представляет собой поры чаще всего сферической формы, разделенные межпоровыми перегородками (открыто- и закрытопористые пенопласты, ячеистый бетон и т. д.). Во всех перечисленных видах материалов звукопоглощающие свойства, прежде всего, зависят от вида пор на поверхности материала и характера пористости внутри.

Волокнистые материалы, как правило, обладают высокими и стабильными в широком диапазоне частот акустическими характеристиками, небольшой массой и низкой стоимостью. К недостаткам таких материалов можно отнести низкие эксплуатационные свойства, такие как стойкость к воздействию влаги и пыли, сваливание материала, а также выделение в атмосферу частиц материала, что делает невозможным использование подобных материалов в помещениях без защитных материалов, как правило представляющих собой чехлы из тканей различной природы.

Ячеистые материалы обладают менее стабильными, но при этом высокими акустическими характеристиками и значительно лучшими эксплуатационными свойствами, однако стоят, как правило, дороже волокнистых аналогов, что ограничивает их применение в строительной и промышленных сферах, например в конструкциях акустических экранов, где применяются в основном волокнистые материалы в виде матов, расположенных между обшивками экрана либо на одной из его сторон.

Зернистые материалы, как правило, представляют собой кубическую и гексагональную укладку шарообразного заполнителя (например, материалы на основе перлита, вермикулита, гранул вспененного стекла). Материалы, как правило, отличаются наименее равномерным характером поглощения в широком частотном диапазоне, однако для данного типа материалов возможно создание жестких негорючих звукопоглощающих материалов с низкой стоимостью, что позволяет решать ряд специфических задач.

Звукопоглощающие материалы в случае применения в помещении должны обладать набором функциональных и эксплуатационных свойств:

- обладать коэффициентом формы, позволяющим создавать изогнутые (криволинейные) поверхности звукопоглощающей облицовки;
- обеспечить выполнение противопожарных требований - быть негорючими и не способствовать распространению огня;
- быть термо- и влагостойкими, сохранять свои звукопоглощающие свойства в течение всего периода эксплуатации;
- допускать возможность очистки, в том числе и влажным способом;

- не выделять в воздух помещения никаких химических веществ и не оказывать вредного воздействия, опасного для здоровья людей, в том числе и возможных осколков, волокон или «корольков»;

- обеспечивать легкость монтажа и возможность, в случае необходимости, замены отдельных поврежденных элементов облицовки.

В работе [20] предложена композиционная декоративная звукопоглощающая панель для применения в составе транспортных шумозащитных экранов и в промышленных помещениях. Описан состав панели, представляющей собой слой волокнистого материала, расположенного внутри слоя ячеистой структуры, что позволяет сочетать высокие акустические характеристики, свойственные волокнистым материалам, при значительном улучшении эксплуатационных характеристик волокнистых материалов.

Во ФГУП «ВИАМ» разработана полимерная композиционная звукопоглощающая панель марки ВТИ-26, изготовленная из пенополиуретана, с расположенным внутри слоем базальтовой ваты (см. рисунок). Волокнистый материал размещается внутри ячеистого материала при вспенивании последнего, что позволяет исключить необходимость в применении клеевых слоев для закрепления материала, снизить стоимость и массу. Это не приводит к образованию жесткого слоя внутри материала, ухудшающего акустические характеристики.

Традиционным подходом к определению коэффициентов звукопоглощения и звукоизоляции образцов является использование интерференционных труб и реверберационных камер. Используются двухмикрофонный, четырехмикрофонный и другие методы, соответствующие европейскому стандарту ISO 10534-2 «Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Transfer-function method» («Определение коэффициента звукопоглощения и импеданса в импедансных трубах. Метод передаточной функции») и американскому стандарту ASTM E1050 «Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System» («Метод измерения импеданса и поглощения материалов с помощью трубы, двух микрофонов и цифровой системы частотного анализа»).

Двухмикрофонным методом определяется коэффициент звукопоглощения в интерференционной трубе на образцах дискообразной формы, размещенных в трубе. Четырехмикрофонным методом определяется коэффициент звукоизоляции образца.

В работе [13] описан выполненный комплекс экспериментальных исследований по определению акустических и виброакустических характеристик многослойных панелей различной толщины из полимерного композиционного материала на основе углеволокна, установленных в проеме между реверберационными камерами. Определена звукоизоляция и акустическая вибровозбудимость панелей при их возбуждении диффузным

звуковым полем, а также модальная плотность, коэффициенты потерь на излучение и полные коэффициенты потерь при возбуждении панелей вибростендом в широких полосах частот. Показано, что характеристики панелей имеют достаточно универсальный характер. Получены простые эмпирические выражения для их описания. Проведено сравнение измеренных виброакустических характеристик панелей из полимерного композиционного материала с аналогичными характеристиками традиционной подкрепленной фюзеляжной панели. Показано, что благодаря высокому коэффициенту внутренних потерь и низкой акустической вибровозбудимости панели из композиционного материала с акустической точки зрения более эффективны по сравнению с традиционной фюзеляжной панелью.

Проведенный обзор определения звуковиброизоляции и поглощения полимерных композитных материалов показал, что существующие методы являются достаточно усложненными и требуют использования дорогостоящих измерительных приборов и лабораторных помещений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ основных методов, используемых для физико-химической диагностики характеристик полимер-неорганических композитных материалов, показал, что в настоящее время используется достаточно большое количество методов. Однако существующие методы обладают рядом недостатков:

- существующие методы не в полной мере позволяют повести качественный анализ экологических характеристик полимер-неорганических композитных материалов;
- существующие методы являются достаточно усложненными и требуют использования дорогостоящих измерительных приборов и лабораторных помещений.

В связи с этим необходимо разработать новые и модифицировать существующие методики физико-химической диагностики характеристик полимер-неорганических композитных материалов, которые должны также позволять учитывать:

- выполнение противопожарных требований;
- термо- и влагостойкость;
- соблюдение экологических требований и др.

На следующих этапах работы будут проведены экспериментальные исследования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических композитов, результаты которых позволят осуществлять их ранжирование, оценивать потенциальные компоненты полимер-неорганических композитов, оказывающие негативное воздействие на человека и загрязнение окружающей среды.

*Работа выполнена при поддержке междисциплинарного гранта
Российского научного фонда, проект № 25-69-00012*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. Борисова В.А. Исследование физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов, модифицированных углеродными структурами. Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 161–173.
3. Васильев А.В. Моделирование и снижение низкочастотного звука и вибрации энергетических установок и присоединенных механических систем: монография / Самара, 2011.
4. Васильев А.В. Методы и подходы к исследованию экологических характеристик полимерсодержащих композитных материалов. В сборнике материалов Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техноферной безопасности-2025», – Казань: Изд-во КНИТУ, 2025, с. 787-793.
5. Васильев А.В. Повышение безопасности жизнедеятельности информационно-программными методами. Автотракторное электрооборудование. 2004. № 11. С. 34-37.
6. Васильев А.В. Особенности исследования звукоизолирующих и звукопоглощающих характеристик полимерсодержащих композитных материалов. В научном журнале "Математические методы в технологиях и технике". 2025. №10. С. 53-56.
7. Васильев А.В. Методы анализа физико-химических характеристик полимер-неорганических композитных материалов и особенности анализа их экологических характеристик. В научном журнале «Академический вестник ЭЛПИТ», т. 10, №3(33) 2025, с. 12-31.
8. Васильев А.В. Создание базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 27, №5, с. 200-208.
9. Васильев А.В., Ермаков В.В., Чипура А.С. Методика определения состава и свойств полимерсодержащих композитных материалов строительного назначения на основе активности радионуклидов и её реализация на примере золошлаковых отходов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 27, №3(2), с. 452-458.
10. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной

радиоактивностью как объекта экологического риска. Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №4. С. 171-178.

11. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Результаты экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска. Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №4. С. 179-184.

12. Деев И.С., Кобец Л.П. Исследование микроструктуры и микрополей деформаций в полимерных композитах методом растровой электронной микроскопии //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1999. Т. 65. №4. С. 27–34.

13. Зверев А.Я., Черных В.В. Экспериментальное определение акустических и виброакустических характеристик многослойных композитных панелей. Акустический журнал. 2018, т. 64, №6, с. 727-736.

14. Корнев С.В., Борисов Л.А., Шубин И.Л. Многослойный звукоизолирующий композит. Патент РФ на полезную модель RU 167691 U1, опубл. 01.10.2017 г.

15. Кычкин А.А., Сивцев С.И., Кычкин А.К. Исследование полимеров после воздействия климатического фактора в очень холодном климате методом ядерного магнитного резонанса. Физико-технические проблемы добычи, транспорта и переработки органического сырья в условиях холодного климата. Сборник трудов III Всероссийской конференции, посвященной 25-летию Института проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, 10–13 сентября 2024 года. – Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. – С. 205–209. – DOI 10.24412/cl-37255-2024-1-205-209.

16. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с.

17. Мусатов В.М., Петушков В.С., Петропавловская В.Б. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ в золоцементных композитах для дорожного строительства. Направления развития российской науки: теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тверь, 10–31 января 2021 г. Под редакцией Т.Б. Новиченковой. Часть 1. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2021. – С. 61-65.

18. Сидорова Г.П., Крылов Д.А. Радионуклиды в углях и продуктах их сжигания. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016. Т. 61, № 2. С. 75-78.

19. Шаповалов В. М. Экологические проблемы в получении и применении полимерных композитов в Республике Беларусь. Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 1. С. 71–81.

20. Шульдешов Е.М., Краев И.Д., Платонов М.М. Полимерная композиционная звукопоглощающая панель. Труды ВИАМ. №5 (53), С:7. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-5-7-7.

21. Шульдешов Е.М., Лепешкин В.В., Романов А.М. Метод оценки коэффициента отражения радиопоглощающих полимерных композиционных материалов. Контроль. Диагностика. 2015. №6. С. 44-48.
22. Luzzi S., Vasilyev A.V. Auditory and non-auditory effects, monitoring and mapping of occupational exposure to noise. Noise Mapping, 2022, Vol. 9, issue 1, pp. 146-156.
23. Vasilyev A.V. Research and mapping of low frequency noise generated by power plants of industrial enterprises. Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 39, April 2021, pp. 105-109.
24. Vasilyev A.V. Approaches to classification of reduction methods of low frequency noise and vibration of power plants. Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 41, November 2021, pp. 52-55.
25. Vasilyev A.V. Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation "Le vie dei Mercanti" Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Cep. "Fabbrica della Conoscenza series" Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.
26. Vasilyev A.V., Khamidullova L.R., Nyukhtina L.V. Environmental Control Of Toxicity Of Urban Territories Using Biological Monitoring Methods. Proc. of the international scientific conference (X International forum) Less More Architecture. Design. Landscape "Le vie dei Mercanti", 30 May – 4 June 2012, Aversa-Capri, Italy, pp. 1245-1252.
27. Wozniak A.I., Ivanov V.S., Zhdanovich O.A., Nazarov V. I., Yegorov A.S. Modern approaches to Polymer Material Protecting from Ionizing Radiation, 2017, Vol. 33, No. 5, pp. 2148-2163.
28. L. Zhou, Y. Zhao, M. Yang, D. Wang, D. Xu. Investigation on Photooxidative Degradation of Polypropylene. Organomontmorillonite Nanocomposites Spectroscopy and Spectral Analysis. - 2010. - Vol. 30, Issue 1. - P. 109-113.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

NEW MATERIALS FOR MEMBRANE HOUSINGS AND CASSETTES: IMPACT ON DURABILITY AND OPERATION

D.V. Gainulova
Samara State Technical University, Samara, Russia

ABSTRACT

The article examines modern trends in the development of wastewater treatment plants using membrane bioreactors (MBRs). Special attention is given to new materials used in the production of membrane housings and cassettes, which directly affect equipment durability and operational efficiency. An analysis is carried out of traditional solutions and innovative materials, including polymer composites, modified polymers, and corrosion-resistant metals. It is shown that the choice of material determines the resistance of membrane modules to chemical and biological impacts, the level of energy consumption, and the frequency of maintenance. Based on the conducted research, recommendations are proposed for the use of new materials aimed at extending service life and reducing overall maintenance costs of wastewater treatment facilities.

Key words: new materials, membrane bioreactor, membrane housing and cassette, equipment durability, operational efficiency

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОРПУСОВ И КАССЕТ МЕМБРАН: ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д.В. Гайнулова
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются современные направления развития канализационных очистных сооружений с применением мембранных биореакторов (далее – МБР). Особое внимание уделено новым материалам, используемым для изготовления корпусов и кассет мембран, которые напрямую влияют на долговечность оборудования и эффективность эксплуатации. Проведён анализ традиционных решений и инновационных материалов, включая полимерные композиты, модифицированные полимеры

и коррозионностойкие металлы. Показано, что выбор материала определяет устойчивость мембранных модулей к химическим и биологическим воздействиям, уровень энергопотребления и частоту технического обслуживания. На основе проведённого исследования предложены рекомендации по применению новых материалов, направленные на повышение эксплуатационного ресурса и снижение совокупных затрат на обслуживание очистных сооружений.

Ключевые слова: новые материалы, мембранный биореактор, корпус и кассета мембраны, долговечность оборудования, эффективность эксплуатации

Развитие городских систем канализации и локальных очистных сооружений невозможно без внедрения современных технологий, обеспечивающих высокую степень очистки сточных вод при минимальных эксплуатационных затратах. Одним из наиболее эффективных решений последних десятилетий стали мембранные биореакторы, которые совмещают процессы биологической очистки и мембранной фильтрации [1]. В отличие от традиционных методов, МБР позволяют достигать высокой степени удаления органических веществ, взвешенных частиц и микроорганизмов, обеспечивая соответствие нормативным требованиям по сбросу сточных вод даже в условиях возрастающей нагрузки на системы.

Однако эффективность работы МБР во многом определяется эксплуатационными характеристиками мембранных кассет и корпусов, в которых они размещаются. На протяжении последних лет исследователи и производители обращают внимание на необходимость совершенствования материалов, применяемых при производстве мембранных модулей. Использование традиционных конструкционных пластиков и металлов не всегда обеспечивает необходимый уровень долговечности, устойчивости к агрессивным средам и механической прочности [2]. Это приводит к увеличению расходов на ремонт, частой замене кассет и росту эксплуатационных затрат. В связи с этим актуальным направлением становится поиск и внедрение новых материалов для корпусов и кассет мембранных биореакторов.

МБР применяются как в централизованных, так и в локальных системах очистки сточных вод. Основное преимущество технологии заключается в том, что мембрана задерживает взвешенные вещества и микроорганизмы, обеспечивая стабильное качество очищенной воды. Мембранные модули традиционно выполняются в виде кассет или погружных блоков, закреплённых в корпусах. Срок службы таких модулей зависит не только от качества мембраны, но и от прочности материалов, из которых изготовлены несущие элементы. Основные проблемы, с которыми сталкиваются эксплуатирующие организации:

- коррозия металлических частей при контакте с агрессивными средами;
- усталостное разрушение пластиковых корпусов при длительных циклах работы;
- биологическое обрастание поверхности;
- снижение прочности материалов при воздействии моющих реагентов.

Решение данных проблем возможно за счёт внедрения инновационных материалов, обладающих высокой химической инертностью, устойчивостью к перепадам температур и механическим нагрузкам. Современные исследования показывают, что наиболее перспективными материалами для корпусов и кассет МБР являются модифицированные полимеры, армированные композиты и коррозионностойкие сплавы. Рассмотрим их более подробно (табл. 1) [3].

Таблица 1

Сравнение традиционных и новых материалов для корпусов мембранных кассет

Материал	Преимущества	Недостатки	Средний срок службы, лет
Полипропилен (PP)	Лёгкость, низкая стоимость	Ограниченная прочность, подверженность старению	3–5
Нержавеющая сталь AISI 304	Высокая механическая прочность	Склонность к коррозии при контакте с хлором	6–8
Поливинилиденфторид (PVDF)	Высокая химическая устойчивость, стабильность	Более высокая стоимость	8–10
Армированные композиты (стекло- и углеволокно)	Лёгкость, высокая прочность, инертность	Сложность переработки, цена	10–12
Титановые сплавы	Максимальная коррозионная стойкость	Очень высокая стоимость	15+

Как видно, переход от традиционных пластиков и нержавеющей стали к композитам и специализированным полимерам позволяет увеличить срок службы мембранных модулей почти вдвое, а использование титановых сплавов делает возможной эксплуатацию до 15 лет, однако это экономически

оправдано только для крупных промышленных объектов. Внедрение инновационных материалов напрямую влияет на эксплуатационную надёжность мембранных биореакторов. В условиях агрессивной сточной среды ключевое значение имеют устойчивость к химическим реагентам и механическим нагрузкам (табл. 2) [4].

Таблица 2

Влияние материалов на эксплуатационные характеристики МБР

Показатель	Традиционные материалы (РР, сталь)	Новые материалы (PVDF, композиты, титан)
Средний срок службы кассеты	4–6 лет	8–12 лет
Устойчивость к хлорсодержащим реагентам	Средняя	Высокая
Масса модуля	25–30 кг	15–20 кг
Частота обслуживания (чистки, ремонты)	4–5 раз в год	2–3 раза в год
Энергозатраты на работу системы	Базовый уровень	Снижение на 8–12 % за счёт меньшего гидравлического сопротивления

Данные табл. 2 демонстрируют, что использование новых материалов позволяет существенно снизить нагрузку на обслуживающий персонал и увеличить ресурс эксплуатации. Также, уменьшение массы модулей делает их более удобными для замены и обслуживания, что особенно важно для малых очистных станций. Опыт внедрения новых материалов показывает, что их применение требует корректировки экономических расчётов. Первоначальные капитальные затраты при покупке модулей из PVDF или армированных композитов выше, однако увеличение срока службы и снижение частоты ремонтов позволяют компенсировать эти расходы в течение первых пяти-шести лет эксплуатации.

Для промышленных предприятий использование титановых кассет остаётся дорогостоящим, но оправданным в условиях постоянного контакта с агрессивными средами, например, при очистке сточных вод химической и фармацевтической промышленности [5]. Для коммунальных очистных сооружений оптимальным решением являются композитные материалы и модифицированные полимеры, обеспечивающие баланс между стоимостью и эксплуатационными характеристиками.

Результаты анализа подтверждают, что выбор материала для корпусов и кассет мембранных биореакторов напрямую определяет экономическую

эффективность эксплуатации очистных сооружений. В этой связи можно выделить несколько направлений применения новых материалов, которые будут наиболее рациональными в зависимости от масштаба и специфики объекта:

1. Для малых очистных сооружений, обслуживающих жилые комплексы, административные здания и локальные объекты инфраструктуры, наиболее оправдано использование кассет из поливинилиденфторида (PVDF). Этот материал сочетает относительно невысокую стоимость по сравнению с композитами и титаном с высоким уровнем химической устойчивости. Средний срок службы кассет из PVDF составляет 8–10 лет, что в два раза превышает показатели полипропилена [6]. Также, кассеты на основе PVDF легче в обслуживании, так как менее подвержены биообрастанию и сохраняют стабильные фильтрационные свойства даже при регулярной обработке моющими реагентами. Это делает их оптимальным решением для муниципальных систем, где требуется надёжная и долговечная работа при ограниченных бюджетах.

2. Для средних по мощности очистных сооружений, эксплуатируемых в городах или на промышленных предприятиях с умеренно агрессивными сточными водами, рекомендуется использование армированных композитов. Такие кассеты обеспечивают срок службы до 11–12 лет, обладают высокой механической прочностью и устойчивостью к химическим реагентам, включая хлорсодержащие дезинфицирующие средства. Дополнительным преимуществом является снижение массы модулей на 20–25 % по сравнению с металлическими аналогами, что облегчает транспортировку, монтаж и замену элементов. В условиях, когда регулярное обслуживание связано с затратами трудовых ресурсов, композитные материалы позволяют существенно сократить эксплуатационные расходы, одновременно снижая энергопотребление за счёт меньшего гидравлического сопротивления.

3. Для объектов с высокоагрессивными сточными водами, характерных для химической, фармацевтической, металлургической и пищевой промышленности, оправдано применение корпусов из титановых сплавов. Несмотря на высокую стоимость, титановая конструкция обладает уникальной стойкостью к коррозии и биологическим воздействиям, обеспечивая срок службы более 15 лет. За весь период эксплуатации кассеты сохраняют геометрическую стабильность и фильтрационные свойства, что исключает необходимость в частом ремонте и снижает риск внеплановых простоев. Для предприятий, где надёжность очистки сточных вод имеет стратегическое значение и несоизмерима с затратами на оборудование, такие решения являются наиболее оправданными.

Как результат, применение PVDF и композитов позволяет достичь оптимального баланса между долговечностью и стоимостью для малых и средних объектов, а титановые сплавы обеспечивают максимальную надёжность в условиях экстремально агрессивных сред. Универсальным выводом является то, что инвестиции в новые материалы окупаются за счёт

увеличения межремонтных интервалов, сокращения эксплуатационных затрат и повышения общей стабильности работы очистных сооружений. В конечном итоге следует заключить, что переход от традиционных материалов к новым позволяет увеличить срок службы мембранных кассет в среднем в два раза, снизить частоту ремонтов почти вдвое и уменьшить энергозатраты системы на 8–12 %. Гипотеза о том, что инновационные материалы положительно влияют на долговечность и эксплуатационные характеристики МБР, получила подтверждение. Развитие данного направления открывает перспективы для повышения эффективности очистки сточных вод и снижения совокупных затрат на эксплуатацию канализационных очистных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко Т.В. Возможность применения мембранных технологий для обезвоживания осадков станций водоподготовки // Вестник ИШ ДВФУ. 2019. №4 (41). С. 125-133.
2. Макиша Н.А. Моделирование реконструкции канализационных очистных сооружений при использовании мембранных биореакторов // Экология урбанизированных территорий. 2020. №2. С. 88-93.
3. Каримова М. И. Инновационные технологии по очистке воды: мировой опыт и применение в Узбекистане // Экономика и социум. 2022. №6-1 (97). С. 621-624.
4. Волосникова Г. А., Чернобровкина О. Е. Повышение эффективности работы очистных сооружений канализации МУП г. Хабаровска «Водоканал» // Экономика строительства. 2023. №5. С. 58-66.
5. Трескунова А.С. Инновационные подходы к очистке сточных вод: применение современных технологий для защиты окружающей среды // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. №12-2 (99). С. 39-42.
6. Трухина М.Г., Пельменёва Н.Д. Мембранные биореакторы: опыт применения в зарубежных странах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. №2 (41). С. 224-231.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

CHITOSAN-BASED MAGNETIC COMPOSITE MATERIAL FOR WASTEWATER TREATMENT FROM ANIONIC SURFACTANTS

D. A. Golov, L. N. Olshanskaya

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

ABSTRACT

The scientific article presents laboratory studies on the purification of model solutions contaminated with surfactants: sodium lauryl sulfate (SLES) and sodium laureth sulfate (SLS) with a composite material based on chitosan and Fe_3O_4 magnetic particles extracted from electroplating waste. The results obtained, taking into account the biological safety of chitosan, make it possible to recommend it for use in water treatment systems contaminated with anionic surfactants.

Key words: wastewaters, pollution, surfactants, purification, composite material, chitosan, magnetic particles

МАГНИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИОННЫХ ПАВ

Д. А. Голов, Л. Н. Ольшанская

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.
А., г. Саратов, Россия

АННОТАЦИЯ

В научной статье представлены лабораторные исследования по очистке модельных растворов, загрязненных поверхностно-активными веществами: лаурилсульфатом натрия (SLES) и лауретсульфатом натрия (SLS) композиционным материалом на основе хитозана и магнитных частиц Fe_3O_4 , извлеченных из отходов гальванического производства. Полученные результаты с учетом биологической безопасности хитозана позволяют рекомендовать его для использования в системах очистки загрязненных анионными поверхностно-активными веществами вод.

Ключевые слова: сточные воды, загрязнение, поверхностно-активные вещества, очистка, композиционный материал, хитозан, магнитные частицы

1. ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение водоемов промышленными и бытовыми сточными водами представляет собой серьезную экологическую угрозу. Неочищенные стоки могут содержать высокоопасные вещества: тяжелые металлы, пестициды, красители, нефтепродукты, а также поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые ухудшают качество воды и являются факторами гибели водных организмов. Существует высокий риск, поступления этих токсичных соединений в организм человека через трофическую цепь (при употреблении в пищу гидробионтов), либо с питьевой водой, что может индуцировать развитие злокачественных заболеваний [1, 2]. В связи с этим актуальной задачей является поиск новых, эффективных и экологически безопасных сорбентов и флокулянтов для очистки воды. Наиболее перспективным из этой области являются материалы, обладающие высоким потенциалом биораспада.

В последнее время в научных источниках отмечается высокая эффективность в качестве сорбента природного, биоразлагаемого и нетоксичного аминополисахарида — хитозана. Его молекулярная структура, содержащая большое количество реакционно способных функциональных групп, позволяет проводить различные модификации. Хитозан способен эффективно связывать и удерживать как неполярные соединения (например, белки и красители), так и ионы металлов [2, 3]. Несмотря на потенциал, применение хитозана для удаления ПАВ из воды изучено недостаточно. Данное исследование демонстрирует, что этот биополимер можно рассматривать в качестве эффективного сорбента для анионных поверхностно-активных веществ, что открывает перспективы для создания на его основе композиционных материалов для очистки сточных вод.

Гальваническое покрытие широко используется в качестве электрохимического метода защиты различных изделий из металла от неблагоприятных внешних воздействий, приводящих к разрушению, таких как влага (коррозионные процессы), химические реагенты. В цехах гальванической обработки образуется большое количество сточных вод, после очистки которых преимущественно физико-химическими методами остаются твердые отходы, называемые гальваническим шламом.

Гальванический шлам представляет собой один из наиболее высокотоксичных видов отходов. Основную опасность представляют содержащиеся в составе гальванических шламов в высоких концентрациях соединения тяжелых металлов – гидроксиды никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$, цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$, хрома $\text{Cr}(\text{OH})_3$, меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и других, а также непостоянство их состава, которое определяется технологическими особенностями гальванизации и методами очистки гальванических стоков [4, 5]. В настоящее время приоритетно значение имеет разработка альтернативных и эффективных методов снижения воздействия на окружающую среду и извлечения ценных

компонентов, содержащихся в гальванических отходах, имеет ключевое значение.

Ранее произведенные авторами исследования показали высокую эффективность очистки чистым хитозаном модельных растворов, загрязненных анионными поверхностно-активными веществами. Цель данного исследования заключалась в создании и исследовании сорбционных свойств композиционного материала на основе хитозана по отношению к АПАВ [6]. Для определения содержания АПАВ в анализируемых растворах при флокуляции их хитозаном использовали методику «ПНД Ф 14.1:2:4.15-95» [7], заключающуюся в построении градуировочного графика, качество которого контролировали коэффициентом корреляции ($R^2=0,997$).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основной интерес дальнейшего исследования представляло использование ценных компонентов из отходов гальванического производства в качестве магнитной составляющей сорбционного материала на основе хитозана. Гальванический шлам, полученный после ванн никелирования, был предоставлен предприятием ОАО «Роберт-Бощ-Саратов», его состав и внешний вид представлены на рисунках 1–2.

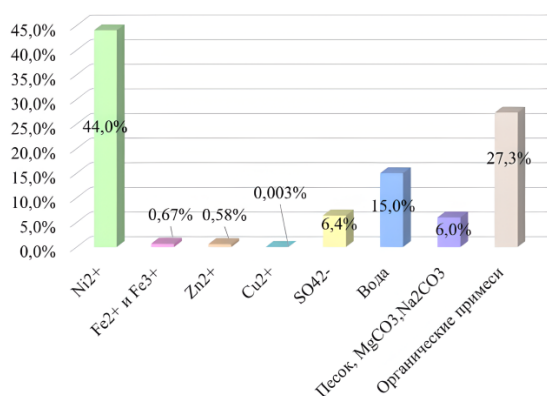


Рисунок 1 – Состав гальванического шлама из ванн химического никелирования



Рисунок 2 – Гальваношлам после ванн никелирования предприятия ОАО «Роберт-Бощ-Саратов»

Обрабатываемый шлам, содержащий ионы железа и никеля, изначально не имел четкой структуры и обладал повышенной влажностью, это характеризовалось в его пластичности и пастообразности, что затрудняло работу с ним, это было исправлено обезвоживанием и последующим измельчением до мелкой фракции для большего удобства. После навеску порошка помещали в термостойкий стакан, растворяли в дистиллированной воде (1,25:1 по массе) с постоянным перемешиванием до суспендированного состояния в условиях вытяжного шкафа. Чтобы отделить минеральные компоненты от присутствующих в смеси ионов Ni²⁺, Fe²⁺ и Fe³⁺ осуществляли

кислотную обработку H_2SO_4 (концентрированная) с доведением водородного показателя до равновесной концентрации ионов водорода $-\lg[10^{-2}]$. При этом наблюдалось большое выделение энергии (происходило нагревание, которое постоянно контролировалось путем охлаждения и перемешивания), образующиеся сульфатные соединения FeSO_4 (II) и NiSO_4 (II) переходили в жидкую фазу в то время, как минеральные компоненты гальваношламов оседали на дно за счет гравитационных сил. Для перевода соединений железа и никеля в нерастворимые соединения проводили обработку щелочью – одномолярным раствором гидроксида натрия с образованием натриевой серноокислой соли и нерастворимых гидроксидов металлов. Последовательно кислотнo-щелочной обработкой [8] в нерастворимую форму с учетом начала процесса осаждения и полным осаждением были переведены ионы Fe^{3+} (начало осаждения – при $\text{pH}=1,5$; полное осаждение – при $\text{pH}=4,1$) Fe^{2+} (начало – при $\text{pH}=6,5$; полное – при $\text{pH}=9,7$) и Ni^{2+} (начало – при $\text{pH}=6,7$; полное – при $\text{pH}=9,5$).

После получения гидроксидов железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ необходимо было перевести их в магнитные формы – гематит Fe_2O_3 (окись железа (III)) или маггемит Fe_3O_4 (железная окалина) для модификации хитозановой структуры. Как известно, маггемит обладает большей биосовместимостью, биоразлагаемостью, а также более сильными магнитными свойствами, поэтому разложение гидроксидов проводили при условиях преимущественного образования Fe_3O_4 . Для этого удаляли из полученных порошков влагу путем просушивания в печи, а после гидроокиси железа подвергались высокотемпературному разложению до Fe_3O_4 . Результаты обработки гидроксидов железа (II и III) представлены на рисунках 3–4.



Рисунок 3 – Гидроксид железа, полученный после кислотнo-щелочной обработки гальванического шлама



Рисунок 4 – Железная окалина (маггемит) Fe_3O_4 , обладающая магнитными свойствами

После получения магнитных частиц проводилось создание модификационной структуры с хитозаном. Для этого осуществляли протонирование 1 г хитозана путем растворения в 60 см³ 5 % раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) при постоянном перемешивании на магнитной мешалке в течение 4 часов при 1000 об/мин при комнатной температуре до полного растворения биополимера и образования гелеобразной структуры. На следующем этапе к раствору хитозана добавляли магнитные частицы маггемита Fe_3O_4 и перемешивали в течение 2 часов при

1700 об/мин. Для формирования магнитных гранул хитозана, готовили 1000 см³ 8 %-го раствора NaOH (2 моль/дм³). Для этого готовили навеску 80 г NaOH и растворяли в 1000 см³ воды, доводя до метки на колбе. После – осуществляли дозирование геля Хитозан/Fe₃O₄ в раствор гидроксида натрия для получения гранул и оставляли на 24 часа.

Полученные гранулы промывали дистиллированной водой до нейтрального значения водородного показателя pH=7,0±0,2. Дальнейшая задача заключалась в укреплении связей между хитозаном и магнитными частицами, а также отверждении получившихся гелевых гранул путем обработки 2 % глутаровым альдегидом при 40° С, после извлекали магнитным полем, промывали дистиллированной водой и сушили в печи при температуре 60 °С.

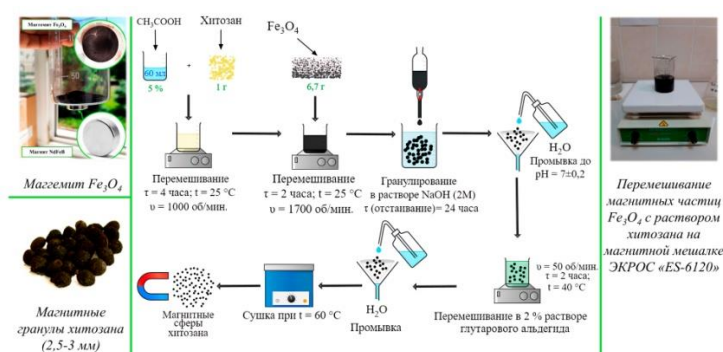


Рисунок 5 – Принципиальная схема процесса получения гранулированного композиционного материала на основе хитозана

В результате модификации были получены магнитные сферы хитозана размером 2,5–3 мм. После проведения процесса сшивки хитозана и магнитных частиц проводили исследования способностей полученного композиционного материала очищать модельные растворы АПАВ. Для этого готовили растворы SLS и SLES с концентрациями, превышающими ПДК в 2; 3; 4; 5 и 10 раз, погружали в них навески магнитных гранул хитозана на основе гальваношлама в количестве 1г/100 см³. После очистки анализировали пробы путем экстракционно-фотометрического метода.

Созданный в ходе исследования композиционный материал показал высокую эффективность удаления анионных поверхностно-активных веществ. Максимальные значения приходятся на взаимодействие с модельными растворами АПАВ в течение 0,5 часа, при этом концентрация поллютантов снижается в 18–30 раз при очистке воды от лаурилсульфата натрия (95–97 %) и в 17–28 раз при очистке от лауретсульфата натрия (94–96 %).

Таблица 1

Результаты анализа сорбционных свойств магнитных гранул хитозана на основе хитозана по отношению к SLS и SLES в зависимости от степени загрязненности при получасовом взаимодействии

Время сорбции, ч		0,5 часа	
Магнитные гранулы хитозана на основе Fe_3O_4 из гальваношлама	Начальная концентрация АПАВ, мг/дм ³ **	Эффективность очистки Э, % (от SLS)	Эффективность очистки Э, % (от SLES)
	0,2	97,2±0,1	96,7±0,1
	0,3	96,6±0,1	96,2±0,1
	0,4	96,1±0,1	95,9±0,2
	0,5	95,8±0,1	95,6±0,1
	1,0	95,1±0,2	94,7±0,1
Контроль*	0,5	1,1±0,1	1,1±0,1

Контроль* — Контролем служили неочищенные растворы поверхностно-активных веществ, отфильтрованные капроновым волокном;

** ПДКр.х.АПАВ = 0,1 мг/л.

Характеристика очистки материалом представлена на рисунках 7–8.

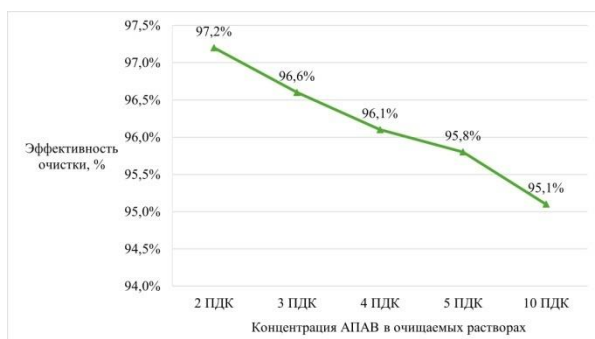


Рисунок 6 — Характеристика очистки модельных растворов от SLS магнитными гранулами хитозана

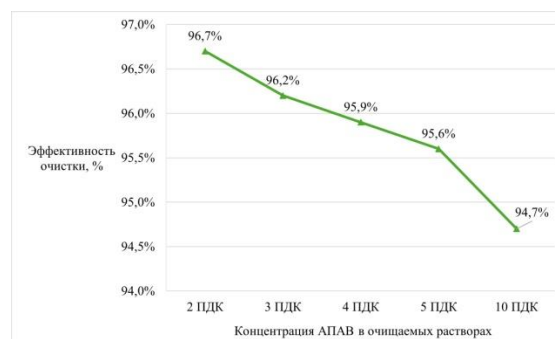


Рисунок 7 — Характеристика очистки модельных растворов от SLES магнитными гранулами хитозана

При использовании магнитного композиционного материала устанавливается концентрация анионных ПАВ в растворе гораздо ниже уровня ПДК, что обеспечивает практически полное удаление загрязняющего компонента.

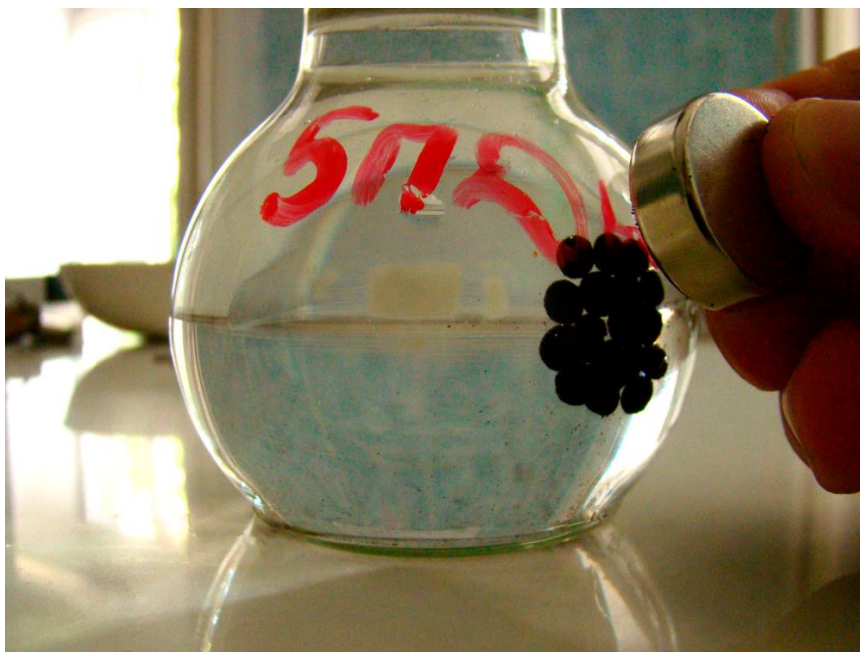


Рисунок 8 – Удаление внешним магнитным полем магнитного хитозана из очищаемых растворов

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание сорбционных материалов на основе хитозана и полезных компонентов из отходов гальванического производства является перспективным направлением исследований. Полученные материалы способны высокоэффективно удалять анионные ПАВ из очищаемых вод. Кроме того, использование отходов гальванического производства для создания сорбентов способствует решению проблемы утилизации этих отходов и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вохидова, Н.Р. Полимер металлические системы хитозана *BomVuxmori* : монография / Н.Р. Вохидова, С.Ш. Рашидова. – Ташкент: Изд-во «Фан» Академии наук Республики Узбекистан, 2016. – 128 с.
2. Пятигорская, Н.В. Виды модификации хитозана путем использования различных дериватирующих агентов / Н.В. Пятигорская, В.С. Каргин, Г.Э. Бркич // Медико-фармацевтический журнал Пульс. 2021. Т. 23. № 4. – С. 23–30.
3. Гришин, А.А. Хитин и хитозан: химия, биологическая активность, применение / А.А. Гришин, Н.В. Зорина, В.И. Луцкий // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2014. № 1(6). – С. 18–29.
4. Утилизация гальваношламов сложного состава / Т. А. Трифонова, Н. В. Селиванова, О. Г. Селиванов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14 – № 5. – С. 849–851.

5. Stepanov, S. Efficiency of use of galvanic sludge in cement systems / S. Stepanov, N. Morozov, N. Morozova // *Procedia Engineering*. – 2016. – Vol. 165. – P. 1112–1117.
6. Голов, Д. А. Исследование флокуляционных, коагуляционных, сорбционных свойств хитозана по отношению к анионным поверхностно-активным веществам для анализа перспективности создания композиционных материалов для очистки вод / Д. А. Голов, Н. Б. Джундибетова, О. А. Арефьева // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. – 2023. – № 1(15). – С. 261–267.
7. Охрана труда в России. Методика измерения массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в питьевых, поверхностных и сточных водах экстракционно-фотометрическим методом ПНД Ф 14.1:2:4.15–95: официальный сайт. – 2023 – URL : <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/e77/4293808613.pdf> (дата обращения: 21.01.2024). – Текст : электронный.
8. Олышанская, Л. Н. Гальваношламы как источник вторичных ресурсов для получения промышленных товаров / Л. Н. Олышанская, Е. Н. Лазарева, Ю. В. Волошкина // *Industrial Processes and Technologies*. – 2023. – № 3 (8). С. 7–14.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

PHYSICO-CHEMICAL ASPECTS OF INTRODUCING ADDITIVES INTO GASOLINE DURING STORAGE FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

A.M. Kuzminskaya, M.V. Buzaeva
Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

ABSTRACT

The work is devoted to the study of the physicochemical aspects of the action of surfactants (surface-active agents) used as additives to automotive gasolines to reduce the evaporation of light fractions during storage. Using the maximum bubble pressure method, the surface tension and adsorption of a complex additive at the gasoline-air interface were studied. The surface activity and maximum adsorption were calculated using the Gibbs adsorption equation, and the critical micelle concentration (CMC) was determined. It was found that the introduction of the additive into gasoline leads to the following effects: a reduction in volatile organic compound (VOC) emissions during storage and an improvement in combustion characteristics due to the optimization of gasoline atomization in the engine. The obtained results can be used to calculate the required amount of additive to be introduced into gasoline tanks to reduce evaporation and minimize the negative impact on the environment.

Key words: environmental protection, surface-active agents, additives, gasoline, emissions reduction

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВВЕДЕНИЯ ПРИСАДОК В БЕНЗИН ПРИ ХРАНЕНИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.М. Кузьминская, М.В. Бузаева
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск,
Россия

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена исследованию физико-химических аспектов действия поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве присадок к автомобильным бензинам для снижения испарения легких фракций при

хранении. Методом максимального давления пузырька изучены поверхностное натяжение и адсорбция комплексной присадки на границе раздела фаз бензин–воздух. С использованием уравнения адсорбции Гиббса рассчитаны поверхностная активность и максимальная адсорбция, определена критическая концентрация мицеллообразования. Выявлено, что введение присадки в бензин приводит к следующим эффектам: сокращению выбросов летучих органических соединений (ЛОС) при хранении и улучшению характеристик сгорания за счет оптимизации распыления бензина в двигателе. Полученные результаты могут быть использованы для расчета необходимого количества присадки, вводимой в резервуары с бензином, с целью снижения испарения и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: защита окружающей среды, поверхностно-активные вещества, присадки, бензин, сокращение выбросов

Значительный вклад в загрязнение атмосферы вносят не только выхлопные газы, но и испарение легких углеводородных фракций из резервуаров хранения на нефтебазах и автозаправочных станциях. Потери от испарения могут достигать 0,1–0,2% от общей массы топлива, что приводит к прямым экономическим убыткам и росту концентрации летучих органических соединений (ЛОС) в воздухе. Эти вещества являются прекурсорами фотохимического смога и оказывают негативное влияние на здоровье человека [4].

Газообразные углеводороды имеют широкий спектр негативных воздействий на человека: от острых неврологических нарушений до канцерогенных эффектов. Постоянное воздействие даже низких концентраций углеводородов, характерное для проживания вблизи промышленных зон, автодорог и АЗС, представляет собой угрозу для здоровья. В зонах с высокой концентрацией паров углеводородов фиксируется устойчивый рост числа случаев заболеваний органов дыхания (таких как астма, бронхиты) и нарушений работы сердечно-сосудистой системы [4]. Кроме того, у населения наблюдается гематологические нарушения и снижение сопротивляемости организма инфекциям. Помимо экологического ущерба, испарение углеводородов приводит к значительным экономическим потерям и повышает взрыво- и пожароопасность при хранении топлив.

В настоящее время в мировой практике существует несколько методов снижения испарения углеводородных топлив. Эти методы можно разделить на три группы: физические, технологические и химические [2]. Химические методы снижения испаряемости бензинов основаны на введении в состав топлива поверхностно-активных веществ (ПАВ). Механизм их действия заключается в адсорбции молекул ПАВ на границе раздела фаз бензин–воздух с образованием мономолекулярной пленки, что приводит к

уменьшению испарения топлива в резервуарах и снижению поверхностного натяжения. Использование присадок для уменьшения испаряемости бензина является наиболее экономичным и экологически эффективным методом, поскольку присадки вводятся в малых количествах (менее 0,01 %).

В качестве объекта исследования использовали автомобильный бензин АИ-92. В качестве испытуемой присадки использовали продукт конденсации полиэтиленгликоля (ПЭГ), этаноламина и стеариновой кислоты в соотношении 1:1,5:1,5 [3]. Поверхностное натяжение (σ) образцов бензина с различной концентрацией присадки (C) измеряли методом максимального давления пузырька (метод Ребиндера). Для обработки экспериментальных данных применяли уравнение адсорбции Гиббса:

$$\Gamma = - \left(\frac{C}{RT} \right) \cdot \left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right) T, \quad (1)$$

где Γ – гиббсовская адсорбция (моль/м²);

C – концентрация в объемной фазе (моль/л);

R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж·моль⁻¹·К⁻¹);

T – температура (293,15 К при 20 °С);

σ – поверхностное натяжение (мДж/м²);

$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right) T$ – производная поверхностного натяжения по концентрации при постоянной температуре (поверхностная активность).

Градиент зависимости «поверхностное натяжение — концентрация» вычисляли методом центральных разностей:

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial C} \right) \approx \frac{\sigma(C + \Delta C) - \sigma(C - \Delta C)}{2\Delta C}, \quad (2)$$

Адсорбционные характеристики определяли по данным поверхностного натяжения (σ) при поэтапном увеличении концентрации присадки (C) в бензине (0 до 0,3472 моль/л); результаты суммированы в таблице 1[1].

Таблица 1

Величина поверхностного натяжения (σ) при различных равновесных концентрациях присадки в бензине (C)

C, моль/л	0	0,0417	0,1180	0,1736	0,3472
σ , мДж/м ²	22,100	21,658	21,296	20,894	20,894

По уравнениям (1) и (2) были рассчитаны значения производных поверхностного натяжения по концентрации ($d\sigma/dC$). Поверхностная адсорбция по Гиббсу (Γ) рассчитана при измеренных равновесных

концентрациях присадки в бензине. Полученные адсорбционные характеристики приведены в таблице 2 [1]. Величина максимальной адсорбции, т.е. предельная адсорбция при полном заполнении монослоя (Γ_{∞}) была рассчитана и составила 0,000249 моль/м².

Таблица 2

Расчетные значения адсорбции по Гиббсу (Γ)

C (моль/л)	$d\sigma/dC$ (мДж·л/моль·м ²)	Γ (моль/м ² ·10 ⁻⁶)
0,0417	-10,60	2,17
0,1180	-4,74	2,29
0,1736	-7,23	5,16
0,3472	0,00	5,18

При $C = 0,3472$ моль/л снижение σ прекращается, что указывает на достижение критической концентрации мицеллообразования (ККМ).

Для построения модели распределения ПАВ между поверхностью и объемом жидкости на основе уравнений Гиббса и Лэнгмюра, необходимо объединить термодинамический подход Гиббса с молекулярно-кинетической моделью Лэнгмюра. Уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра предполагает, что поверхность имеет конечное число адсорбционных центров (Γ_{∞}) и адсорбция происходит до образования монослоя. Формула изотермы Лэнгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{KC}{1 + KC}, \quad (3)$$

где K – константа адсорбционного равновесия;

C – равновесная концентрация, моль/л;

Γ_{∞} – предельная адсорбция при полном заполнении монослоя.

Подставим изотерму Лэнгмюра в уравнение Гиббса и проинтегрируем для нахождения зависимости $\sigma(c)$:

$$\frac{d\sigma}{dc} = -RT \frac{\Gamma}{c} = -RT \frac{\Gamma_{\infty}K}{1 + KC}, \quad (4)$$

$$\sigma(c) = \sigma_0 - RT\Gamma_{\infty} \ln(1 + KC), \quad (5)$$

где σ_0 – поверхностное натяжение чистого растворителя.

Для нахождения константы адсорбционного равновесия было произведено построение графических зависимостей и их последующая математическая обработка с использованием программы Python. Было получено значение равное 22,8199 моль/л.

$$\sigma(c) = \sigma_0 - RT \cdot 0,000249 \cdot \ln(1 + 22,8199C), \quad (6)$$

При использовании данных эксперимента:

$$\sigma(c) = 22,10 - 8,314 \cdot 293,15 \cdot 0,000249 \cdot \ln(1 + 22,8199C), \quad (7)$$

Было установлено, что интенсивная адсорбция ПАВ происходит до равновесной концентрации, примерно равной 0,17 моль/л. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) составляет ~0,1736 моль/л, что подтверждается стабилизацией значения поверхностного натяжения (σ). При низких концентрациях поверхностный избыток (Γ) монотонно возрастает, что указывает на усиление межфазной аккумуляции молекул ПАВ при повышении их концентрации в объемной фазе. За порогом ККМ наблюдается прекращение увеличения величины адсорбции на межфазной границе.

Экспериментально установленные значения ККМ и максимальной адсорбции, полученная модель распределения ПАВ между поверхностью бензина и объемной фазой имеют практическую значимость для оптимизации процесса введения присадки при периодическом или непрерывном заборе топлива из резервуара. Это позволит исключить избыточное дозирование присадки в бензин и топливные композиции.

Исследование адсорбционных процессов ПАВ на межфазных границах в углеводородных системах представляет перспективное междисциплинарное направление, имеющее значение как для фундаментальной науки, так и для обеспечения экологической устойчивости. С фундаментальной точки зрения, изучение кинетики и равновесия адсорбции позволяет разрабатывать модели межфазного поведения в неводных средах.

С экологической точки зрения, управление адсорбционными процессами на межфазной границе бензин-воздух представляет стратегически важный подход для ряда экологических проблем. Формирование адсорбционных слоев ПАВ создает эффективный барьер для испарения топлива, существенно снижая выброс летучих органических соединений (ЛОС) при хранении. Дополнительным преимуществом является улучшение характеристик процесса сгорания топлива, приводящее к снижению выбросов твердых частиц и несгоревших углеводородов [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Buzaeva, M. V. Technologies to reduce environmental impact of contamination during gasoline storage / M. V. Buzaeva, A. M. Kuzminskaia, A. S. Ureneva // Global perspectives in science, education and applied research : Proceedings of the International Science Conference, Delhi, 21 мая 2025 года. – Delhi, India: Scientific publishing house Infinity, 2025. – P. 98-102. – DOI 10.34660/INF.2025.76.61.016.

2. Коршак А.А., Морозова Н.В. Методические основы выбора технических средств сокращения потерь нефти (бензина) от испарения Современные средства сокращения потерь бензинов от испарения // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2013. №6 - С. 228-246.
3. Кузьминская, А. М. Современные методы снижения испарения и обеспечения безопасности при хранении нефтепродуктов в резервуарах / А. М. Кузьминская, М. В. Бузаева, О. В. Агеева // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 4(94). – С. 65-75. – DOI 10.25257/TTS.2021.4.94.65-75.
4. Кузьминская, А. М. Экологические аспекты испарения бензинов при хранении в резервуарах / А. М. Кузьминская, М. В. Бузаева, О. А. Давыдова // Вузовская наука в современных условиях : Сборник материалов 56-й научно-технической конференции. В 2-х частях, Ульяновск, 24–29 января 2022 года. Том Часть 2. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2022. – С. 180-183.
5. Е. Р. Магарил, Р. З. Магарил, Е. Н. Скворцова, И. А. Анисимов. Применение наноприсадки к бензину для повышения экологической безопасности и топливной экономичности автомобилей / // Транспорт Урала. – 2020. – № 3(66). – С. 51-56. – DOI 10.20291/1815-9400-2020-3-51-56.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

POSSIBILITIES AND POTENTIAL OF BIOLOGICAL FILTRATION TECHNOLOGIES IN CLEANING OF GAS-AIR MIXTURES

E.S. Nikolaeva, R.K. Zakirov, E.S. Balymova, F.Yu. Akhmadulina
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

ABSTRACT

One of the modern topical ecological problems is atmosphere air pollution by volatile organic compounds (VOC) generating in the process of work of industrial enterprises. Traditional emissions cleaning methods (catalytic oxidation, adsorption, condensation) are having high energy intensity and economic cost and therefore ineffective for cleaning of low concentrations of VOC. A promising approach is biological filtration – the method based in the use of microorganisms capable of decomposing of organic compounds to harmless products. In this paper advantages and disadvantages of this method have been considered. Directions of its further development and practical application have been pointed out.

Key words: atmosphere air pollution, emissions, volatile organic compounds, cleaning methods, biological filtration, efficiency

ВОЗМОЖНОСТИ И ПОТЕНЦИАЛ БИОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОЧИСТКЕ ГАЗО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Е.С. Николаева, Р.К. Закиров, Е.С. Балымова, Ф.Ю. Ахмадулина
Казанский национальный исследовательский технологический университет»
г. Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Одной из актуальных экологических проблем современности остаётся загрязнение атмосферного воздуха летучими органическими соединениями (ЛОС), образующимися в процессе работы промышленных предприятий. Традиционные методы очистки выбросов (каталитическое окисление, адсорбция, конденсация) характеризуются высокой энергоёмкостью и экономической затратностью, что делает их малоэффективными при работе с

малыми концентрациями ЛОС. Перспективным направлением является биофильтрация - метод, основанный на использовании микроорганизмов, способных разлагать органические соединения до безвредных продуктов. В работе рассмотрены преимущества и ограничения данного метода, а также обозначены направления его дальнейшего развития и практического применения.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, выбросы, летучие органические соединения, методы очистки, биофильтрация, эффективность

По данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение атмосферного воздуха ежегодно становится причиной миллионов преждевременных смертей. Особенно остро эта проблема стоит для промышленных регионов, включая Республику Татарстан, где высока концентрация предприятий нефтехимического и топливно-энергетического комплексов. Традиционные методы газоочистки показывают эффективность в отношении неорганических загрязнителей, однако удаление ЛОС остаётся трудоёмкой и затратной задачей. В связи с этим актуальным направлением исследований является развитие технологий биологической очистки газовых выбросов. Совокупное воздействие загрязнённого атмосферного воздуха и воздуха в промышленных агломерациях ежегодно приводит к преждевременной смерти примерно 6,7 млн. человек, из которых не менее 4,2 млн. случаев напрямую связаны с воздействием загрязнения воздуха вне помещений.

Основными загрязняющими веществами, поступающими почти от всех предприятий, являются: пыль, оксид углерода, диоксид азота, сероводород, фенол, аммиак, формальдегид, бензол, толуол.

Одним из экономически развитым регионом РФ является Республика Татарстан. Республика Татарстан обладает значительным экономическим потенциалом и развитым человеческим капиталом. Конкурентными преимуществами Татарстана являются выгодное географическое положение, богатые природные ресурсы, высококвалифицированные трудовые ресурсы, мощный промышленный и научный комплекс, развитая транспортная инфраструктура.

В структуре экономики наибольший удельный вес, по оценке, занимает промышленность – 45,8 % (в том числе, добыча полезных ископаемых – 24,6 %, обрабатывающие производства – 19,1 %, обеспечение электрической энергией, газом, паром; кондиционирование воздуха – 1,7 %, водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений – 0,4 %), сельское хозяйство – 3,9 %, строительство – 7,3 %, оптовая и розничная торговля – 10,6 %, транспортировка и хранение – 4,6 % (доля отраслей приведена на диаграмме 1).



Диаграмма 1 – Распределение отраслей РТ в процентном соотношении

Ведущие отрасли промышленности рассматриваемого региона: нефтегазодобывающая, нефтехимическая, машиностроение и металлообработка.

Главные промышленные центры - города: Казань, Набережные Челны, Зеленодольск, Нижнекамск, Альметьевск, Чистополь, Бугульма, Елабуга, ОАЭ Алабуга [1].

В процессе функционирования промышленных предприятий неизбежно образуются различные типы отходов: жидкие, твёрдые и газообразные. Для каждого из них предусмотрены собственные методы обработки и обезвреживания. Так, для сточных вод применяются многоступенчатые системы очистки, включающие механические, химические и биологические методы. Газообразные отходы подвергаются активной очистке с использованием газоочистных установок либо частично компенсируются за счёт пассивных решений, учитывающих способность природной среды к самоочищению. Твёрдые отходы утилизируются посредством захоронения, сжигания или направляются на вторичную переработку. При этом важно подчеркнуть, что практически на всех этапах обращения с отходами формируются вторичные газовые выбросы, которые также вносят вклад в загрязнение атмосферы.

Для оценки экологической обстановки применяется система мониторинга. Она позволяет отслеживать состояние окружающей среды и своевременно выявлять отклонения от нормативных показателей. Получаемая информация даёт возможность корректировать производственные процессы и оперативно принимать природоохранные меры. Помимо промышленных площадок, мониторинг активно проводится и в городской среде, где он служит важным инструментом контроля качества жизни населения. Выявленные превышения на границе жилой застройки на примере г. Нижнекамск приведен в таблице 1 [2].

Таблица 1

Концентрации загрязняющих веществ в г. Нижнекамск при нормальных метеорологических условиях

Код	Смесь	Концентрация	ПДКс.с. мг/м ³	ОБУВ	Доли ПДК
2908	Пыль, мг/м ³	0,109	0,1	-	1,09
301	Диоксид азота, мг/м ³	0,122	0,1	-	1,22

Неорганические вещества легко удаляются стандартными методами (фильтрация, осаждение, нейтрализация), тогда как летучие органические соединения из-за низкой полярности, высокой летучести и сложной структуры плохо поддаются конденсации и адсорбции. Их разнообразие и токсичность требуют энергоёмких технологий и глубокой деструкции, что делает очистку ЛОС значительно более сложной и затратной по сравнению с неорганическими загрязнителями [3-6].

Так, для очистки малых концентраций перспективой будет биологическая очистка газовых выбросов. Биофильтры перспективны для очистки ЛОС благодаря способности микроорганизмов разлагать их на безопасные соединения (CO₂, H₂O) без энергозатратных процессов. Они экономичны, адаптивны к разнообразию веществ и экологичны, решая проблемы глубокой деструкции токсинов. Комбинация с другими методами повышает эффективность, что делает биофильтры ключевым инструментом в борьбе с летучими загрязнителями.

По массе основными веществами, загрязняющими атмосферный воздух в г. Нижнекамске, являются: диоксид серы – 20,2 тыс. т/год, оксиды азота (диоксид и оксид азота) – 15,4 тыс. т/год, оксид углерода – 11,3 тыс. т/год, смесь предельных углеводородов C1-C5, C6-C10, C12-C19 суммарно – 15,2 тыс. т/год.

Многие из этих веществ попадают в атмосферу от очистных сооружений сточных вод, КНС и газоочистного оборудования. Углеводороды классифицируются как насыщенные (метан, алканы, парафины), ненасыщенные (олефины, ацетиленовые, диеновые) и карбоциклические (алициклические и ароматические), при этом насыщенные метановой группы составляют основу нефти и природного газа. В составе нефти могут встречаться и ароматические углеводороды, но они редко преобладают. По строению углеводороды делят на предельные (C₂–C₅) и непредельные (C₁–C₁₀), причём некоторые из них обладают выраженным мутагенным действием.

Превышение ПДК таких соединений вызывает тяжёлые последствия для здоровья: поражение сердечно-сосудистой системы, печени, эндокринных и нервных функций, снижение уровня гемоглобина и эритроцитов. В городской среде они участвуют в формировании

фотохимического смога, продуцируя токсичные альдегиды и кетоны, а также сопровождаются неприятным запахом и риском аварийных выбросов.

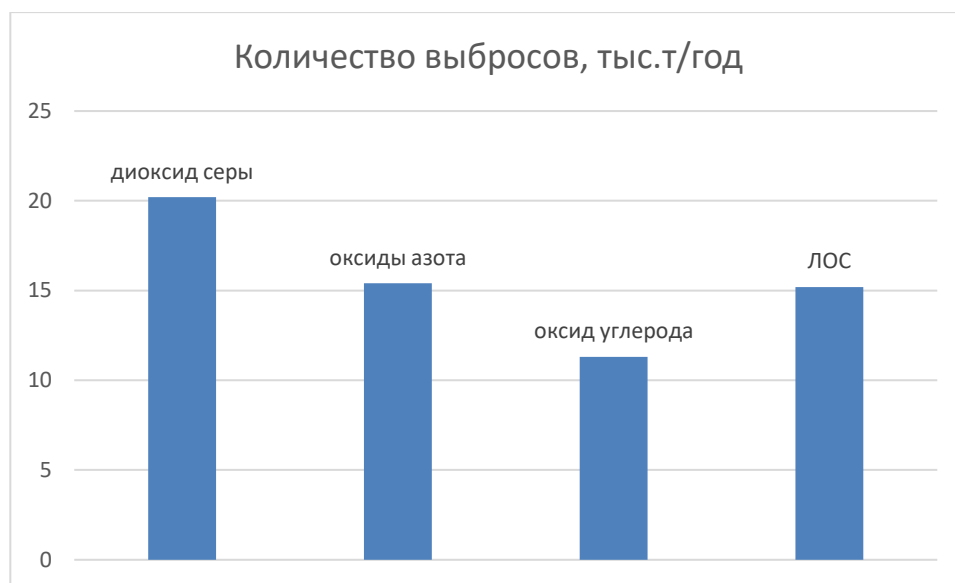


Диаграмма 2 – Количество выбросов по массе выброшенных в атмосферный воздух в г. Нижнекамск (тыс.т/год)

Основными источниками загрязнения являются предприятия энергетического, химического, нефтехимического и нефтегазового комплексов. В малых дозах углеводороды выполняют функции сигнальных клеточных газотрансмиттеров, но при превышении нормативов резко ухудшают здоровье населения и качество жизни, что делает необходимой их очистку, включая применение биофильтрации при низких концентрациях.

Преимущества:

- биологические фильтры имеют простое аппаратное оформление;
- низкие энергозатраты;
- биология и экология микроорганизмов сложны и изменчивы.

Эти характеристики придают процессу надежность. Другими словами, процесс способен поддерживать свою производительность или быстро возвращаться к исходному уровню после периода отсутствия потока, интенсивного использования, токсических воздействий, обратной промывки среды (процессы высокоскоростной биофильтрации) и т.д.

Недостатки:

- тяжелая контролируемость процесса;
- недостаточная изученность процесса;
- невозможность точного мониторинга процесса.

Поскольку фильтрация и рост биомассы приводят к накоплению веществ в фильтрующей среде, этот тип процесса с фиксированной пленкой подвержен биозагрязнению и перенаправлению потока. В зависимости от типа применения и среды, используемой для роста микроорганизмов,

биозагрязнение можно контролировать с помощью физических и / или химических методов. Этапы обратной промывки могут быть реализованы с использованием воздуха и / или воды, чтобы разрушить биопленку и восстановить поток, когда это возможно. Также могут быть использованы химические вещества, такие как окислители (пероксид, озон) или биоциды.

В процессе очистки сточных вод, образуется газо-воздушная смесь, загрязнённая различными углеводородами различной концентрации и иными ЗВ.

Согласно сведениям о работе очистных сооружений сточных вод от преаэраторов в атмосферный воздух могут поступать: бензол, толуол, этилбензол, стирол и углеводороды C6-C10 [4].

Таблица 2

Маркерные вещества (в частности ЛОС) для нефтеперерабатывающей отрасли и их концентрации [7]

Код	Наименование	ПДКм.р. мг/м ³	ПДКс.с. мг/м ³	ПДКс.г. мг/м ³
602	Бензол (Циклогексатриен; фенилгидрид)	0,3	0,06	0,005
621	Метилбензол (Фенилметан)	0,6	-	0,4
627	Этилбензол (Фенилэтан)	0,02	-	0,04
416	Смесь предельных углеводородов C ₆ H ₁₄ - C ₁₀ H ₂₂	50	5	-
2754	Алканы C ₁₂₋₁₉ (в пересчете на С)	1	-	-

Так как ведущим предприятием г. Нижнекамска является ПАО «Нижнекамскнефтехим», данная проблема может быть свойственна им как предприятию нефтехимического комплекса.

Исходя из вышеизложенного, прослеживается необходимость улучшения работы биофильтров, с применением их на ПАО «Нижнекамскнефтехим». Ввиду того, что компания СИБУР является одной из наиболее стремительно развивающихся компаний РФ, можно сделать предположение, что производственные мощности предприятия будут набирать обороты в последующие годы. Это говорит о том, что при плохом уровне очистки уже на данном этапе, в будущем у компании могут возникнуть проблемы в сфере соблюдения природоохранных нормативов. Следовательно, приведет либо к удорожанию работы производства, либо к необходимости ввода дополнительных очистных сооружений в эксплуатацию. Оба варианта предусматривают значительные экономические вложения, следовательно, на данное время целесообразно изучить возможность улучшения работы биофильтров.

Главный вклад в загрязнение воздушного бассейна вносит промышленность, особенно крупные предприятия неорганической химии и нефтехимии загрязняют атмосферу самыми различными по составу газами, таких как диоксид серы, тетрафторид кремния, фтороводород, оксиды азота, хлор, озон, дурнопахнущие вещества, углеводороды и органические соединения других классов. Большинство предприятий используют собственные энергетические системы, отходящие газы которых содержат вредные газообразные и твердые примеси.

Так, один из наиболее эффективных способов очистки воздуха – фильтрация с применением биофильтров.

Применение биофильтров на предприятиях по очистке сточных вод, является одним из перспективных направлений в решении проблем улучшения качества воздушной среды в промышленных городах.

При применении данного способа на очистных, учитывается в основном отитка от летучих углеводородов. Все такие вещества делятся в первую очередь на незамкнутые или ациклические и замкнутые (карбоциклические).

Исходя из вышеизложенного, стоит отметить, что среди всех видов очистки газовых выбросов, биофильтрация является малоизученным, но перспективным направлением. Однако не смотря на достоинства данного метода, существует ряд проблем, связанных с низкой управляемостью процесса, малой изученностью, отсутствием систем автоматизации и управления, что снижает степень практического использования биологической очистки газовых выбросов на предприятиях.

Таким образом, для решения данных проблем необходимы дополнительные исследования в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Республика Татарстан. Текст электронный URL: https://mojgorod.ru/r_tatarstan/index.html (дата обращения 30.08.2025).
2. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в городе Нижнекамск. Текст электронный URL: <https://tatarmeteo.ru/ru/monitoring-okruzhayushhejsredyi/monitoring-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduxa-v-gorode-nizhnekamsk.html> (дата обращения 8.09.2025).
3. Экспериментальные исследования биохимической очистки газов в рабочей зоне перекрытых очистных сооружений сточных вод. Текст электронный URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-biohimicheskoy-ochistki-gazov-v-rabochey-zone-perekrytyh-ochistnyh-sooruzheniy-stochnyh-vod/viewer> (дата обращения 30.08.2025).
4. Основные проблемы и пути решения комплексной очистки газовых выбросов больших объемов. Текст электронный URL: <file:///C:/Users/user/Downloads/osnovnye-problemy-i-puti-resheniya->

kompleksnoy-ochistki-gazovyh-vybrosov-bolshih-obemov.pdf (дата обращения 31.12.2024).

5. ПДК углеводородов: химические факторы производственной среды. Текст электронный URL: <https://fb.ru/article/464047/pdk-uglevodorodov-himicheskie-factoryi-proizvodstvennoy-sredyi> (дата обращения 30.08.2025).

6. БИОПЛЕНКИ: Основные принципы организации и методы исследования. Текст электронный URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F1250326711/posobie._Bioplenki._Mardanova.AM.Kabanov.D.A..Sharipova.M.R.pdf (дата обращения 30.08.2025).

7. Управление экологической безопасности в нефтеперерабатывающей промышленности (на примере ООО «РН-Туапсинский НПЗ»). Текст электронный URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_65f0a2e576a3456f942e9fb6463e9a56.pdf (дата обращения 01.09.2025).



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

SYNTHESIS OF HIGHER ALCOHOLS FROM SYNTHESIS GAS ON KCoMo SULFIDE CATALYZERS. INFLUENCE OF THE CARRIER NATURE ON PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES AND CATALYTIC ACTIVITY

G.O. Nikolsky, A.N. Varakin, N.A. Vinogradov, S.V. Vostrikov
Samara State Technical University, Samara, Russia

ABSTRACT

Catalyst carriers based on aluminium, titanium, zirconium and zeolite oxides were synthesized. KCoMo catalysts were synthesized by the method of impregnation by moisture capacity with a solution containing phosphomolybdic heteropolyacid and cobalt citrate and potassium hydroxide. The samples of carriers and catalysts were studied by transmission electron microscopy, low-temperature nitrogen adsorption-desorption, energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry, thermo-programmed hydrogen reduction and X-ray photoelectron spectroscopy. Based on the results of the study of catalysts, assumptions were made about the influence of the nature of the carrier on the formation of coordination-unsaturated centers of the active sulfide phase.

Key words: higher alcohol, synthesis, catalysts, physical-chemical properties, catalytic activity

СИНТЕЗ ВЫСШИХ СПИРТОВ ИЗ СИНТЕЗ ГАЗА НА KCoMo СУЛЬФИДНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ НОСИТЕЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАТАЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ

Г.О. Никольский, А.Н. Варакин, Н.А. Виноградов, С.В. Востриков
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

Синтезированы носители катализаторов на основе оксидов алюминия, титана, циркония и цеолитов. KCoMo-катализаторы синтезировали методом пропитки по влагеёмкости раствором, содержащим фосформолибденовую гетерополиокислоту и цитрат кобальта и гидроксид калия. Образцы носителей и катализаторов были исследованы методами просвечивающей электронной

микроскопии (ПЭМ), низкотемпературной адсорбции-десорбции азота, энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА), термопрограммируемого восстановления водородом (ТПВ-Н₂) и рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). На основе результатов исследования катализаторов были сделаны предположения о влиянии природы носителя на образование координационно-ненасыщенных центров активной сульфидной фазы.

Ключевые слова: высшие спирты, синтез, катализаторы, физико-химические свойства, каталитическая активность

1. ВВЕДЕНИЕ

Поскольку мир работает над декарбонизацией энергетического сектора, крайне важно, чтобы были предприняты усилия не только по ограничению, улавливанию или хранению выбросов CO₂, но и по поиску способов их использования, включая конверсию CO₂ путем гидрирования в ценные продукты, такие как легкие олефины (C_nH_{2n}), углеводороды метанол (CH₃OH) и высшие спирты (C₂₊OH).

Высшие спирты менее токсичны чем синтетический метанол, имеют меньшую летучесть, лучшую растворимость в топливе и более высокую энергетическую плотность, что позволяет использовать их в качестве октанповышающих добавок.

Кроме того, в высших спиртах нуждается химическая промышленность, поскольку спирты являются субстратами для производства химических веществ с добавленной стоимостью, таких как олефины и многие другие.

В настоящее время существует три основных способа получения высших спиртов: ферментация растительного сырья, гидратация олефинов нефтяного происхождения и синтез из синтез-газа.

Если первый способ ограничен этическим вопросом «еда или топливо», то проблема второго - низкая производительность процесса и недостаточная стабильность катализатора.

Образование высших спиртов осложнено характером реакции, поскольку эффективный катализатор должен быть бифункциональным: с одной стороны, должен способствовать образованию спиртовой группы (C-OH), с другой стороны обеспечивать рост углеводородной цепи (C-C). Литературно рассматриваются вопросы аппаратного оформления, но особое внимание уделяется катализаторам процесса.

Данные системы можно разделить на следующие группы: на основе благородных металлов (например, Rh, Pd, Au), на основе постпереходных металлов, биметаллические, мультиметаллические/многофункциональные катализаторы, металлоорганические каркасы (MOF), катализаторы на основе

перовскитов и цеолитов, катализаторы на основе переходных металлов. Наиболее подходящими для данного процесса являются модифицированные щелочным металлом катализаторы на основе Mo, промотированные Co или Ni. В качестве носителей может выступить широко используемый оксид алюминия, в качестве перспективных носителей – SiO₂, TiO₂, MgO, ZrO₂, цеолиты, а также функциональные смеси данных носителей.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Перед каталитическими испытаниями все образцы сульфидировали сероводородом при 360 °С под давлением 6.1 МПа в течение 1 ч. Синтез спиртов проводили в установке с проточным трубчатым реактором под давлением.

Условия проведения реакции: P = 5.1 МПа, T = 360°С, m_{кат} = 3 г, объемная скорость – 760 л ч⁻¹ (г кат)⁻¹, размер частиц катализатора – 0.2–0.5 мм. Навеску катализатора разбавляли гранулами кварца до 5 мл.

Сырьем для синтеза служил синтез-газ (объемное соотношение CO:H₂:Ar = 1:1:0.17). Отбор проб осуществляли каждые 4 ч. Количественный состав спиртов в продуктах определяли газохроматографическим методом на хроматографе Кристалл-2000 (“Хроматэк”, Россия) с пламенно-ионизационным детектором. Продукты разделяли на капиллярной колонке (длиной 50 м) Agilent J&W HP-FFAP.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образцы носителей и катализаторов были исследованы методами ПЭМ, низкотемпературной адсорбции-десорбции азота, РФЛА, ТПВ-Н₂ и РФЭС. Физико-химические свойства синтезированных носителей представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства носителей

Образец	Удельная площадь пов-ти, м ² /г	Удельный объем пор, см ³ /г	Средний диаметр пор, нм	Кисл-ть (ТПД NH ₃), мкмоль/г	Кисл-ть Брэнстеда, мкмоль/г	Кисл-ть Льюиса, мкмоль/г
Al ₂ O ₃	229	0.632	11	729	0	293
ZrO ₂	131	0.066	2	342	123	191
TiO ₂	151	0.418	11	450	45	364
Al ₂ O ₃ +цеолит	259	0.592	9	698	96	258

Кислотность оксида алюминия представлена только кислотными центрами Льюиса. Оксид титана занимает промежуточное положение по кислотным и текстурным свойствам относительно оксидов циркония и алюминия – удельная площадь поверхности 151 м²/г и удельный объем пор 0,418 см³/г при диаметре пор 11 нм. Добавление цеолита в состав алюмооксидного носителя приводит увеличению удельной площади поверхности с 229 м²/г до 259 м²/г и уменьшению объема пор с 0,632 см³/г до 0,592 см³/г. При этом в образце появились кислотные центры Брэнстеда.

Катализаторы характеризуются более низкими значениями текстурных характеристик по сравнению с исходными носителями. С целью корректного сравнения активностей на носители было нанесено одинаковое количество активных металлов – Мо, Со и К, соответственно, 12, 3,7 и 15 % мас.

На основе результатов исследования катализаторов в сульфидной форме методом температурно-программируемого восстановления были сделаны предположения о влиянии природы носителя на образование координационно-ненасыщенных центров активной сульфидной фазы. Кривые ТПВ-Н₂ сульфидных образцов представлены на рисунке 1.

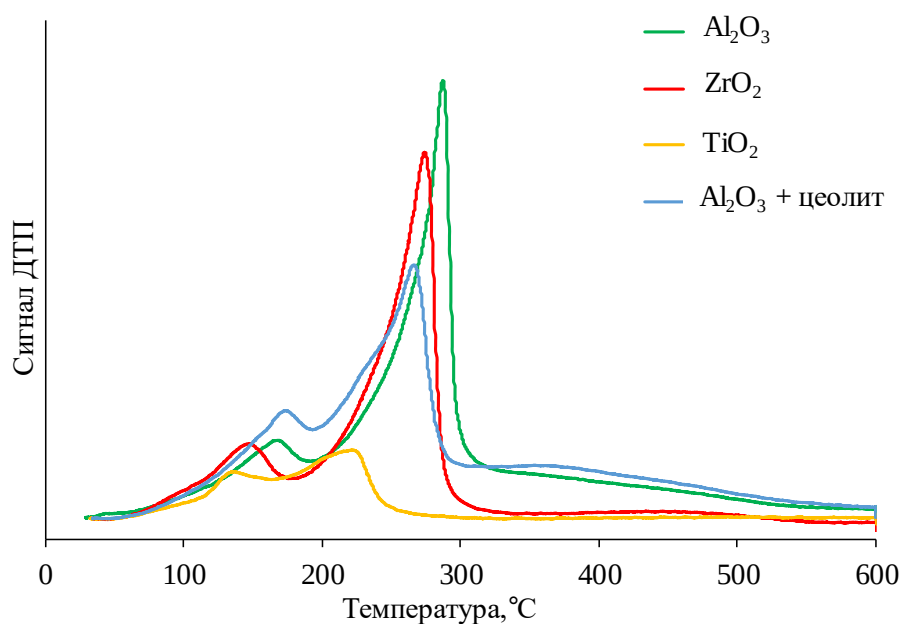


Рисунок 1 - Кривые ТПВ-Н₂ сульфидных образцов

Пик в области 150-350 °С соответствует восстановлению смешанных сульфидных частиц активной фазы. По расположению максимума этого пика можно судить о энергии связи металл-сера активных центров, т.е. краевых атомов серы на частицах сульфидной активной фазы. Уменьшение температуры максимума восстановления смешанной сульфидной фазы при увеличении температуры прокали носителей может быть связана с ослаблением взаимодействия «активная фаза-носитель» из-за уменьшения числа кислотных центров и при повышении температуры.

Результаты статистической обработки в виде характеристик морфологии активной фазы представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Характеристики морфологии активной фазы приготовленных катализаторов

Образец	L, нм	N	D	MoS ₂	CoMoS
KCoMo // Al ₂ O ₃	4.1	1.3	0.29	65	48
KCoMo // ZrO ₂	4.8	2.2	0.25	72	52
KCoMo // TiO ₂	5.2	3.0	0.23	80	55
KCoMo // Al ₂ O ₃ +цеолит	4.4	1.6	0.27	64	46

Дисперсность активной фазы (D) определяли, как отношение суммы атомов Mo на ребрах (Mo_e) и углах (Mo_c), к общему количеству атомов Mo (Mo_T) в среднем кристаллите активной фазы:

$$D = \frac{Mo_e + Mo_c}{Mo_T} = \frac{\sum 6a - 6}{\sum 3a^2 - 3a + 1} \quad \text{и} \quad a_i = \frac{10 \times \bar{L} / 3.2 + 1}{2}, \quad (1)$$

где a – число атомов молибдена на ребре среднего кристаллита активной фазы гексагональной формы.

Образец KCoMo // Al₂O₃ °C характеризуется наименьшим средним числом слоев (1,3), что указывает на сильное взаимодействие «активная фаза-носитель», при этом средний размер частиц 4,1 нм соответствует типичным значениям для рассматриваемой выборки. Увеличение числа слоёв и размера частиц при увеличении температуры прокали носителя связано с ослаблением взаимодействия активной фазы-носитель, что приводит к уменьшению дисперсности частиц активной фазы. Носитель на основе оксида циркония характеризуется большим размером частиц и числом слоёв по сравнению с оксидом алюминия.

Каталитические характеристики исследованных образцов представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Каталитические характеристики исследованных образцов

Образец	Конверсия CO, %	Выход жидких продуктов, %	Выход спиртов, %	$S_{alc/liq}$
KCoMo// Al ₂ O ₃	36.7	15.7	4.2	0.27
KCoMo // ZrO ₂	30.2	17.8	0.1	0.01
KCoMo // TiO ₂	44.5	19.7	3.1	0.16

KCoMo// +цеолит	Al ₂ O ₃	38.2	10.5	0.5	0.05
--------------------	--------------------------------	------	------	-----	------

Катализаторы показывали близкую конверсию исходного СО, при этом образцы оксида циркония отличает рост данного параметра по мере увеличения температуры прокаливания и снижения кислотности. Выход жидких углеводородов, включающих целевые спирты также был в близком диапазоне. Состав полученных спиртовых смесей показан на рисунке 4.

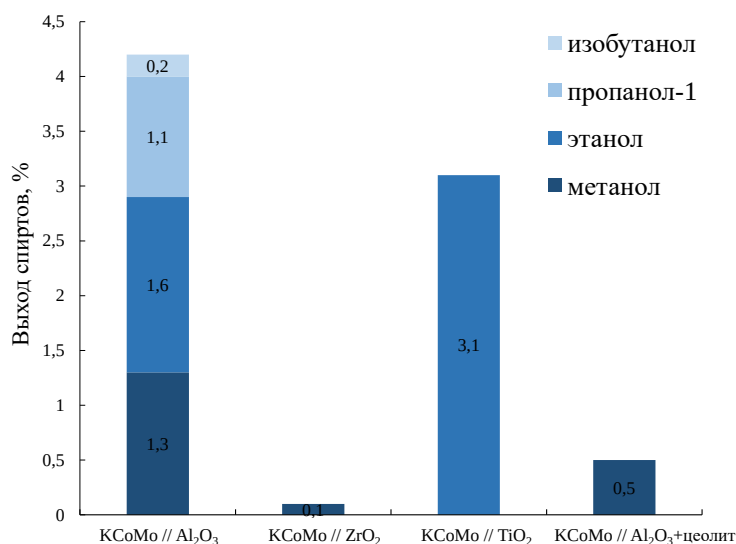


Рисунок 4 – Состав спиртовых смесей, полученных на исследованных образцах

Из рисунка 4 видно, что основными спиртами, полученными в результате процесса, являлись метанол, этанол, пропанол-1, *изобутанол* и *бутанол-1*. На катализаторе, приготовленном с использованием чистого оксида алюминия, продуктом с наибольшим выходом являлся пропанол-1. Добавление цеолита в состав носителя драматически сказывалось на выходе спиртов: из 10,5 процентов жидких углеводородов получено только 0,5% метанола. Интересным и требующим дополнительных исследований явлением было селективное образование этанола на катализаторе, нанесенным на оксид титана. Данный катализатор также демонстрировал наибольший выход жидких углеводородов, а значит в случае его модифицирования с целью повышения выхода спиртов позволит получить интересный для промышленности катализатор.

Оценку эффективности катализаторов вели при помощи селективности $S_{alc/liq}$, рассчитанной как отношение выхода спиртов к общему выходу жидких углеводородов по формуле:

$$S_{alc/liq} = \frac{\sum alc}{\sum liq}, \quad (2)$$

где $\sum al_{си}$ и $\sum liq$ – выход спиртов и общий выход жидких продуктов, соответственно (%).

Наибольшее значение селективности наблюдалось на катализаторе, нанесенном на Al_2O_3 , наименьшее – на образце, нанесенном на ZrO_2 , в жидких продуктах которых не было обнаружено спиртов (для расчета селективности использовано значение 0,1 для образцов на оксиде циркония. При этом для нанесенного на TiO_2 образца была также характерна высокая конверсия исходного СО, что может быть связано с эпитаксиальным взаимодействием частиц активной фазы с носителем. Данное взаимодействие может приводить к образованию более производительных каталитических центров, что приводит к ускорению реакций обрыва цепи, не позволяющим образовываться более жирным спиртам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтез оптимального катализатора получения спиртов из синтез-газа возможен при глубоком понимании зависимостей каталитических свойств от физико-химических характеристик носителя и активной фазы.
2. Показано, что увеличение кислотности носителя приводит к снижению средней длины частиц активной $KCoMoS$ фазы, вследствие чего снижается выход жидких продуктов синтеза.
3. Катализатор, полученный на основе TiO_2 , после модификации, может быть предложен промышленности для получения синтетического этанола из синтез-газа
4. Относительное содержание кобальта в активной $KCoMoS$ фазе является важной характеристикой катализатора.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSE-2025-0006) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hansen A.C., Zhang Q., Lyne P.W.L. Ethanol–Diesel Fuel Blends—A Review // Bioresource Technology. 2005. V. 96. No. 3.P. 277-285. <https://doi:10.1016/j.biortech.2004.04.007>
2. Atsonios K., Kougioumtzis M.-A., D. Panopoulos, K., Kakaras E. Alternative thermochemical routes for aviation biofuels via alcohols synthesis: Process modeling, techno-economic assessment and comparison. // Applied Energy. 2015. V.138, P. 346–366. <https://doi:10.1016/j.apenergy.2014.10.056>

3. Surisetty V.R., Kozinski J. Dalai A. K. Biomass, Availability in Canada, and Gasification: An Overview// Biomass Conversion and Biorefinery.2012. V.2. No. 1.P.73-85. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-011-0024-0>
4. Morrill M. R. Origins of unusual alcohol selectivities over mixed MgAl oxide-supported K/MoS₂ catalysts for higher alcohol synthesis from syngas. // ACS Catal. 2013. V.3.P. 1665–1675. <https://doi.org/10.1021/cs400147d>
5. Permyakov E.A., Dorokhov V.S., Maximov V. V., Nikulshin P.A., Pimerzin A.A., Kogan V.M. Computational and experimental study of the second metal effect on the structure and properties of bi-metallic MeMoS-sites in transition metal sulfide catalysts // Catal. Today. Elsevier. 2017. V. 305. № November 2017. P. 19– 27.; <https://doi:10.1016/j.cattod.2017.10.041>
6. Maximov V. V., Permyakov E.A., Dorokhov V.S., Wang A., Kooyman P.J., Kogan V.M. Effect of Promoter Nature on Synthesis Gas Conversion to Alcohols over (K)MeMoS₂/Al₂O₃Catalysts // ChemCatChem. 2020. V. 12. № 5. P.1443–1452.<https://doi:10.1002/cctc.201901698>



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

WAYS TO REDUCE THE TOXICITY OF MATERIALS: STUDYING THE PROSPECTS OF USING ALUMINIUM NITRIDE-BASED CERAMICS AS A CASE MATERIAL IN THE ELECTRONIC INDUSTRY

V.A. Perov, S.V. Dolzhenkov, A.V. Zvyagintseva
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

ABSTRACT

This study focuses on the possibility of using AlN ceramics as a component that provides fixation and heat dissipation for the crystal in high-power microwave transistors. This development aims to optimize the manufacturing process of high-power microwave silicon transistors as an electrically insulating and heat-dissipating base in the radio-electronic industry and minimize the risks of technological incidents. An approach is considered to increase the reliability of the materials used for encapsulation, which will lead to a significant decrease in the most important energy characteristics of high-power microwave transistors, such as thermal resistance, RTP-K junction-to-package, which directly determine their consumer properties and improve the environmental safety of technosphere objects.

Key words: toxicity of materials, reduction, environmental safety, ceramics, radio electronic industry

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ: ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОРПУСИРОВАНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.А. Перов, С.В. Долженков, А.В. Звягинцева
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

АННОТАЦИЯ

Данное исследование посвящено анализу возможности применения керамики AlN в качестве компонента, обеспечивающего фиксацию и теплоотвод кристалла в мощных СВЧ-транзисторах. Разработка позволяет оптимизировать технологию изготовления мощных СВЧ кремниевых

транзисторов в качестве электроизолирующего и теплоотводящего основания в радиоэлектронной промышленности и минимизировать риски техногенных инцидентов. Рассматривается подход к повышению надежности применяемых материалов для корпусирования, что приведет к значительному снижению важнейших энергетических характеристик мощных СВЧ транзисторов, таких как теплового сопротивления, переход-корпус $RT_{п-к}$, напрямую определяющих их потребительские свойства и улучшению экологической безопасности объектов техносферы.

Ключевые слова: токсичность материалов, снижение, экологическая безопасность, керамика, радиоэлектронная промышленность

1. ВВЕДЕНИЕ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Проведено исследование большинства мощных СВЧ кремниевых транзисторов в качестве электроизолирующего и теплоотводящего основания, располагающегося между полупроводниковым кристаллом и металлическим фланцем корпуса, используется металлизированные пластины из оксида бериллия ВеО.

Существенные недостатки этого материала, такие, как значительное снижение коэффициента теплопроводности, с ростом температуры [1-3], токсичность, недостаточная изученность влияния на здоровье человека при длительном контакте, а также высокая стоимость не позволяет считать этот материал универсальным.

В качестве альтернативного материала лишенного перечисленных недостатков, может служить керамика на основе нитрида алюминия AlN [4-6].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Таблица 1

Характеристики подложки AlN

Параметр	В единицах измерения AlN
Теплопроводность, Вт/(см•К)	3,0 – 3,4
Величина напряжения пробоя, МВ/см	1,2 – 1,8
Диэлектрическая постоянная	8,5
Несоогласованность кристаллической решетки с GaN, %	2,4
Доступные размеры подложек, дюйм	4
Цена (относительно Si)	Средняя
Сопротивление, Ом/см	10^7
Тангенс диэлектрических потерь	$1 \cdot 10^{-3}$

В таблице 1 представлены характеристики подложки AlN.

В данной работе были исследованы результаты измерения теплового сопротивления переход-корпус $R_{T \text{ п-к}}$ мощных СВЧ транзисторов, изготовленных с применением керамики на основе BeO и AlN.

Проведенные расчеты теплового сопротивления корпусов показали, что AlN-керамика способна обеспечить энергетические параметры мощных транзисторов. Следует также иметь в виду, что при нагреве транзистора в процессе работы тепловое сопротивление корпуса с BeO-керамикой значительно увеличивается, а корпуса с AlN-керамикой практически не изменяется.

Испытания на стойкость к механическим, тепловым и технологическим воздействиям подтвердили эксплуатационную надежность экспериментальных образцов корпусов с теплоотводами из AlN-керамики [4-6].

Выбор подходящей подложки важно для эффективного использования всех возможностей широкозонных полупроводников.

Таблица 2

Предполагаемые значения теплового сопротивления корпусов

В единицах измерения

Материал теплоотвода	λ , Вт/м.К	R_t , °C/Вт
BeO-керамика	220	1,067
AlN-керамика	170	1,262

Расчет тепловых параметров модели планарных транзисторов осуществляется по методу эквивалентов.

Метод распространяется на расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов, у которых, тепловой поток отводимый через нижнее основание, значительно превышает тепловой поток, отводимый через боковые поверхности.

Метод устанавливает алгоритм расчета тепловых сопротивлений в стационарном тепловом режиме и позволяет определить максимально допустимое значение рассеиваемой мощности и температуры на нижнем основании корпуса.

Метод эквивалентов ограничивает задачу определения температурного поля в структуре только определением температуры в области р-п перехода по упрощенному одномерному эквиваленту, так как значение температурного поля по всем слоям структуры не несет дополнительной информации при расчете теплового сопротивления.

Испытания проводят в соответствии с РД 11 0929-94 (метод 18) и ОСТ 11 0944-96 с дополнениями и уточнениями, приведенными в данной методике [1,2].

Испытания проводят в нормальных климатических условиях.

Испытания проводят на транзисторах без керамической крышки корпуса.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- измерение теплового сопротивления переход-корпус $R_{T \text{ П-К}}$ и теплового сопротивления корпус-теплоотвод $R_{T \text{ К-Т}}$ мощных СВЧ транзисторов;

- определение и построение области безопасной работы (ОБР).

Для измерения температуры перехода используется программно-аппаратный комплекс, состоящий из ИК-камеры ThermoCAMSC 3000 и программного обеспечения ThermoCAMResearcherPro, установленного на ЭВМ типа IBMPC.

Для задания режима собирается стенд на основе стандартных приборов. Для измерения температуры корпуса используется термопара DP-27 тип K (NiCr-NiAl) в составе цифрового двухканального термометра АТТ-2001.

Изображение распределения температуры по кристаллам транзисторов, полученное при помощи тепловизора ThermoCAMSC3000 представлены на рисунках 1 – 4.

Измерение транзисторов 2П9189В-2 (в полиимидном микрокорпусе), кристаллы которых напаяны на AlN-керамику показаны на рисунках 1 – 2.

Измерение транзисторов 2П9189В-2 (в полиимидном микрокорпусе), кристаллы которых напаяны на BeO-керамику показаны на рисунках 3 – 4.

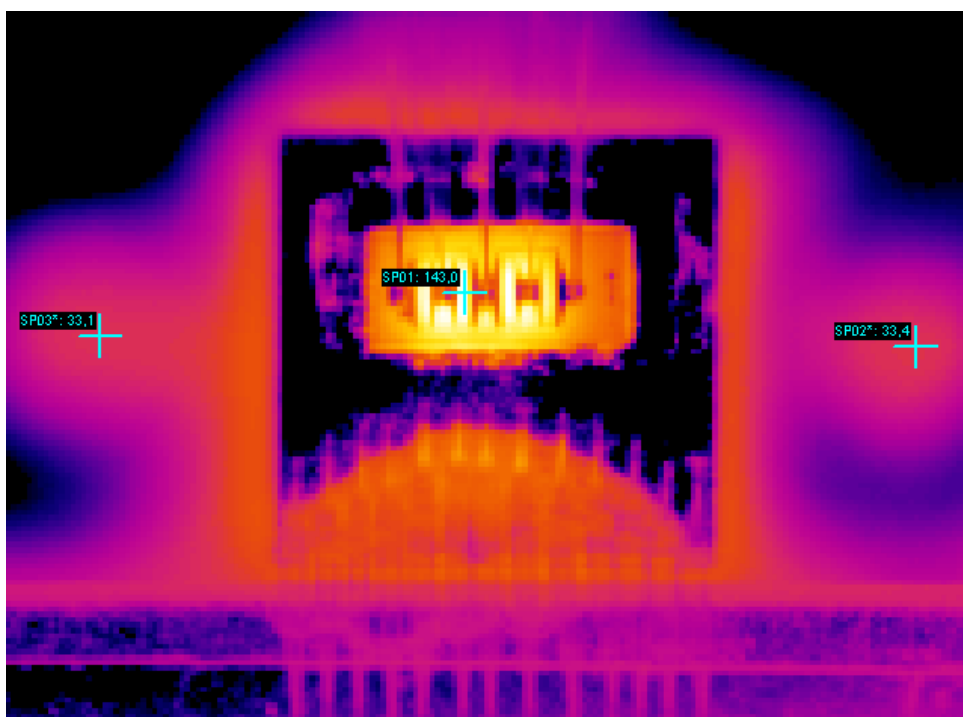


Рисунок 1 – Транзистор 2П9189В-2 (AlN-керамика), №1 образец, $I_{\text{П}} = 10\text{В}$, $U_{\text{П}} = 1,23\text{А}$, $t_{\text{П}} = 143^{\circ}\text{С}$, $t_{\text{ПК}} = 33^{\circ}\text{С}$, ($R_t = 8,94^{\circ}\text{С/Вт}$)

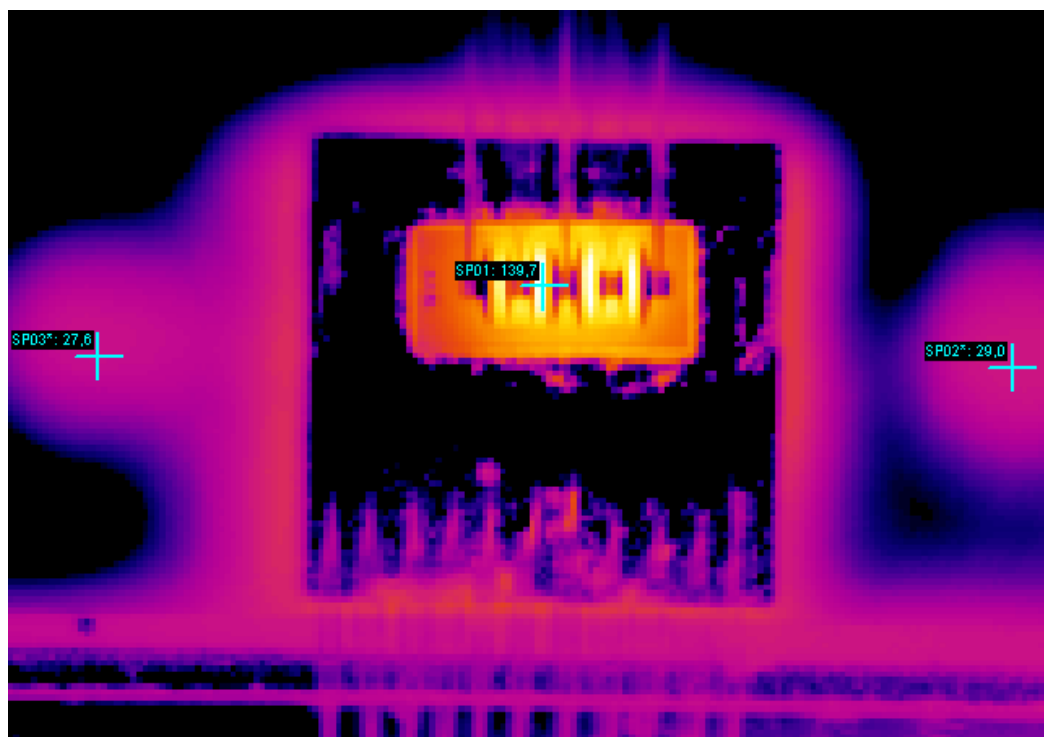


Рисунок 2 –Транзистор 2П9189В-2 (AlN-керамика), №2 образец, $I_{\Pi} = 10\text{В}$, $U_{\Pi} = 1,23\text{А}$, $t_{\Pi} = 140^{\circ}\text{С}$, $t_{\Pi\text{К}} = 29^{\circ}\text{С}$, $R_t = 9,02^{\circ}\text{С/Вт}$

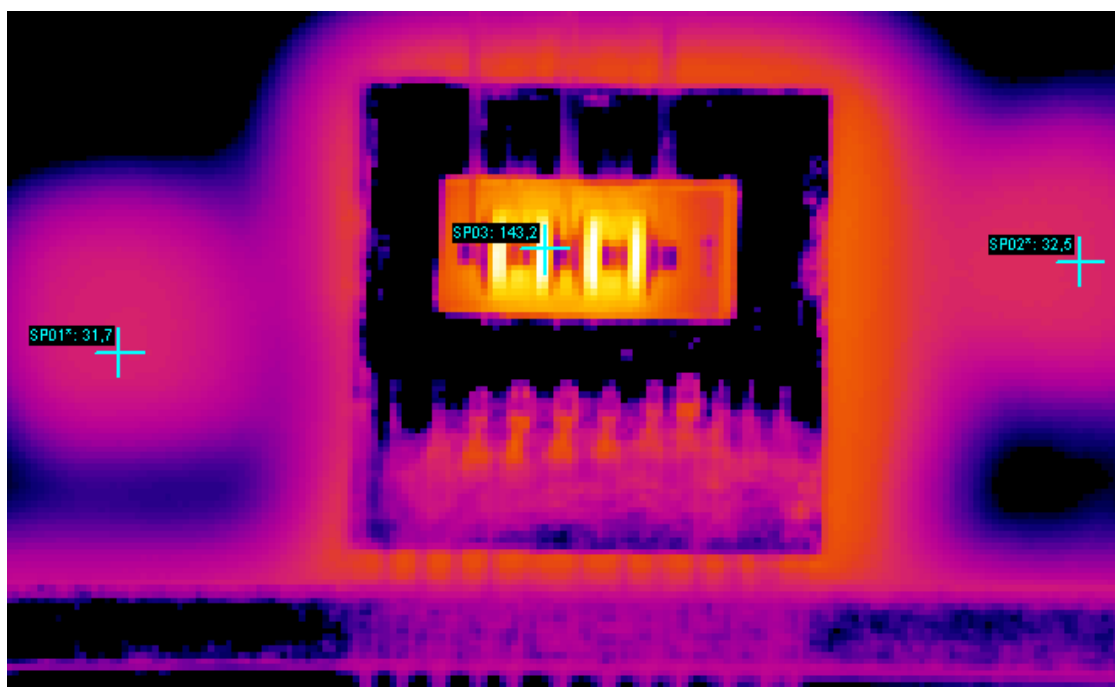


Рисунок 3 – Транзистор 2П9189В-2 (BeO-керамика), №1 образец, $I_{\Pi} = 10\text{В}$, $U_{\Pi} = 1,44\text{А}$, $t_{\Pi} = 143^{\circ}\text{С}$, $t_{\Pi\text{К}} = 32^{\circ}\text{С}$, $R_t = 7,70^{\circ}\text{С/Вт}$

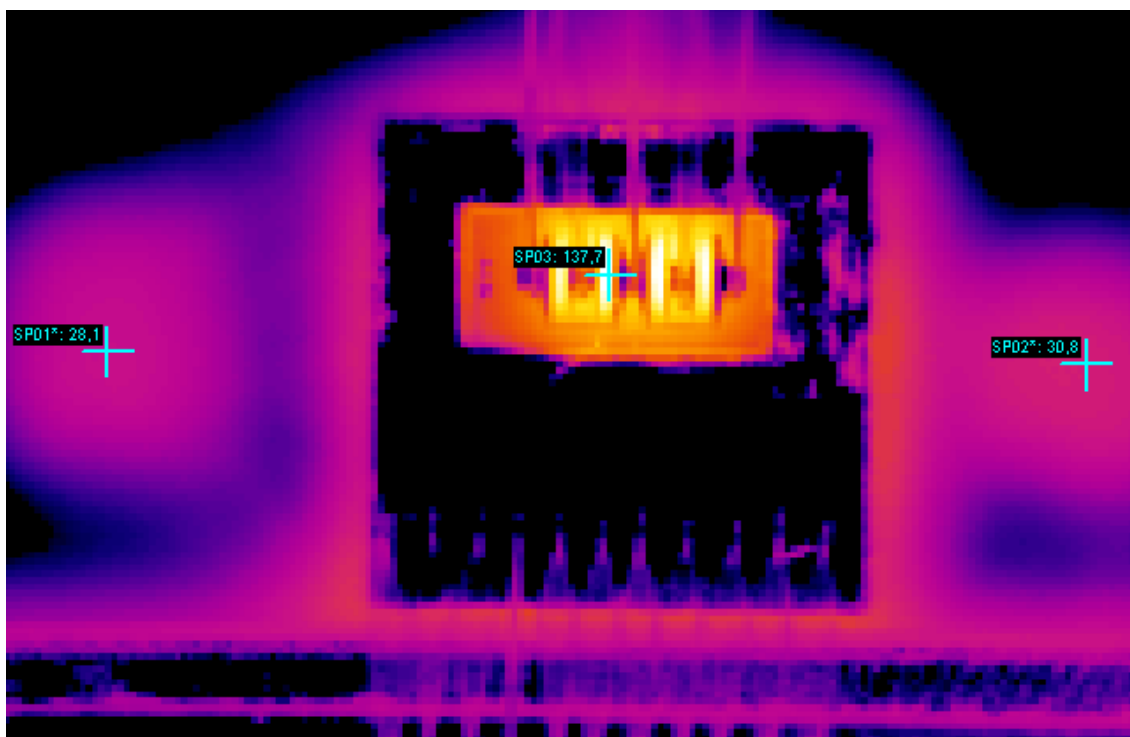


Рисунок 4 – Транзистор 2П9189В-2 (ВеО-керамика), №2 образец, $I_{\Pi} = 10\text{В}$, $U_{\Pi} = 1,44\text{А}$, $t_{\Pi} = 138^{\circ}\text{С}$, $t_{\Pi\text{К}} = 30^{\circ}\text{С}$, $R_t = 7,50^{\circ}\text{С/Вт}$

Анализ полученных результатов показал, что расчётная и экспериментальная часть совпала.

3. ВЫВОДЫ

Проведенные расчеты теплового сопротивления корпусов показали, что AlN-керамика способна обеспечить энергетические параметры для относительно маломощных транзисторов, с рассеиваемой мощностью до 10 Вт. При этом тепловое сопротивление корпуса с теплоотводом из AlN-керамика больше, чем у корпуса с теплоотводом на основе ВеО-керамики.

Следует также иметь в виду, что испытания на стойкость к тепловым и технологическим воздействиям подтвердили эксплуатационную надежность экспериментальных образцов корпусов с теплоотводами из AlN-керамики для относительно маломощных транзисторов, с рассеиваемой мощностью до 10 Вт.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что применение AlN керамики вместо керамики на основе ВеО приведет к значительному снижению важнейших энергетических характеристик мощных СВЧ транзисторов, таких как $R_{\text{T П-К}}$, напрямую определяющих их потребительские свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малахов Р. Ю. Мощные транзисторы для передатчиков бортовых радиолокационных систем / Р. Ю. Малахов, Е. М. Добычина // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. № 186.
2. Белянин А.Ф. Ударостойкие защитные пленочные покрытия на основе AlN в электронной технике / А.Ф. Белянин, М.И. Самойлович, В.Д. Житковский, А.Л. Каменева // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2005. № 5.
3. Белянин А.Ф. Пленки нитрида алюминия: получение, строение и применение в устройствах электронной техники/ А.Ф. Белянин, В.Д. Житковский, П.В. Пащенко // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 1998. Вып. 1. С. 29-37.
4. Долженков С.В. Совершенствование системы разварки контактов в случае изготовления интегральных микросхем / С.В. Долженков, А.В. Звягинцева, Т.Г. Меншикова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - Т. 20. - № 4. 2024. - С. 155-165.
5. Звягинцева А.В. Исследование оптических свойств тонких пленок оксида олова / А.В. Звягинцева А.В., И.Н. Пантелеев, С.В. Долженков // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. - 2024. - № 10 (427). - С. 213-225.
6. Шалимов Ю.Н. Повышение техногенной безопасности функционирования систем на основе иодидов, преобразующих солнечную энергию / Ю.Н. Шалимов, А.В. Звягинцева // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2024. № 12 (429). С. 12-22.

**2. Научный симпозиум
«Проблемы и инновационные
решения в области
инженерного обеспечения
экологической и
промышленной безопасности
урбанизированных
территорий»**

**2. Scientific symposium
«Problems and Innovative
Decisions in the Field of
Engineering Provision of
Ecological and Industrial Safety
of Urban Territories»**



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL PROTECTION MEANS OF LOWER EXTREMITIES IN CONDITION OF WORKING AT LOW TEMPERATURES

D.E. Blinova, A.S. Blinov, M.V. Shuvarin, E.E. Borisova
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino,
Russian Federation

ABSTRACT

This paper is devoted to research and development of individual protection means of lower extremities for the working in conditions of reduced temperatures. Modern materials and technologies used in production of winter safety shoes have been considered. Decision of the problem of long heat preservation by the integration of autonomous heat generation system had been suggested. Calculation of the necessary parameters (current strength, voltage, resistance) for efficient heating of a nichrome thread built into shoes has been carried out. Optimal battery specifications for supporting of operation of heating system have been determined.

Key words: individual protection means, lower extremities, working, low temperatures, research, development

АНАЛИЗ И РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д.Е. Блинова, А.С. Блинов, М.В. Шуварин, Е.Е. Борисова
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г.
Княгинино, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию и развитию средств индивидуальной защиты (СИЗ) нижних конечностей для работы в условиях пониженных температур. Рассматриваются современные материалы и технологии, используемые в производстве зимней спецобуви, а также предлагается решение проблемы длительного сохранения тепла путем интеграции

автономной системы генерации тепла. Проведен расчет необходимых параметров (сила тока, напряжение, сопротивление) для эффективного обогрева нихромовой нити, встроенной в обувь. Определены оптимальные характеристики аккумулятора для поддержания работы системы отопления в течение трех часов.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, нижние конечности, работа, пониженные температуры, исследование, разработка

Профессиональную деятельность зимой порой можно сравнить с восхождением альпиниста на ледяной пик - вокруг царит пронизывающий мороз, ветер словно режет лицо острыми ножами, а организм медленно сдаётся под воздействием беспощадного холода. Работа вне тёплых стен офиса превращается в испытание на прочность, где малейшая оплошность способна привести к печальным последствиям.

Для тех, кто трудится на холодной земле под покровом зимы, спасение приходит в виде инновационных решений - автономных обогревающих элементов, встраиваемых в специальную обувь. Эти устройства становятся настоящими хранителями здоровья, верными спутниками, оберегающими людей от коварства низких температур.

Защитить стопы на работе от холода и сырости зимой - важная задача для любого человека. Переохлаждение нижних конечностей приводит к общему понижению температуры тела, замедлению кровотока и повышению риска инфекционных заболеваний. Согласно исследованиям, низкая температура вызывает сужение сосудов, снижая приток крови к конечностям и повышая риск обморожения и болезней дыхательных путей. Важно понимать, что профилактика переохлаждения нижних конечностей включает целый ряд мер, начиная от подбора подходящей обуви и заканчивая выбором качественных носков и дополнительных защитных приспособлений [1].

Чаще всего работникам выдается какой-либо из ниже перечисленных вариантов средств индивидуальной защиты (далее - СИЗ) нижних конечностей:

- а) зимняя обувь с противоскользящей подошвой;
- б) водоотталкивающая и термоизолирующая обувь;
- в) резиновая или полимерная обувь с теплоизоляционными свойствами.

Данные виды обуви способны дольше сохранять тепло человеческого тела за счет изоляционных свойств материалов, но при работах в полевых условиях часто возникают ситуации, когда выполнение работ занимает больше времени, чем возможности сохранять тепло у СИЗ. Исходя из этого, авторы предлагают изучить данную проблему и проработать один из возможных вариантов её решения.

В данной работе были поставлены следующие задачи:

1. Изучение возможности создания условий как для сохранения тепла, так и для его генерации СИЗ нижних конечностей;

2. Интеграция данной системы в СИЗ нижних конечностей;
3. Расчет необходимых условий для функционирования системы автономной генерации тепла.

Объектами исследования являются СИЗ нижних конечностей, такие как сапоги и валенки. Целью исследования - интеграция в них системы автономной генерации тепла.

В данном исследовании мы будем полагаться на методы анализа данных и на проведении теоретического исследования.

Современная история СИЗ нижних конечностей началась в XX веке с появлением специализированных материалов и технологий. Важным этапом стало внедрение искусственных волокон и мембран, таких как Gore-Tex, которые значительно повысили эффективность защиты от влаги и холода. На сегодняшний день на рынке представлен широкий ассортимент зимней спецобуви, включающий сапоги, ботинки и полуботинки с различными уровнями защиты и удобства.

СИЗ нижних конечностей, как и любой другой СИЗ, должен быть выполнен из качественных материалов по нормам и стандартам. Наиболее распространёнными материалами для верхней части зимней спецобуви являются натуральные и искусственные кожи, а также текстиль.

Также одним из важных элементов зимней спецобуви считается утеплитель. Он отвечает за сохранение тепла и предотвращает переохлаждение. Популярные варианты включают искусственный мех, флис и тинсулейт. Подошва зимней спецобуви должна быть устойчивой к скольжению и механическим повреждениям. Обычно она изготавливается из морозостойких резиновых смесей с глубокими протекторами. Некоторые производители предлагают дополнительные системы антискольжения, такие как металлические шипы или вставки из карбида кремния. Они повышают безопасность передвижения по льду и снегу, но увеличивают вес обуви и снижают комфорт при длительном ношении [2].

На сегодняшний день быстрыми темпами осваивается такое направление, как создание «умной» обуви, которая оснащена датчиками и системами мониторинга. Такая обувь способна отслеживать состояние пользователя, предупреждать о возможных проблемах и давать рекомендации по уходу. Хотя подобные продукты пока редки, они представляют собой перспективное направление развития индустрии СИЗ нижних конечностей [3].

Современные тенденции в разработке специальной обуви включают не только внедрение интеллектуальных технологий, но и активное исследование возможностей создания условий как для сохранения тепла, так и для его генерации. Это требует детального изучения характеристик используемых материалов, включая электрические свойства проводников, таких как нихромовые нити. Первым действием определим сопротивления нихромовой нити.

Нихромовая нить обладает удельным сопротивлением $\rho = 1,1 \times 10^{-6}$ Ом/м. Чтобы рассчитать сопротивление провода, используем формулу:

$$R = \rho * L/A, \quad (1)$$

где L - длина проводника (1м),
A - площадь поперечного сечения,
 ρ - удельное сопротивление материала.

Площадь поперечного сечения вычисляется по формуле круга:

$$A = \pi * r^2, \quad (2)$$

Радиус равен половине диаметра ($D = 0,3$ мм., следовательно, радиус $r = 0,15$ мм. = 0.00015 м.).

Получаем значение:

$$A = \pi * (0,00015)^2 = 7,07 * 10^{-8} \text{ м}^2, \quad (3)$$

Подставляем значения в формулу сопротивления:

$$R = (1,1 \times 10^{-6}) * 1/(7,07 \times 10^{-8}) \times 1 \approx 15,56 \Omega, \quad (4)$$

Вторым действием произведем расчет силы тока для нагрева. Для определения необходимой силы тока воспользуемся законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (5)$$

где Q - количество теплоты (энергия), необходимая для нагревания нити,

I - сила тока,

R - сопротивление нити,

t - время прохождения тока.

Однако нам неизвестно точное значение энергии Q. Обычно используют упрощенный подход исходя из предположений относительно мощности, выделяемой на единицу длины нити. Для нитей малого диаметра мощность примерно составляет около 1-2Вт/см.

Предположим, что средняя мощность порядка 1,5 Вт/см, тогда получим следующее значение:

$$P_{\text{общ}} = 1,5 \text{ Вт/см} \times 100 \text{ см} = 150 \text{ Вт}, \quad (6)$$

Теперь можем выразить силу тока через мощность и сопротивление:

$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{P / R}, \quad (7)$$

Подставляем известные нам величины:

$$I = \sqrt{150 / 15,56} \approx 3,03 \text{ А}, \quad (8)$$

Таким образом, приблизительная сила тока, необходимая для нагрева нихромовой нити до температуры около 40 С°, составит примерно 3 Ампера.

Третьим шагом необходимо понять и рассчитать, какое будет напряжение при этих параметрах. Ранее мы рассчитали сопротивление нити $R=15,56 \text{ }\Omega$ и нашли необходимую силу тока $I = 3,03 \text{ А}$. Теперь мы можем определить напряжение U , используя закон Ома:

$$U = I * R, \quad (9)$$

где I - сила тока;

R - сопротивление нити.

Подставим наши значения:

$$U = 3,03 \text{ А} \times 15,56 \Omega \approx 47,15 \text{ В}, \quad (10)$$

Итак, мы выяснили, что необходимое напряжение для нагрева нихромовой нити до заданной температуры при указанных условиях составит приблизительно 47 Вольт.

Четвертым пунктом определим, какой ток следует использовать при 20 Вольтах. Рассчитаем требуемый ток при напряжении $U = 20 \text{ В}$ и известном сопротивлении $R = 15,56 \text{ }\Omega$, используя закон Ома:

$$I = U / R = 20 \text{ В} / 15,56 \Omega \approx 1,285 \text{ А}, \quad (11)$$

Таким образом, при напряжении 20 В потребуется сила тока примерно равная 1,3 А. Важно отметить, что такое снижение напряжения приведет к уменьшению мощности и соответственно меньшей температуре нагрева нити. Если нужен нагрев до прежней температуры, придется либо увеличить длину нити (увеличение сопротивления), либо изменить диаметр проволоки (уменьшение площади поперечного сечения).

На рисунке 1 изображена схема расположения источника питания и нагревательного элемента в СИЗ нижних конечностей. Нихромовая нить проходит в нижней части обуви, обеспечивая прогрев ступни, источник питания располагается выше - ближе к голенищу. Нить располагают в подкладке обуви или между слоями с использованием теплоизолирующих

материалов, для повышения КПД системы, с целью более долгого сохранения тепла.

Источник питания крепят в специальный карман, для надежности фиксируют его там язычком или клёпками.

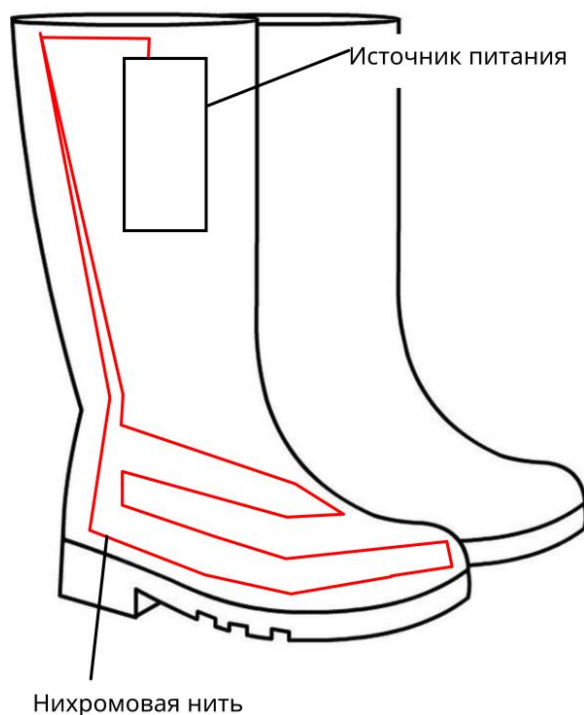


Рисунок 1 - Схема расположения источника питания и нагревательного элемента

Проведем расчет необходимых условий для функционирования системы автономной генерации тепла. Нам следует выяснить и рассчитать, аккумулятор какой емкости необходим для работы нихромовой нити в течении 3-х часов при силе тока 1,3 А и напряжении 20 В.

Чтобы подобрать аккумулятор подходящей ёмкости, необходимо учесть следующие параметры. Во-первых, напряжение аккумулятора должно соответствовать напряжению нагрузки (нити). Во-вторых, ёмкость аккумулятора должна обеспечивать непрерывную работу устройства на протяжении указанного времени (3 часа).

Первым шагом определим общую энергию, потребляемую нагрузкой. Энергию потребления найдем по формуле:

$$E = U \times I \times T, \quad (12)$$

где E — энергия, Дж;

U — напряжение питания, В;

I — ток, А;

T — время работы, сек.

Поскольку емкость аккумуляторов измеряется чаще всего в ампер-часах (Ah), удобнее сразу посчитать расход заряда:

$$\text{Ёмкость} = I \times T, \quad (13)$$

Переведём часы в секунды:

$$T = 3\text{ч} \times 3600 \text{ сек/ч} = 10800 \text{ сек}, \quad (14)$$

Тогда общий заряд в кулонах:

$$Q = I \times T = 1,3\text{А} \times 10800\text{с} = 14040\text{С}, \quad (15)$$

Преобразуем кулоны в ампер-часы:

$$\text{Ёмкость} = Q / 3600 = 14040 / 3600 \approx 3,9\text{Ah}, \quad (16)$$

Вторым шагом выберем типа аккумулятора. Так как температура эксплуатации невелика ($\sim 40^\circ\text{C}$), подойдет большинство типов аккумуляторов (литий-ионные, свинцово-кислотные, никель-кадмиевые). Однако наиболее удобны литий-ионные батареи благодаря высокому КПД и компактности.

Таким образом, необходим аккумулятор емкостью минимум 3,9 Ah, способный выдавать напряжение 20 В стабильно. Учитывая запас прочности и удобство эксплуатации, лучше выбрать батарею немного большей емкости, например, 4-5 Ah.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена изучению и развитию СИЗ нижних конечностей, особенно актуальным в условиях пониженных температур. Исследование было направлено на создание условий как для сохранения тепла, так и для его генерации в специальной обуви. Были проведены расчеты необходимой силы тока, напряжения и сопротивления для обогрева нихромовой нити, встроенной в обувь. Выяснено, что для эффективной работы системы необходима соответствующая мощность и правильное размещение нагревателя. Определены оптимальные параметры аккумулятора для непрерывной работы системы отопления в течение трех часов. Рекомендуются выбирать батареи с емкостью 4-5 Ah, способные выдавать стабильное напряжение 20 В.

Предложенная система автономного обогрева позволяет существенно повысить комфорт работников в зимних условиях, предотвращая

переохлаждение и снижая риски заболеваний. Такие инновационные подходы имеют потенциал широкого внедрения в промышленности и сфере обслуживания.

Таким образом, проведенное исследование показало необходимость интеграции современных технологий в разработку зимней спецобуви, обеспечивающей безопасность и здоровье сотрудников в суровых климатических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Койранский Б.Б. О защитительно-физиологических реакциях сосудистой системы при охлаждении организма. Гигиена и санитария. 2021. №7.
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.4.103-2020 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 октября 2020 г. N 934-ст)
3. Ларина Л.В. Вакуумно-капиллярная гигротермическая обработка кож / Л. В. Ларина; под ред. В. А. Першина. - Шахты: ИСОиП (фил.) ДГТУ, 2024. - 135 с.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SILENCER CONTAMINATION ON ITS THROUGHPUT

A.A. Gareev, A.A. Igolkin, A.O. Pantyushin
Samara University, Samara, Russia

ABSTRACT

The article discusses the problem of increased noise levels in pneumatic systems caused by compressed air emissions. To solve this problem, the characteristics of pneumatic noise mufflers are being investigated.

Their throughput is estimated using a method based on measuring the pressure drop time. A simulation model of an installation with a noise muffler has been developed and the pressure relief process has been simulated in the SimulationX software.

A silencer with varying degrees of contamination has been investigated. The results show that the model corresponds to real processes, which allows it to be used to diagnose the condition of silencers. A software diagnostic system in Python is proposed for timely replacement of spent elements.

The work is of practical importance for improving the efficiency and reliability of pneumatic systems through the introduction of a maintenance system.

Keywords: hazardous noise, noise silencer contamination, throughput, research

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЛУШИТЕЛЯ НА ЕГО ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

А.А. Гареев, А.А. Иголкин, А.О. Пантюшин
Самарский университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема повышенного уровня шума в пневматических системах, вызванного выбросом сжатого воздуха. Для решения этой проблемы исследуются характеристики пневматических глушителей шума.

Проводится оценка их пропускной способности с использованием метода, основанного на измерении времени падения давления. Разработана имитационная модель установки с глушителем шума и проведено моделирование процесса сброса давления в программном обеспечении SimulationX.

Исследован глушитель с различной степенью загрязнённости. Результаты показывают соответствие модели реальным процессам, что позволяет использовать её для диагностики состояния глушителей. Предложена система программной диагностики на языке Python для своевременной замены отработавших элементов.

Работа имеет практическое значение для повышения эффективности и надёжности пневматических систем за счёт внедрения системы обслуживания по техническому состоянию.

Ключевые слова: шум, глушитель шума, загрязнение, пропускная способность, исследование

Пневматические системы имеют недостаток, связанный с повышенным уровнем шума при выбросе сжатого воздуха в атмосферу. Это негативно влияет на окружающую среду и рабочих. Для решения этой проблемы используются пневматические глушители шума, которые снижают скорость и давление воздуха, уменьшая шум [1, 2].

При выборе глушителя учитываются его технические характеристики, такие как уровень шума, быстродействие пневмосистемы, зависящее от пропускной способности глушителя, противодействие и акустическая эффективность. Важно найти глушитель, обеспечивающий необходимое шумоподавление без ограничений для работы системы. Акустическая эффективность определяется как разница уровней шума до установки глушителя и после.

Для оценки пропускной способности пневматического глушителя можно использовать метод, описанный в ГОСТ 25144-82[3]. Он основан на измерении времени, необходимого для падения давления в пневмоёмкости при выхлопе воздуха. Сначала измеряется время (t_1) падения давления без глушителя. Затем, установив испытуемый глушитель, измеряется новое время (t). Если измеренное время (t) с глушителем не превышает 1.4-кратного значения времени (t_1), то есть $t \leq 1.4t_1$, глушитель исправен и обеспечивает приемлемое снижение шума. Если $t > 1.4t_1$, это может указывать на проблему: засорение, повреждение звукопоглощающего элемента или другие дефекты, снижающие эффективность глушителя.

Общий вид экспериментального стенда, а также ключевые элементы представлены на

Рисунок 1. На **Error! Reference source not found.** представлена пневматическая схема установки с указанием элементов и мест установки датчиков.

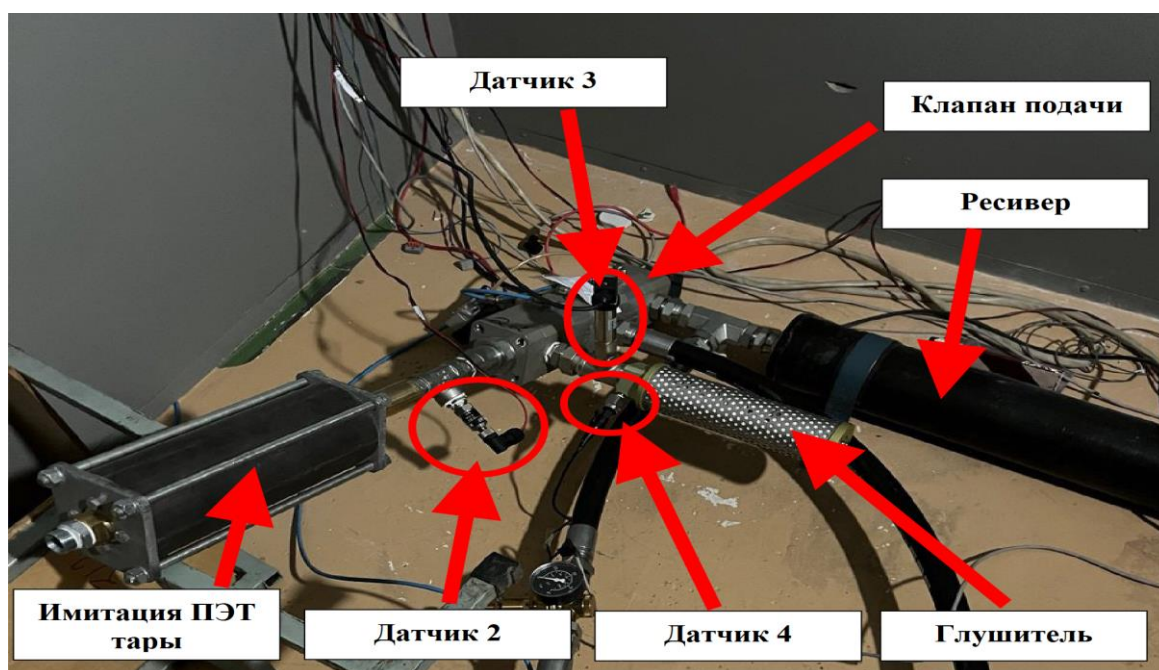


Рисунок 1 – Общий вид экспериментального стенда

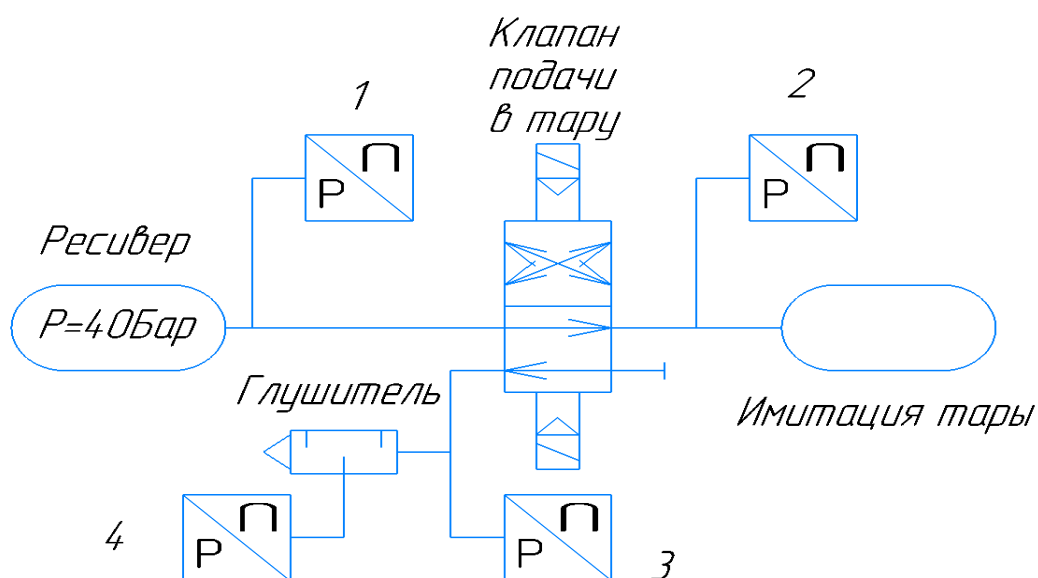


Рисунок 2 – Пневматическая схема экспериментального стенда

На представленной выше установке была проведена серия замеров глушителей с различной степенью загрязнения. На основе обработки полученных результатов была разработана имитационная модель установки с глушителем шума. В качестве источника данных об изменении давления при процессе демпфирования была составлена имитационная модель в программном обеспечении SimulationX, представленная на Рисунок 3.

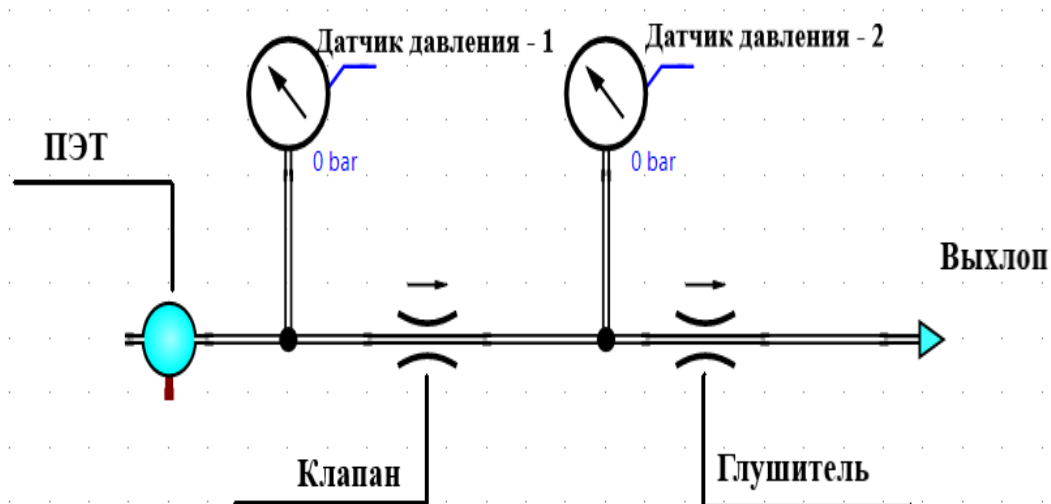


Рисунок 3 – Имитационная модель, симулирующая процесс сброса в ресивере с глушителем

Далее в данной модели была проведена серия симуляций. Так как ГОСТ рассчитан для пневмоприводов с максимальным избыточным давлением 6.3 Бар (0.63 МПа), время (t), согласно ГОСТ, измеряется при падении давления от $p_1 = 5 \text{ Бар}$ (0.5 МПа) до $p_2 = 2 \text{ Бар}$ (0.2 МПа). В имитационной модели избыточное давление составляет 41 Бар, следовательно, (t) будет являться временем падения давления от $\frac{41 \times 5}{6.3} \approx 32 \text{ Бар}$ до $\frac{41 \times 2}{6.3} \approx 13 \text{ Бар}$. На Рисунок изображены переходные процессы, протекающие в ресивере с глушителем, при разных значениях коэффициента расхода за исключением кривой с наибольшей пологостью, которая симулирует работу модели без глушителя и имеет время падения давления (t_i) от 32 до 13 Бар, равное 0.052 с.

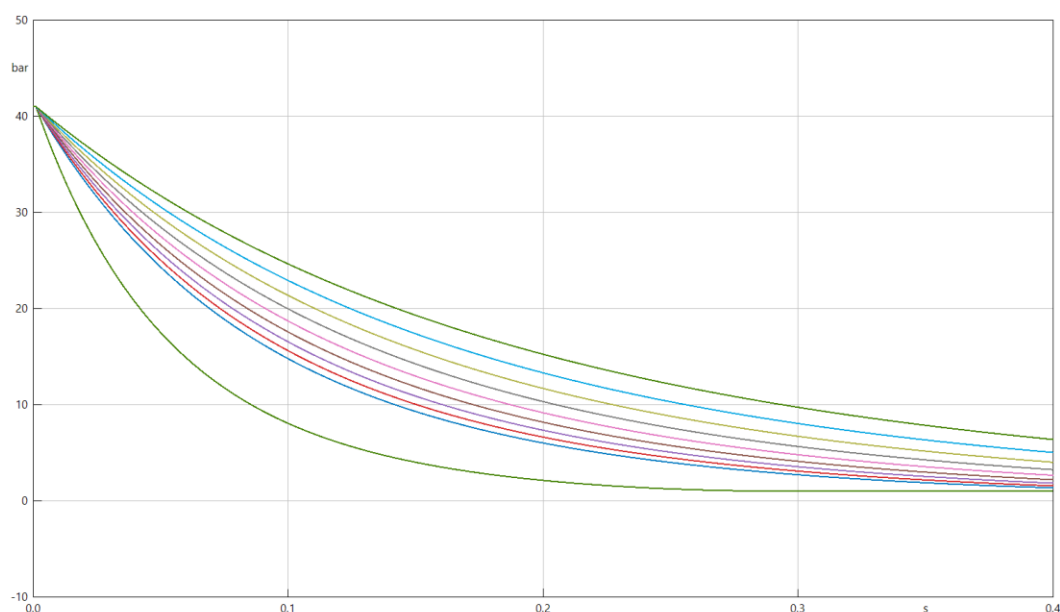


Рисунок 4 - Результаты симуляции имитационной модели

На Рисунок рис. 5 представлены результаты, снятые непосредственно при проведении замеров на экспериментальной установке с глушителем.

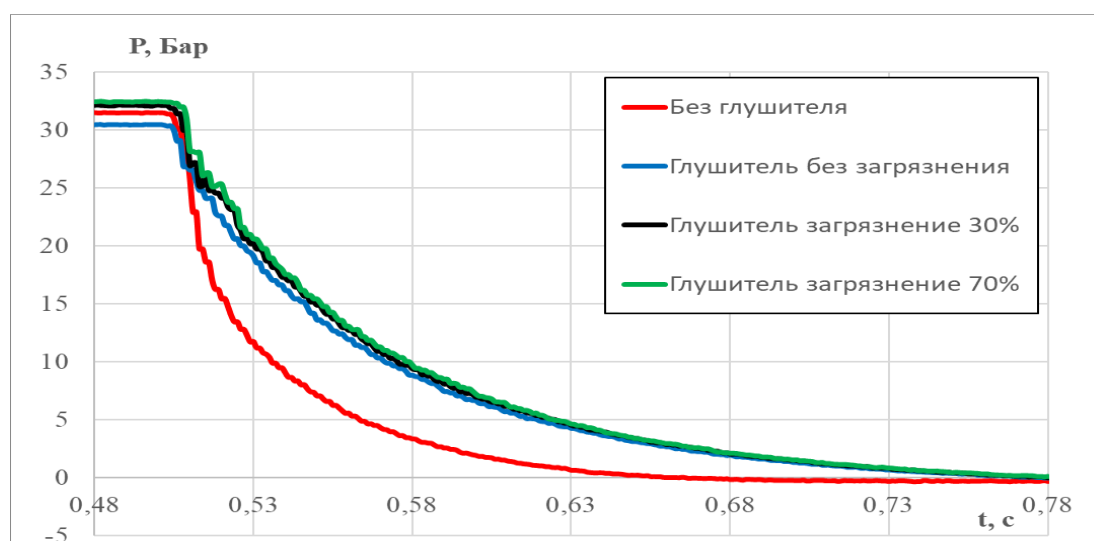


Рисунок 5 – Падение давления, полученное в ходе замеров

Анализируя графики с рис. 4 и Рисунок, можно сделать вывод, что переходные процессы качественно совпадают. Соответственно данные, получаемые с помощью имитационного моделирования возможно использовать при разработке системы диагностики и системной эксплуатации по состоянию. На рис. 6 представлена расчётная зависимость относительного времени падения давления от количества циклов работы пневматической системы с глушителем. С каждым последующим выхлопом через глушитель уменьшается коэффициент расхода, тем самым имитируется процесс загрязнения. При первом переходе за граничное значение 1.4 (красная линия на Рисунок) система диагностики оповестит оператора о необходимости замены пористого элемента. Система диагностики основана на программе, написанной на языке Python.

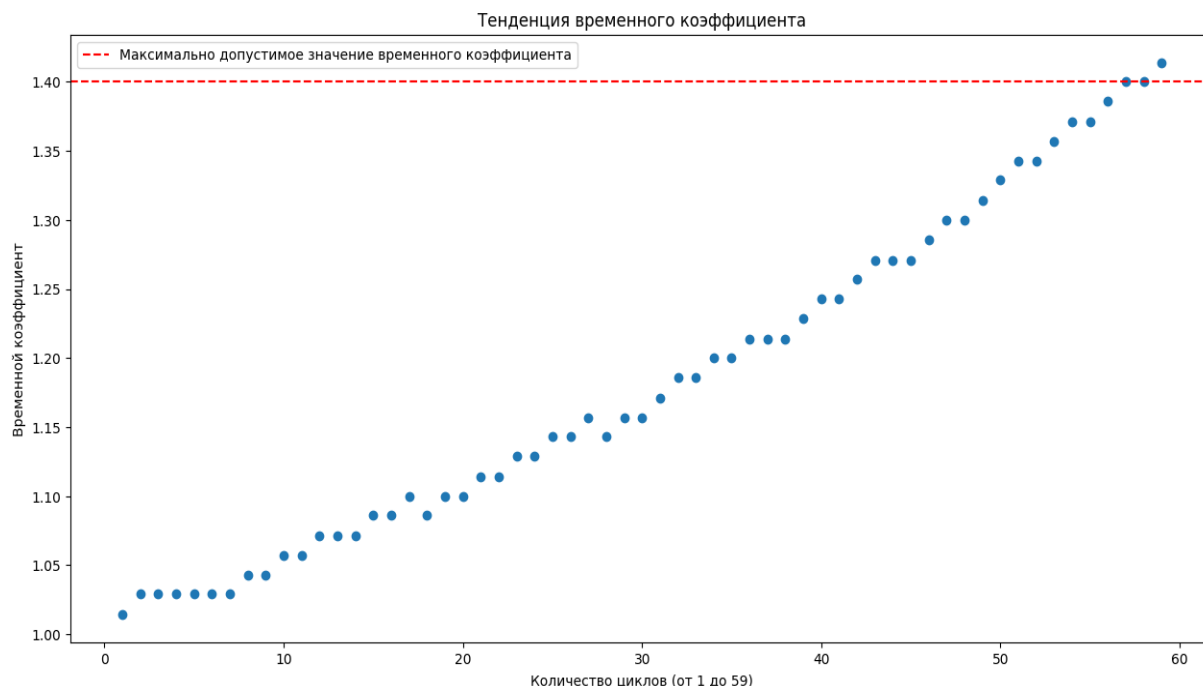


Рисунок 6 – Результаты реализации программной диагностики пневматического глушителя на основе метода из ГОСТа

В рамках работы разработана система диагностики предельной степени загрязнённости глушителя, реализованная на языке Python и способствующая повышению эффективности эксплуатации пневматических систем с глушителем. В дальнейшем планируется повышение точности имитационной модели и возможности прогнозирования степени загрязнения глушителя с целью его своевременной замены и недопущения работы системы на загрязнённом глушителе.

Результаты исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России в области научной деятельности (Проект № FSSS-2023-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Иголкин, А.Н. Крючков, Г.М. Макарьянц и др. Снижение колебаний и шума в пневмогидромеханических системах. Под ред. Е.В. Шахматова, В.П. Шорина. – Самара: СГАУ, 2005. – 314 с.
2. Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др. Борьба с шумом на производстве: справочник. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 160 с.
3. ГОСТ 25144 – 82. Пневмоглушители. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 22 с.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

STUDY OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF AEROGEL IN AN IMPEDANCE TUBE

A.F. Danilyuk¹, P.A. Moshkov², M.N. Ostroumov², V.V. Rubanovsky³

¹Boreskov Institute of Catalysis, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

²Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Russian Federation

³Yakovlev PJSC Branch Regional Aircraft, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

New lightweight and efficient acoustic materials are needed to solve the problem of reducing noise levels in aircraft cabins. Aerogel can be considered among such promising materials. This paper presents preliminary results of determining the acoustic characteristics (sound absorption coefficient, transmission loss) of aerogel in an impedance tube.

Keywords: noise, reduction, acoustic materials, aerogel, characteristics, sound absorption, impedance tube

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОГЕЛЯ В ИМПЕДАНСНОЙ ТРУБЕ

А.Ф. Данилюк¹, П.А. Мошков², М.Н. Остроумов², В.В. Рубановский³

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

³Филиал «Региональные самолеты» ПАО «Яковлев», г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Для решения проблемы снижения уровней шума в салонах летательных аппаратов необходимы новые легкие и эффективные акустические материалы. Среди таких перспективных материалов может рассматриваться аэрогель. В настоящей работе представлены предварительные результаты определения акустических характеристик (коэффициент звукопоглощения, потери при передаче) аэрогеля в импедансной трубе.

Ключевые слова: шум, снижение, акустические материалы, аэрогель, характеристики, звукопоглощение, импедансная труба

1. ВВЕДЕНИЕ

Снижение уровней шума в салонах летательных аппаратов требует применения новых легких и эффективных акустических материалов [1-3].

Исследованиями возможности применения аэрогелей в авиации в США начали заниматься в конце прошлого века. Аэрогель - это класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной.

Среди преимуществ аэрогелей следует отметить высокие теплоизоляционные свойства по сравнению с классическими рыхловолокнистыми теплоизоляционными материалами [4, 5], аэрогели не горят и могут быть гидрофобными.

Аэрогели в связи с их преимуществами могут найти применение в реальной конструкции летательных аппаратов с целью обеспечения требуемых параметров акустического комфорта пассажиров и членов экипажей. Таким образом, исследования акустических характеристик аэрогелей в лабораторных условиях является актуальной задачей.

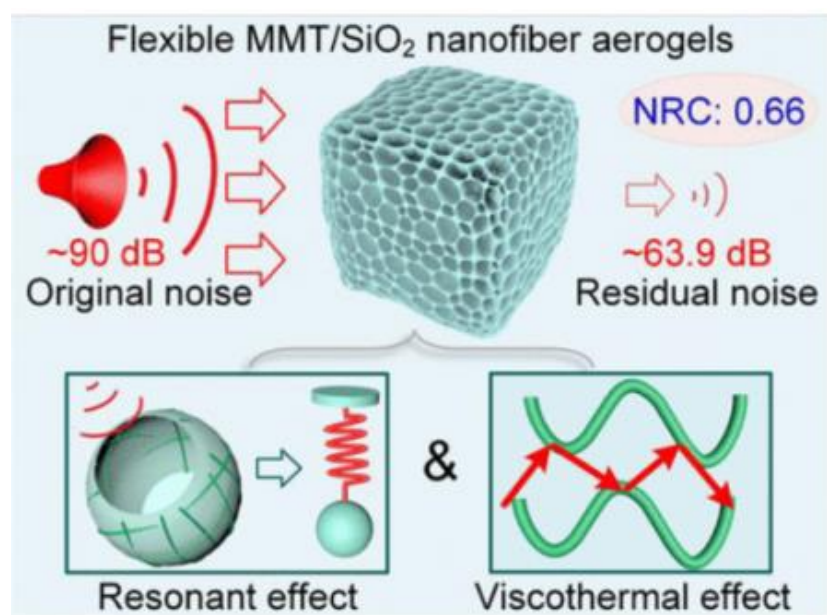


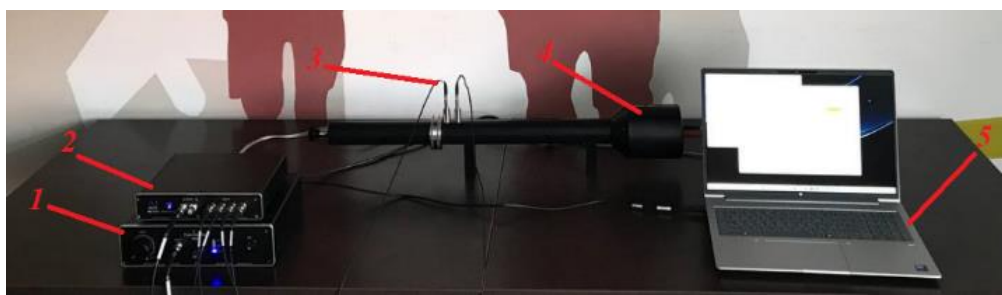
Рисунок 1 - Механизмы снижения шума аэрогелями и их акустическая эффективность согласно данным работы [6]

Согласно результатам опубликованных работ [6-8], коэффициент звукопоглощения аэрогелей достигает величины 0,66 в диапазоне частот 63-6300 Гц. Данный показатель является очень низким, чтобы рассматривать аэрогели как звукопоглощающий материал.

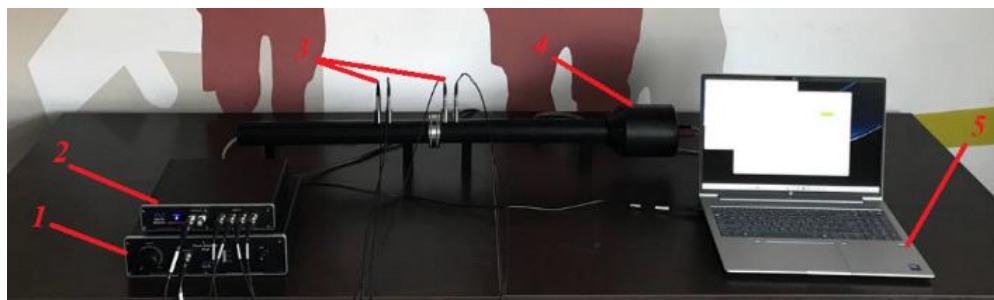
При этом в зависимости от плотности материала и его толщины можно ожидать высокого значения параметра – потери при передаче (transmission loss), который определяет эффекты увеличения звукоизоляции при внутренней облицовке фюзеляжа летательного аппарата материалами на основе аэрогеля. Механизмы снижения шума аэрогелями – это резонансный и вязкотермический эффекты (рисунок 1).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы аэрогеля на основе диоксида кремния для акустических испытаний в акустических трубах МАИ предоставлены Институтом катализа им. Г.К. Борескова СО РАН. Испытаны аэрогели различной плотности и толщины, а также аэрогель в виде порошка с различной насыпной плотностью.



а) конфигурация импедансной трубы с внутренним диаметром 30 мм для определения коэффициента звукопоглощения (рабочий частотный диапазон 500-6300 Гц)



б) конфигурация импедансной трубы с внутренним диаметром 30 мм для определения потерь при передаче (рабочий частотный диапазон 500-6300 Гц)

Рисунок 2 – Общие виды импедансных труб МАИ с внутренним диаметром 30 мм.

1 – усилитель мощности, 2 – плата сбора данных, 3 – $\frac{1}{4}$ дюймовые микрофоны давления с предусилителем, 4 – импедансная труба со встроенным динамиком, 5 – ноутбук

Общие виды импедансных труб МАИ [9] представлены на рисунке 2. По результатам измерения образцов материала в акустических трубах определены следующие акустические характеристики: коэффициент звукопоглощения (согласно стандарту ISO 10534-2 [10]), потери при передаче (согласно стандарту ASTM E2611-24 [11]).

В работе акустические характеристики аэрогеля сравниваются с аналогичными характеристиками традиционных рыхловолокнистых теплозвукоизоляционных материалов, применяемых в настоящее время в авиации.



Рисунок 3 – Фото образца аэрогеля для измерений в импедансной трубе. Диаметр образца 30 мм, высота 10 мм, плотность 250 кг/м³

На рисунке 3 в качестве примера представлено фото образца аэрогеля на основе диоксида кремния для измерений в импедансной трубе. Диаметр образца 30 мм, высота 10 мм, плотность 250 кг/м³.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 4 и 5 представлены коэффициент звукопоглощения и потери при передаче для образца аэрогеля толщиной 10 мм, плотностью 250 кг/м³ в третьоктавных полосах частот, соответственно.

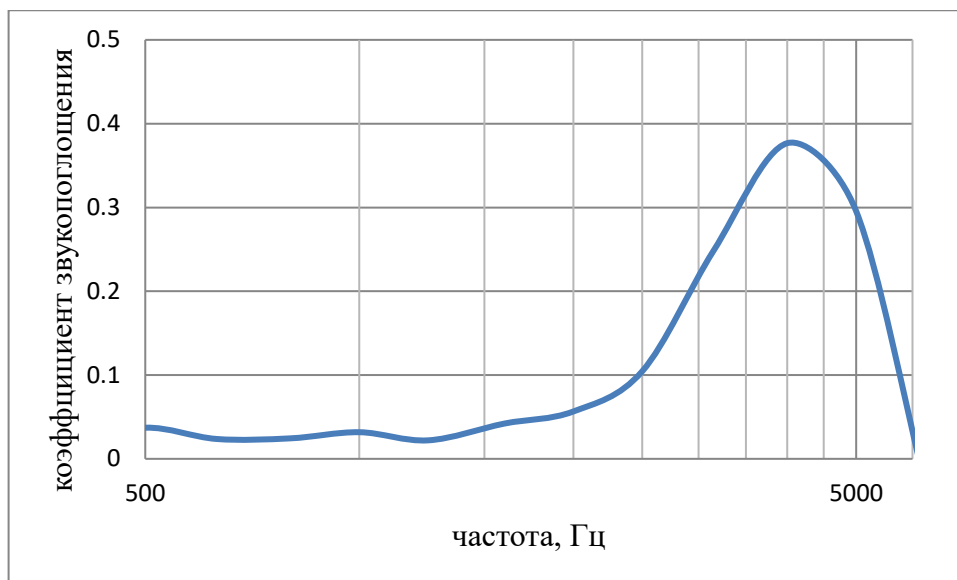


Рисунок 4 – Коэффициент звукопоглощения для образца аэрогеля толщиной 10 мм, плотностью 250 кг/м³

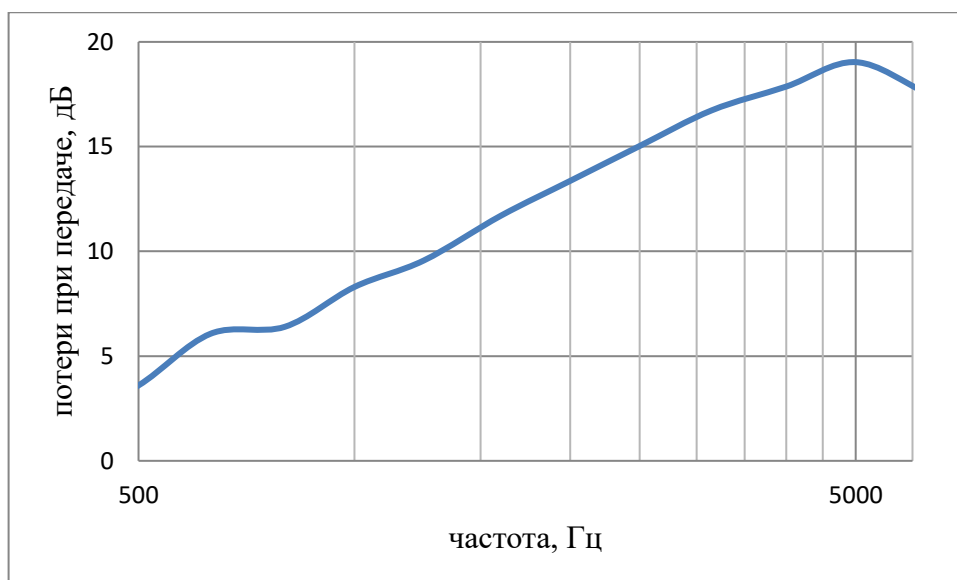


Рисунок 5 – Потери при передаче для образца аэрогеля толщиной 10 мм, плотностью 250 кг/м³

Как и ожидалось, коэффициент звукопоглощения данного образца аэрогеля достигает значения 0,38 в третьоктавной полосе частот 4000 Гц.

Потери при передаче в диапазоне частот 500-6000 Гц составляют 3,6-19 дБ. Данный показатель существенно выше аналогичного параметра, определенного в работе ВИАМ для рыхловолокнистого материала типа «АТМ-1»[12], однако отметим, что в работе не указана толщина исследуемого образца.

В работе ЦАГИ [13] представлены результаты измерения эффектов увеличения звукоизоляции при облицовке типовых панелей фюзеляжа матами теплозвукоизоляции из различных материалов.

Сравнивая значения на графике рисунка 5 с данными из работы [13], можно констатировать, что исследуемый образец аэрогеля высотой 10 мм по своим звукоизоляционным свойствам не уступает широко используемым в настоящее время в авиации рыхловолокнистым материалам типа «Микролайт», «БТМ-1» и «АТМ-1», плотность которых составляет около 10 кг/м³, а высота мата при испытаниях составляла около 40 мм.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты предварительных акустических испытаний аэрогеля в импедансных трубах МАИ. Показано, что аэрогель может быть эффективным теплозвукоизоляционным материалом и исследования возможности применения данного материала в реальной конструкции летательных аппаратов необходимо продолжать. Дальнейшие работы будут сосредоточены на создании базы данных акустических характеристик отечественных аэрогелей, изготавливаемых в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН на основе диоксида кремния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошков П.А. О разработке первого российско-китайского стандарта в области авиастроения ГОСТ Р 70066-2022 "Авиационная техника. Требования к акустическому проектированию пассажирского салона и кабины экипажа самолётов" // Динамика и виброакустика. 2024. Т. 10. № 2. С. 27-34.
2. Мошков П.А. Проблемы проектирования гражданских самолетов с учетом требований по шуму в салоне // Вестник Московского авиационного института. 2019. Т. 26. № 4. С. 28-41.
3. Kuznetsov K., Lavrov V., Moshkov P., Rubanovsky V. Designing of RRJ-95NEW-100 aircraft with regard to cabin noise requirements// Akustika. 2021. Vol. 41.P. 36-41.
4. Данилюк А.Ф., Барняков А.Ю., Предеин А.Ю. Аэрогели для теплоизоляции // Первая Всероссийская конференция Керамические и керметные материалы: перспективные технологии и устройства КЕРМЕТТЕХ-2024. Екатеринбург. 2024. С. 48-49.
5. Платонов И.А., Платонов В.И., Новикова Е.А., Иголкин А.А., Ледяев М.Е. Оптимизация хроматографического анализа путем использования нового композиционного теплоизоляционного материала на основе аэрогеля и полимерной матрицы в составе термостата газового микрохроматографа. Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23. № 2. С. 182-188.

6. Schmidt M., Schwertfeger F. Applications for silica aerogel products // Journal of Non-Crystalline Solids. 1998. Vol. 225, pp. 364-368.
7. Zong D., Bai W., Geng M., Yin X. et al. Bubble Templated Flexible Ceramic Nanofiber Aerogels with Cascaded Resonant Cavities for High-Temperature Noise Absorption // ACS Nano. 2022. Vol. 16. No. 9.p. 13740.
8. Yiqian Z., Lei L., Chong Y., Ziwei L., Zekun C., Haiyang W., Xinlin T., Hui W. Highly Efficient Thermo-Acoustic Insulating Aerogels Enabled by Resonant Cavity Engineering // ACS Nano. 2023. Vol. 17. No. 15. pp. 14883-14892.
9. Moshkov P., Ostroumov M., Strelets D. Creation of an “interferometer” installation at mai to study the acoustic properties of sound-absorbing materials and liners// EPJ Web of Conferences. 2025. Vol. 321. P. 01011.
10. ISO 10534-2 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes. Part 2: Transfer-function method. 2023.
11. ASTM E2611-24. Standard Test Method for Normal Incidence Determination of Porous Material Acoustical Properties Based on the Transfer Matrix Method. 2024.
12. Шульдешов Е.М. Звукоизоляционные свойства авиационных теплозвукоизоляционных материалов // Труды ВИАМ. 2019. № 12 (84). С. 37-45.
13. Зверев А.Я. Экспериментальное определение сравнительной эффективности матов ТЗИ из материалов «Микролайт», «БТМ-1», «АТМ-1МК» // В книге: Сборник Тезисов Всероссийского аэроакустического форума. 2021. С. 93-94.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

IMPROVING TECHNOSPHERE SAFETY: IMPROVING OF THE QUALITY OF CONTACT JOINTS IN THE PRODUCTION BY OPTIMIZING WELDING BY WEDGE

S.V. Dolzhenkov, V.A. Perov, A.V. Zvyagintseva
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

ABSTRACT

The study of the dependence of the strength of micro-welded joints on the parameters of ultrasonic micro-welding: welding time, tool pressure force and ultra-sound generators power. The development allows us to optimize the technology of manufacturing of semiconductor devices and integrated circuits in the radio-electronic industry and minimize the risks of man-made incidents. An approach to improving the reliability of semiconductor devices and integrated circuits is being considered.

Key words: technosphere safety, improvement of quality, ultrasonic welding, contact joints

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ КЛИНОВИДНОЙ СВАРКИ

С.В. Долженков, В.А. Перов, А.В.Звягинцева
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

АННОТАЦИЯ

Проведено исследование зависимости прочности микросварных соединений от параметров ультразвуковой микросварки: время сварки, усилие давления инструмента и мощность ультразвуковых генераторов. Разработка позволяет оптимизировать технологию изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем в радиоэлектронной промышленности и минимизировать риски техногенных инцидентов. Рассматривается подход к повышению надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Ключевые слова: техносферная безопасность, улучшение качества, ультразвуковая сварка, контактные соединения

1. ВВЕДЕНИЕ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Задача выбора оптимальных режимов ультразвуковой сварки (УЗС) заключается в том, чтобы найти из множества параметров такой вариант, чтобы получилась самая высокая прочность соединения. Прогресс в развитии методов формирования межсоединений позволил существенно снизить трудоемкость и сложность операций.

Определено сравнение прочности соединений, полученных на двух используемых мощностях (на траверсе, и на кристалле). Получены параметры, при которых наблюдалась наибольшая прочность микросварных соединений при низких мощностях УЗС на стандартной частоте ультразвуковых колебаний.

В данной работе объектом исследования являются микросоединения проволоки с контактными площадками кристалла и внешними выводами. Материал проволоки – алюминий с добавлением кремния диаметром 20 мкм. Материал контактных площадок - алюминий. Длина формируемых петель 20,30 mils (0,51562 мм). Создание микросоединений проволоки с контактными площадками при разных уровнях мощности ультразвука УЗС проводилось на ультразвуковой установке УЗСА-21. Контроль качества сварных соединений производился на установке Dage 4000Plus в два этапа. Сначала визуальный осмотр соединения на соответствие геометрических параметров общим требованиям. Затем механическое испытание на отрыв [1, 2].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Низкопрочные (снижение значения мощности) соединения удалось получить при следующих значениях параметров:

- на частоте 120 кГц, мощность на траверсе ультразвуковых колебаний $USG = 2,8$ мА, время сварки $t = 35$ мс и давление прижима $F = 35$ г;

- на частоте 120 кГц, мощность ультразвуковых колебаний на кристалле $USG = 2,4$ мА, время сварки $t = 35$ мс и давление прижима $F = 30$ г.

Рассмотрен метод повышения надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Сущность подхода заключается в использовании диаграммы Парето, наглядно показывающей зависимость отказов интегральных микросхем от вида дефекта.

Данные контроля качества сварных соединений на установке Dage 4000Plus для режима снижения значения мощности представлены в таблицах 1 – 4.

Таблица 1

Данные контроля качества сварных соединений на установке Dage 4000Plus для варианта снижения значения мощности (основные характеристики)

В единицах измерения

Тестер Dage серии 4000	19.06.2024 15:36:55
134ЛБ1 снижение значения мощности	
Тестовая группа	Усилия на отрыв(кгс/мин)
Тестовая скорость	700,0 мкм/сек
Испытательная нагрузка	5,00 г
Машина	Серии 4000-2033156
Номер образца	3
Общее количество тестов	7

Таблица 2

Данные контроля качества сварных соединений на установке Dage 4000Plus для варианта снижения значения мощности (краткое описание разрушающих испытаний)

В единицах измерения

Краткое описание разрушающих испытаний	
Количество тестов	7
Минимальная нагрузка	7,712г
Максимальная нагрузка	21,793 г
Изначальный вес	14,978г
Стандартный вывод	6,477г
Верхний предел контроля	500,000 г
Среднее значение	0,000 г
Верхний предел спецификации	500,000 г
Нижний предел спецификации	500,000 г
Скорректированный индекс способности процесса (C _{pk})	-24,962
Индекс оценки способности процесса (C _p)	0,000
Нижний предел контроля	500,000 г

Таблица 3

Данные контроля качества сварных соединений на установке Dage 4000Plus для снижения значения мощности (анализ прохождения/сбоя, тесты заданных значений, оценка детали)

В единицах измерения

Анализ прохождения/сбоя				
Предел прохождения/сбоя			5,000 г	
Тесты, превышающие предустановленные			7	
Тесты ниже заданных значений			0	
Испытания на большом расстоянии			0	
Деталь оценки				
Клас с	Описание	Номер	Изначальная нагрузка	Стандартный вывод
1	Разрыв шейки у траверсы	6	13,995г	6,497 г
2	Разрыв шейки у кристалла	1	20,880г	0,000

Таблица 4

Данные контроля качества сварных соединений на установке Dage 4000Plus для варианта снижения значения мощности (подробный тест усиление «на отрыв», комментарий к описанию)

В единицах измерения

Детали теста		
Номер	Усилие «на отрыв»	Описание
1	7,998г	Отслоение от кристалла
2	7,712г	Отслоение от кристалла
3	9,868г	Отслоение от кристалла
4	21,519г	Отслоение от кристалла
5	15,079г	Отслоение от кристалла
6	20,880г	Разрыв шейки у траверсы
7	21,793г	Отслоение от кристалла

Графические результаты контроля качества сварных соединений на установке Dage 4000Plus для режима снижения значения мощности показаны на рисунках 1 –4.

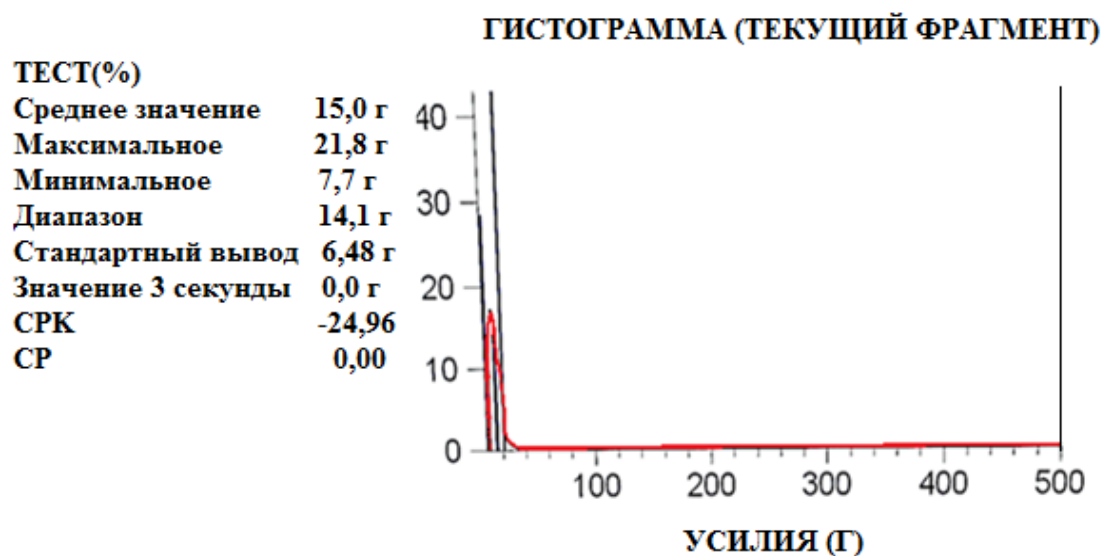


Рисунок 1 – Графический результат контроля качества сварных соединений для варианта снижения значения мощности (гистограмма первичная)

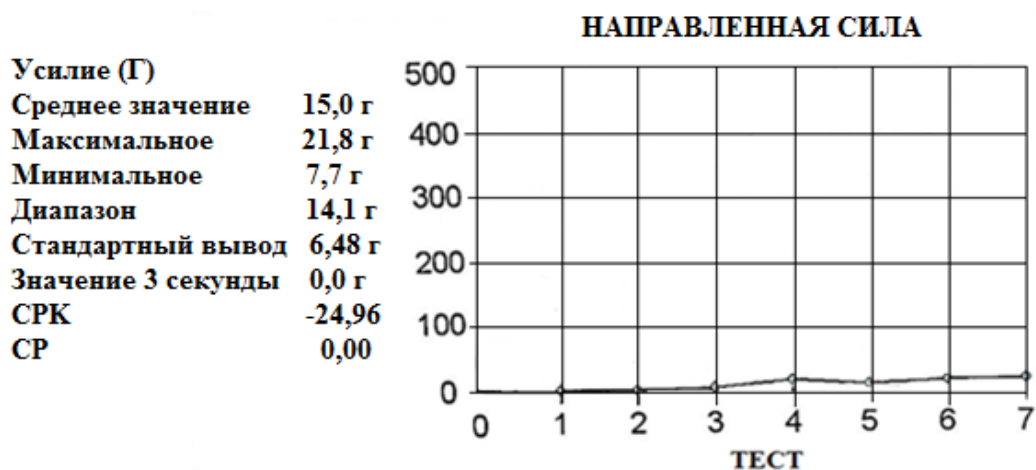


Рисунок 2 – Графический результат контроля качества сварных соединений для варианта снижения значения мощности (гистограмма - начало контроля)



Рисунок 3 – Графический результат контроля качества сварных соединений для варианта снижения значения мощности (гистограмма - наличие разрывов и отслоек)

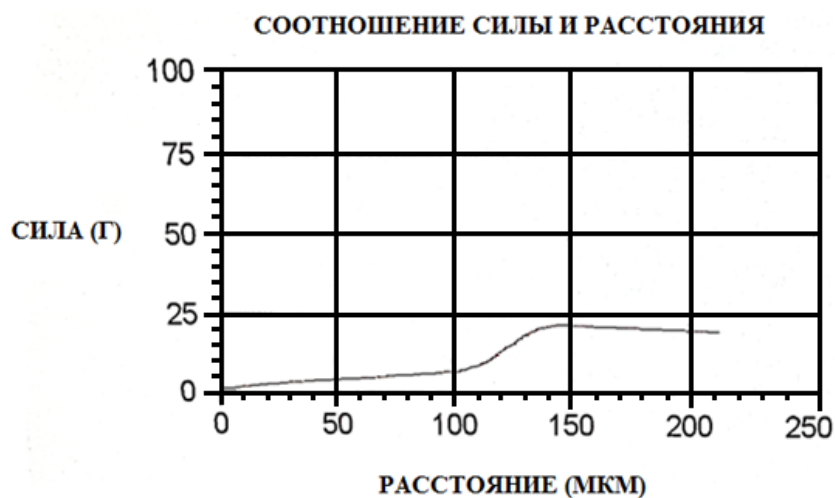


Рисунок 4 – Графический результат контроля качества сварных соединений для варианта снижения значения мощности (итоговый результат)

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы определена зависимость прочности соединения от параметров проведения операции разварки выводов.

Определено, какое влияние имеет мощность УЗС на прочностные характеристики. Из полученных данных следует вывод, что увеличение мощности сварки благоприятно влияет на прочность соединения.

С другой стороны, снижение мощности УЗГ даёт обратный результат и как следствие, снижает прочностные показатели.

Применение данных результатов исследований позволит повысить качество и надежность выпускаемой продукции. Так как оптимальные режимы параметров используются не для конкретного прибора, а имеют большой диапазон применения, данные результаты перспективны в использовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

6. Сегодник А.В. Исследование особенностей формирования проволочных соединений «кристалл-корпус» при сборке высоконадежных интегральных схем / А. В. Сегодник, А. С. Нерода, В. П. Колодинов // Молодой ученый: 2016. – № 16 (120). – С. 27- 31. – Текст: непосредственный.
7. Долженков С.В., Звягинцева А.В., Меньшикова Т.Г. Совершенствование системы разварки контактов в случае изготовления интегральных микросхем / С.В. Долженков, А.В. Звягинцева, Т.Г. Меньшикова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - Т. 20. - № 4. 2024. - С. 155-165.– Текст: непосредственный.
8. Zvyagintseva A.V., Falicheva A.I. “Physico-mechanical and corrosion-electrochemical properties of nickel coatings alloyed with indium”, Electroplating and surface treatment, 1994, vol. 3, no. 5-6, pp. 52- 54.
9. Zvyagintseva A.V., Falicheva A.I. “Physico-mechanical properties of nickel coatings alloyed with boron”, Electroplating and surface treatment, 1997, vol. 5, no. 2, pp. 24-31.
10. Zvyagintseva A.V. “Control of the technological process of synthesis of coatings based on Ni-B composites with a wide range of functional capabilities”, International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology, 2023, no. 10(415), pp. 142-161.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

IMPROVEMENT OF CONDITIONS AND SAFETY OF LABOR OF OPERATORS IN WAREHOUSES FACILITIES

E.V. Druzhkova, E.E. Borisova
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino,
Russian Federation

ABSTRACT

This paper is devoted to the development of the complex program of improvement of labor conditions and safety of operators in warehouses facilities. Existing working conditions have been analyzed, possible risks have been determined, efficient decisions have been suggested. Among of the key tasks conducting of briefings of labor safety, analysis of compliance of premises with the norms, development of training programs and implementation of mandatory documentation have been highlighted. Using of results of research will allow us to decrease a number of accidents on working places and to increase total efficiency of labor of workers.

Keywords: labor conditions, labor safety, warehouses facilities, complex program, improvement

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ОПЕРАТОРОВ В СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Е. В. Дружкова, Е.Е. Борисова
Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г.
Княгинино, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена разработке комплексной программы по улучшению условий и безопасности труда операторов на складах. Проанализированы существующие условия работы, выявлены возможные риски и предложены эффективные решения. Среди ключевых задач выделены проведение инструктажей по безопасности, анализ соответствия помещений нормам, разработка обучающих программ и внедрение обязательной документации. Использование результатов исследований позволит снизить количество

несчастных случаев на рабочем месте и повысить общую эффективность труда сотрудников.

Ключевые слова: условия труда, безопасность труда, складские помещения, комплексная программа, улучшение

1. ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надлежащих условий труда и безопасности труда работников является одной из актуальных задач, позволяющих снизить количество несчастных случаев на рабочем месте и повысить общую эффективность труда сотрудников [1, 2, 4, 6, 9, 12-14]. При работе операторов складских помещений возникает ряд специфичных факторов, влияющих на здоровье и безопасность труда операторов [3, 5, 7, 8, 9, 11].

Склад представляет собой сложное сооружение, которое состоит из многочисленных взаимосвязанных элементов. Складская организация имеет четкую структуру и функционал, который обеспечивает преобразование материальных потоков, накопления, переработки и распределения грузов между потребителями. На всех этапах функционирования склада существуют риски для здоровья сотрудников. Наибольшему риску подвержены операторы складских помещений, так как именно они более всего взаимодействуют с сложными техническими устройствами и машинами. Так большая часть из рисков связаны с неисправным оборудованием, недостаточной подготовкой и несоблюдением правил охраны труда. Операторы склада получают травмы, связанные с подъемом и перемещением грузов, работой на высоте, а также с использованием опасных инструментов и оборудования.

Складская деятельность также сопряжена с риском возгорания, которое может возникнуть вследствие нарушения хранения легковоспламеняющихся материалов, а также неисправности электрического оборудования.

Хранение опасных химических веществ в помещении склада представляет непосредственный риск для операторов. Если сотрудник плохо проинформирован об особенностях правил безопасности и не используют соответствующие средства защиты, урон здоровью может быть значительным. Утечки опасных химических веществ и других материалов представляют угрозу здоровью операторов, а также загрязняют окружающую среду.

Несчастные случаи с оборудованием и неисправности можно быстро локализовать, однако данные явления значительно сказываются на работе предприятия. Неправильное использование оборудования на складе приводит к несчастным случаям и травмам. Исходя из этого, необходимо сформировать новые подходы не только к процессу обучения сотрудников, но и обучения охране труда.

Чтобы снизить риски для операторов складских помещений при работе с новым оборудованием, и минимизировать риски при использовании старой техники, необходимо обновлять правила охраны труда, и проводить регулярные проверки оборудования и инфраструктуры, обучать операторов безопасности и предоставлять им соответствующие средства защиты и оборудование, в соответствии с новыми требованиями.

Актуальность темы обусловлена тем, что в настоящее время травматизм работников складских помещений остается серьезной проблемой. Она возникает по причине неправильной организации рабочих процессов и небезопасных условиях труда. В настоящее время одним из главных направлений социальной политики России, является «обеспечение оптимальных условий труда, отвечающих требованиям безопасности» работников различных отраслей. Это касается и работников складских помещений. Охрана труда работников в организациях, занимающихся складской деятельностью, является одним из ключевых мероприятий, благодаря которому повышается безопасность как отдельных сотрудников, так и рабочих групп. В свою очередь, работоспособность сотрудников предприятий повышает показатели производительности.

В современном мире безопасность труда по-прежнему остается сферой, которая может помочь руководителям увеличить экономические показатели своего предприятия. Рассматривая проблему с точки зрения сотрудников, улучшение условий труда напрямую отвечает их интересам. Возникновение новых опасностей на рабочем месте - важная проблема, которую необходимо решать применительно не только к деятельности сотрудников складов. Механизация и цифровизация проникает в различные сферы деятельности человека. В связи с этим, проблемы безопасности труда на складах и их решение являются актуальными вопросами. Они требуют особого внимания и усилий со стороны управляющих органов и работодателей, так как разработка мер по их улучшению может быть затратной.

Существующие нормативные и распорядительные документы по охране труда и технике безопасности носят общий характер и касаются всех сфер трудовой деятельности. Однако указанные документы не учитывают специфических особенностей деятельности работников складов. В документах по ОТ и ТБ не рассмотрены и не учитываются проблемы организации рабочих мест, проведения в условиях складских организаций.

2. ПРОБЛЕМЫ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ОПЕРАТОРОВ В СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Операторы склада работают с множеством различных товаров, которые требуют особого отношения и хранения в соответствии с их характеристиками и свойствами. Одной из основных задач оператора склада предприятия ООО «АКМ» является правильная организация пространства

на складе, чтобы обеспечить максимальную эффективность работы и минимизировать риски возникновения непредвиденных ситуаций. Для выполнения своих задач операторы используют различные технологии и инструменты, такие как автоматизированные складские системы, транспортные средства и грузоподъемное оборудование. Поэтому работа операторов связана с рисками и опасностями, сопряженными с травмами и несчастными случаями.

Операторы используют различное оборудование. Среди оборудования можно выделить погрузчики конвейеры, штабелеры и подъемники. Погрузчики широко используются для перемещения и подъема тяжелых грузов. Сейчас сотрудники применяют вилочные и без вилочные модели, в зависимости от характеристик перемещаемых грузов. Риск падения груза с паллеты на оператора или других работников, является наиболее частой причиной травм при использовании данного технического средства.

Конвейеры используются на предприятии для перемещения товаров по местам хранения. Они представлены как ручными, так и автоматизированными моделями. Одна из основных опасностей, связанных с работой на конвейере, - это риск защемления или сдавливания конечностей оператора склада между частями конвейера, например, между лентой и приводной валом. Это может произойти, если оператор пытается очистить конвейер или исправить неисправность, не отключив и не заблокировав его работу. Также существует возможность падения грузов с конвейера на оператора. Это может произойти, если грузы некорректно размещены на конвейере или если происходит нарушение процедур загрузки и разгрузки.

Еще одной опасностью может быть возможность возникновения пожара на конвейере. Это может произойти из-за трения между компонентами конвейера, неисправности оборудования, или нарушения правил хранения и использования легковоспламеняющихся материалов в рабочей зоне.

Штабелеры используются сотрудниками предприятия меньше чем погрузчиками, тем не менее, эти грузоподъемные машины также применяются для подъема и перемещения паллет.

Повсеместное использование сложной техники закономерно рождает проблему недостаточной квалификации. Таким образом, одной из основных проблем в сфере безопасности операторов склада предприятий является отсутствие у них соответствующей квалификации, а также недостаточный опыт в вопросах безопасности труда. Это может привести к различным травмам и несчастным случаям на рабочем месте. Именно работа с оборудованием представляет опасность для оператора склада

Кроме того, проблемой является недостаточное оснащение складов средствами защиты и безопасности. Необходимость в использовании определенных средств индивидуальной защиты, таких как защитные очки, перчатки и другие, не всегда является очевидной для работников склада, тем более для операторов. Это также может привести к травмам и повреждениям.

Другой проблемой безопасности труда операторов склад является неправильное использование оборудования и инструментов. Неумение пользоваться техникой, невнимание к инструкциям и правилам использования могут привести к серьезным последствиям для здоровья работников.

В целом можно сделать следующие выводы.

Недостаточная квалификация и опыт работников в вопросах безопасности труда на складе;

1. Недостаточное оснащение склада средствами защиты и безопасности, такими как защитные очки, перчатки и другие;
2. Неправильное использование оборудования и инструментов, что может привести к травмам и повреждениям;
3. Отсутствие правил и процедур в области безопасности труда, которые должны быть соблюдены на складе;
4. Неправильное хранение и размещение грузов, что может привести к опасным ситуациям на складе.

Эти проблемы требуют комплексного подхода и решения, которые должны быть основаны на соблюдении требований охраны труда, обучении работников и правильном использовании оборудования и инструментов. Необходимо разработать предложения для их практического внедрения.

3. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ДЛЯ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ВНЕДРЕНИЯ

Несчастные случаи несут значительный материальный ущерб, а в ряде случаев и тяжелые травмы, вплоть до гибели людей.

На предприятиях есть большое количество складских помещений, где располагается товаров больших разных габаритов. Предприятие имеет большую оснащенность электроустановками, а также разветвленную электросеть.

Действующие инструкции по охране труда для операторов склада составлены на основе различных документов, включая законодательные акты, нормативные документы, стандарты и правила безопасности, а также на основе опыта работы с конкретным оборудованием и в конкретных условиях.

В качестве основных законодательных актов, которые регулируют вопросы охраны труда на складах, выступают федеральные законы, такие как «О труде» и «Об охране труда», а также различные приказы и инструкции Минтруда России.

Нормативные документы, такие как технические условия, на оборудование, инструкции по его эксплуатации, правила пожарной безопасности и другие, также применяются при составлении инструкций по охране труда на складе.

Важно отметить, что инструкции по охране труда для операторов склада предприятий разработана конкретно под данный склад и учитывает его особенности рабочих процессов, используемых материалов и оборудования.

Из представленной информации можно сделать вывод, что инструкция по охране труда для операторов склада рассматриваемого предприятия, работающих с погрузочно-разгрузочной техникой, необходима для обеспечения безопасности при выполнении работы. Эта инструкция содержит общие положения, организацию рабочего места, правила эксплуатации техники и правила поведения при работе на погрузчике. Кроме того, обучение операторов склада технике безопасности должно проводиться регулярно, и все работники должны быть проинформированы о новых инструкциях и правилах, которые могут повлиять на их работу. Это поможет минимизировать риски и создать безопасную рабочую среду на складе.

Рассмотрим конкретные предложения по обеспечению охраны труда для операторов складских помещений предприятий.

1. Недостаточная квалификация и опыты работников в вопросах безопасности труда на складе.

Для повышения квалификации сотрудников в области охраны труда на складе предлагается обратиться в Центр охраны труда, экологической, пожарной и промышленной безопасности «НСС Консалт». Компания специализируется на обучении безопасности труда на складе и хорошо себя зарекомендовала. Ее специалисты используют различные методы обучения в зависимости от целей, потребностей и характеристик аудитории. В настоящее время в учебном процессе компании имеются наиболее распространенные методы обучения, которые применяются не только в России, но и за рубежом.

2. Недостаточное оснащение склада средствами защиты.

Работники склада ООО «АКМ» недостаточно оснащены средствами защиты. В связи с этим предлагается привести перечень необходимых средств.

Рассмотрим средства защиты исходя из их производственной необходимости:

1. Защитные очки: защищают глаза оператора от попадания мелких частиц, искр, пыли и химических веществ.

2. Защитные перчатки: предназначены для защиты кожи рук оператора от порезов, ранений, ожогов и других повреждений, которые могут возникнуть при работе с острыми и грубыми деталями.

3. Защитная обувь: защищает ноги оператора от порезов, ушибов и других повреждений, которые могут возникнуть при падении тяжелых предметов или при работе с острыми и грубыми деталями.

4. Защитные каски: защищают голову оператора от ударов и падающих предметов.

5. Респираторы: защищают легкие оператора от вдыхания вредных паров, пыли и газов, которые могут содержаться в автозапчастях.

6. Защитные наушники: защищают слух оператора от шума, который может превышать безопасный уровень на складе автозапчастей.

7. Защитные комбинезоны: предназначены для защиты тела оператора от химических веществ, масла и других загрязнений, которые могут содержаться на автозапчастях.

Важно понимать, что предложенный перечень средств защиты объясняется спецификой работы на конкретном складе и рисков.

3. Неправильное использование оборудования и инструментов, что может привести к травмам и повреждениям.

Чтобы предотвратить неправильное использование оборудования и инструментов работниками складов, можно применять следующие меры:

1. Работники должны пройти тренинги по использованию оборудования и инструментов. Это поможет им понимать, как использовать оборудование и инструменты правильно и безопасно. Предлагается провести повторное обучение использованию погрузчиков разных моделей, представленных на складе.

2. Инструкции по эксплуатации. Необходимо разработать новые инструкции по эксплуатации каждого типа оборудования и инструмента, которые используются на складе. Инструкции должны включать информацию о технике безопасности, правильном использовании и регулярном обслуживании техники, исходя из новых знаний, полученных работниками в процессе обучения.

3. Необходимо организовать группу регулярного обслуживания и проверки оборудования для предотвращения неисправностей снижения риска возникновения аварийных ситуаций.

4. Все оборудование и инструменты должны быть ясно маркированы и идентифицированы, чтобы работники могли легко определить, какое оборудование и инструменты нужно использовать для каждой работы.

5. Руководители предприятия должны издать постановление, согласно которому требуется программа проверок работников использованию оборудования и инструментов. При необходимости, работники должны быть направлены на переобучение или переназначены на другую работу.

6. Проверки безопасности должны стать регулярными и концентрироваться на использовании автоматических средств погрузки и разгрузки. Если обнаруживается неправильное использование оборудования, необходимо предпринимать незамедлительные меры для его устранения.

Исходя из выявленных проблемы в сфере безопасности труда у операторов складов фирмы ООО «АКМ», предлагаются процедуры в области безопасности труда, которые должны быть соблюдены в соответствии с реализацией пунктов, о которых говорилось выше. Перечень новых процедур:

1. К работам на складе допускаются лица, которые прошли медицинский осмотр, обучение и инструктаж работе на механизированной технике;
2. Процесс погрузки, разгрузка и размещение грузов должен проходить под строгим руководством ранее назначенного ответственного лица;
3. На площадках должна соблюдаться чистота. Подходы к ним должны быть очищены от посторонних предметов;
4. Погрузка и разгрузки транспортных средств должна выполняться с погрузочно-разгрузочных платформ;
5. Перед работой оператору необходимо убедиться в исправности погрузчика;
6. Нельзя складировать в многорядные штабеля грузы, которым нельзя обеспечить устойчивость штабелей;
7. При стеллажном хранении, крупногабаритные и тяжелые грузы необходимо укладывать на нижние ярусы;
8. Каждый оператор обязан, при необходимости, надеть защитные средства.

4. Неправильное хранение и размещение грузов, что может привести к опасным ситуациям на складе.

Как говорилось ранее, неправильное хранение и размещение грузов на складе может привести как повреждение самого товара, так и нанести вред опасности сотруднику. Рассмотрим предложения, направленные на предотвращение неправильного хранения и размещения грузов на складе:

1. Определение типа товаров. Необходимо разделить товары на категории в зависимости от типа, размера, веса и других характеристик, чтобы лучше понимать, как их лучше хранить и размещать на складе;
2. Внедрение системы хранения на основе учета основных характеристик товара. Предлагается пересмотреть систему хранения и разместить товары в соответствии с их категорией, наиболее удобным способом для доступа и использования. Так товары с малым весом могут быть размещены на верхних полках, а тяжелые - на нижних;
3. Нанесение маркировки. Предлагается использовать яркие цвета и ярлыки, чтобы помочь сотрудникам легко идентифицировать, где

расположен определенный товар, как его хранить и какое оборудование использовать для его перемещения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные исследования в области охраны труда на складе имеют не только теоретические, но и практические результаты. Для обеспечения безопасности и здоровья работников, а также повышения эффективности производительности необходимо изучать опыт передовых исследований и применять для работы.

В процессе изучения данной проблемы было выявлено, что основными причины несчастных случаев на складе являются с падения, порезы, ушибы, перенапряжение и падение предметов с высоты. Исходя из этого, было установлено, что наиболее уязвимыми зонами на складах являются места складирования и перемещения грузов, а также рабочие зоны разгрузки и погрузки. Оборудование: подъемники, грузовики, штабелеры несут бремя рисков. В связи с этим необходимо обеспечить соответствующее обучение.

Исходя из выявленных опасностей в процессе организации труда операторов склада ООО «АКМ», были определены основные направления по улучшению условий безопасности труда:

1. Недостаточная квалификация и опыты работников в вопросах безопасности труда на складе.
2. Недостаточное оснащение склада средствами защиты.
3. Неправильное использование оборудования и инструментов, что может привести к травмам и повреждениям.
4. Отсутствие правил и процедур в области безопасности труда, которые должны быть соблюдены на складе.
5. Неправильное хранение и размещение грузов, что может привести к опасным ситуациям на складе.

Внедрение предложенных мер уменьшит количество травм и несчастных случаев на рабочем месте. Это позволит снизить затраты на медицинское обслуживание, компенсации и льготы для пострадавших и временную нетрудоспособность работников. Также удастся снизить расходы на страхование для компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.В., Аношкин Д.В. Человеческий фактор как причина аварийности и травматизма на производстве и его анализ на основе принципов системного подхода к обеспечению безопасности. Безопасность труда в промышленности. 2010. № 11. С. 22-25.
2. Васильев А.В., Рябов В.М., Васильева Л.А. Эргономика и эстетика рабочего места оператора ЭВМ. Организация режима труда и отдыха. Тольятти, 1997.

3. Волгин В.В. Кладовщик: Устройство складов. Складские операции. Управление складом. Нормативные документы. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Ось-89, 2011. - 195 с.
4. Герасименко Н.С. Обучение, проверка знаний и навыков работников в области охраны труда / Н.С. Герасименко // Справочник специалиста по охране труда. - 2012. - № 1. - С. 18.
5. Дашков Л.П., Памбухчиянц В.К. Коммерция и технология торговли: Учебник для студентов высших учебных заведений. -3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско-книготорговый центр «Маркетинг», 2011. -596с.
6. Добролюбова Е.И., Южаков В.Н. Оценка результативности контрольно-надзорной деятельности: анализ практики и методические рекомендации – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2017. – 174 с.
7. Домнин, И.В. Ликвидация транспортных барьеров - снижение логистических издержек // Логистика сегодня. - №2. - 2011. - С. 84-87.
8. Зеваков, А.М. Логистика производственных и товарных запасов / А.М. Зеваков - М: Из-во Михайлова В.А., 2019. - 155 с.
9. Измеров Н.Ф., Тихонова Г.И., Чуранова А.Н., Горчакова Т.Ю. Условия, охрана труда и производственный травматизм в России // Здравоохранение РФ. 2018. №1. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-ohrana-truda-i-proizvodstvennyy-travmatizm-v-rossii> (дата обращения: 25.03.2023).
10. Кабакова, Т.И. Актуальные вопросы охраны труда и техники безопасности работников складских помещений / Т.И. Кабакова, И.С. Максимов - М., 2017. - С.38-39.
11. Максимов, И.С. Социологическое исследование работников складского хозяйства по вопросам охраны труда и техники безопасности/ И.С. Максимов, Т.И. Кабакова // Пятигорская ГФА. - Пятигорск, 2020. С.618-620.
12. Максимов, И.С. Анализ использования нормативной базы по охране труда и технике безопасности / И.С. Максимов, Т.И. Максимов, КС. Особенности использования средств индивидуальной защиты / И.С. Максимов, Т.И. Кабакова, Т.Г. Ковалева - М., 2018. - С.661.
13. Фенюк Н.А., Васильев А.В. Особенности обеспечения безопасности труда при эксплуатации электроустановок. В сборнике трудов международного инновационного форума молодых ученых YOUNG ELPIT 2015 в рамках пятого международного экологического конгресса (седьмой международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2015. Научный редактор Васильев А.В. С. 326-331.
14. Vasilyev A.V., Zabolotskikh V.V. Methodological approaches to complex assessment of man-caused ecological risks for health of the population and for biosphere. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation “Le Vie dei Merchanti”. Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). "Fabbrica della Conoscenza series" Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1517-1523.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

IMPLEMENTATION OF EXOSKELETONS AS AN EFFECTIVE WAY TO REDUCE THE SEVERITY OF LABOR IN PRODUCTION

O.F. Larionova

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino,
Russia

ABSTRACT

Study Objective: To justify the use of industrial exoskeletons to reduce physical strain in the warehouse worker's workplace.

Problem: Heavy physical labor causes occupational musculoskeletal disorders, reduces productivity, and increases economic losses for the enterprise. Current work organization methods are insufficiently effective in reducing physical strain in the workplace, necessitating the implementation of modern technical solutions such as industrial exoskeletons.

Methods:

- Analysis of the special assessment of working conditions (SAWC) map and photographs of working time.
- Comparison of two exoskeleton models (BACKX and ProEXO) based on the following criteria: safety, comfort, controllability, autonomy, and reliability.
- Calculation of a comprehensive quality criterion taking into account weighting factors.

Results: The ProEXO exoskeleton demonstrated a significantly higher comprehensive criterion (12.36) compared to the BACKX (2.06). The ProEXO provides an auxiliary force of up to 50 kg with a weight of 2.8 kg. **Conclusion:** The implementation of the ProEXO exoskeleton will effectively reduce the load on the storekeeper's shoulder girdle and back, reduce the risk of occupational diseases, and improve occupational safety.

Keywords: labor conditions, labor safety, warehouses facilities, complex program, improvement

ВНЕДРЕНИЕ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТЯЖЕСТИ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

О.Ф. Ларионова

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
г. Княгинино, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель исследования: Обоснование применения промышленных экзоскелетов для снижения физической нагрузки на рабочем месте кладовщика.

Проблема: Тяжелый физический труд вызывает профессиональные заболевания опорно-двигательного аппарата, снижает производительность и увеличивает экономические потери предприятия. Существующие методы организации труда недостаточно эффективны для снижения физических нагрузок на рабочих местах, что требует внедрения современных технических решений, таких как промышленные экзоскелеты.

Методы:

- Анализ карты СОУТ и фотографии рабочего времени.
- Сравнение двух моделей экзоскелетов (BACX и ProEXO) по критериям: безопасность, комфорт, управляемость, автономность, надежность.
- Расчет комплексного критерия качества с учетом весовых коэффициентов.

Результаты: Экзоскелет ProEXO показал значительно более высокий комплексный критерий (12,36) по сравнению с BACX (2,06). ProEXO обеспечивает вспомогательную силу до 50 кг при весе 2,8 кг.

Вывод: Внедрение экзоскелета ProEXO эффективно снизит нагрузку на плечевой пояс и спину кладовщика, уменьшит риск профессиональных заболеваний и повысит безопасность труда.

Ключевые слова: условия труда, безопасность труда, складские помещения, комплексная программа, улучшение

В различных отраслях экономики тяжелый физический труд остается ведущим фактором риска получения травм, развития профессиональных заболеваний, в том числе опорно-двигательного аппарата [1, 2, 5, 7, 8]. Значительная доля патологий приходится на заболевания скелетно-мышечной системы плечевого пояса, приводящие к временной утрате трудоспособности, потере рабочего времени и увеличению экономических расходов [3, 4, 6]. Применение промышленных экзоскелетов позволит повысить уровень автоматизации производственных операций и является актуальным в отраслях, где работник — неотъемлемая часть трудового процесса. Внедрение промышленных экзоскелетов позволит снизить тяжесть труда путем оптимального перераспределения нагрузки на различные части опорно-двигательного аппарата. Исходя из этого, было предложено ознакомиться с эффективностью возможности применения экзоскелетов для снижения тяжести.

Для достижения заданной цели был разработан следующий ряд задач:

- Провести анализ тяжести труда на примере конкретного рабочего места;
- Изучить особенности экзоскелетов;
- Изучить современные разработки в области робототехнических средств;
- Проанализировать возможную эффективность.

Научная новизна работы является в обоснование возможности применения робототехнических средств на конкретном рабочем месте.

А практической значимостью то, что результаты исследования могут быть использованы в качестве базы исследовательской и проектной деятельности по совершенствованию системы обеспечения безопасности труда.

Кладовщик непосредственно принимает, хранит и отпускает материальные ценности, также он должен рационально использовать площадь складского помещения при размещении продукции. Специалист обязан обеспечить возможность быстрого и удобного поиска товарно-материальных ценностей.

В качестве примера была рассмотрена карта СОУТ кладовщика (рисунок 1) и проведена оценка вредного фактора тяжесть трудового процесса.

Наименование факторов производственной среды и трудового процесса	Класс (подкласс) условий труда	Эффективность СИЗ*, +/- не оценивалась	Класс (подкласс) условий труда при эффективном использовании СИЗ
Химический	2	Не оценивалась	-
Биологический	-	Не оценивалась	-
Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	-	Не оценивалась	-
Шум	2	Не оценивалась	-
Инфразвук	-	Не оценивалась	-
Ультразвук воздушный	-	Не оценивалась	-
Вибрация общая	-	Не оценивалась	-
Вибрация локальная	-	Не оценивалась	-
Неионизирующие излучения	-	Не оценивалась	-
Ионизирующие излучения	-	Не оценивалась	-
Параметры микроклимата	-	Не оценивалась	-
Параметры световой среды	2	Не оценивалась	-
Тяжесть трудового процесса	3,1	Не оценивалась	-
Напряженность трудового процесса	-	Не оценивалась	-
Итоговый класс (подкласс) условий труда	3.1	не заполняется	-

* Средства индивидуальной защиты

Рисунок 1 – Карта СОУТ кладовщика

Из данной таблицы можно сделать вывод, что тяжесть трудового процесса в данном случае связана с нагрузкой плечевого пояса и спины. Это в дальнейшем может привести к таким профзаболеваниям, как хронические миофиброзы, а также к множеству травм.

Кладовщик при выполнении своих производственных обязанностей постоянно поднимает и перемещает грузы массой около 31 – 35 кг при чередовании с другой работы (до 2 раз в час)

Исходя из фотографии рабочего времени (рисунок 2), кладовщик 80% - занимается прием/выдача, сортировка, беркирование. А 40% из 80% времени кладовщик работает на складе №4 (топливо - заправочный) основной работой является именно прием и выдача груза, складирование его по местам. 20 % времени уходит на оформление документов, ведения таблиц, сводок, ответы на запросы по электронной почте.



Рисунок 2 – Фотография рабочего времени

Было рассмотрено два бренда экзоскелетов для грузовых работ. И выделены их основные физические параметры и сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Основные параметры

Название	BACKX	ProEXO
Вес	3,4 кг	2,8 кг
Вспомогательная сила	13,6 кг	50 кг

Для удобного сравнения была проведена оценка качества экзоскелетов на основании экспериментальных данных из статьи «Анализ качественных показателей промышленного экзоскелета на основе комплекса критериев». Были проведены испытания представленных образцов экзоскелетов, в результате которых операторы испытатели оценили аппараты по каждому из выдвинутых критериев

Требования, предъявляемые к экзоскелетам: безопасность, комфорт, управляемость, автономность, надежность и субъективную общую оценку оператора. Участники испытаний дали свои оценки по каждому из представленных критериев. На основе полученных данных была построена диаграмма (рисунок 3) и таблица средних баллов (таблица 2).

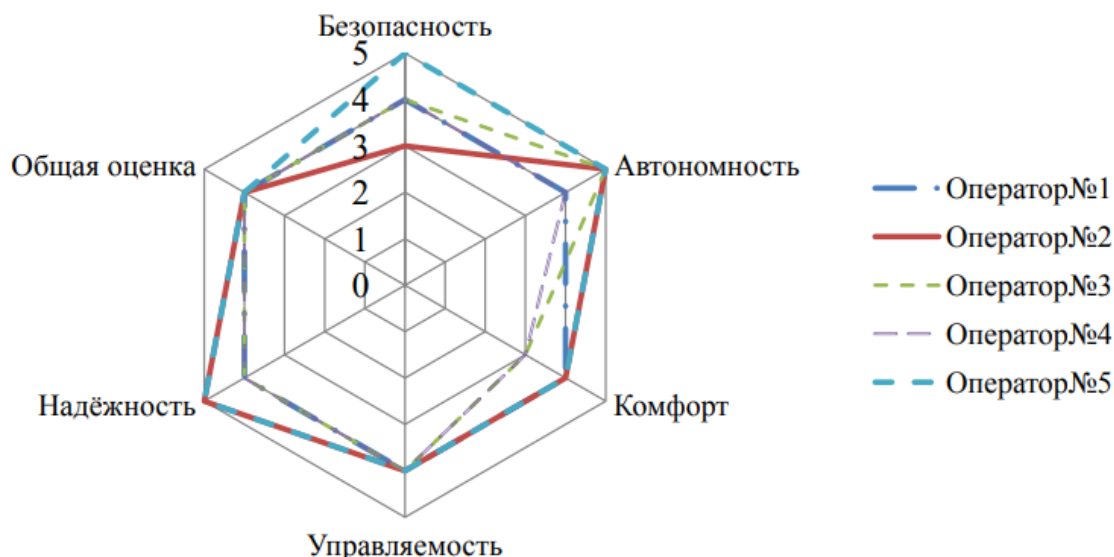


Рисунок 3 – Оценка качества экзоскелетов

Таблица 3

Оценки операторов по всем критериям

Критерии V_i	Средняя оценка всех операторов
B1 - Безопасность	4
B2 - Автономность	4,6
B3 - Комфорт	3,6
B4 - Управляемость	4
B5 - Надежность	4,4
B6 - Субъективная общая оценка	4

Расчёт средней оценки по всем критериям:

$$(B_i) = (4+4,6+3,6+4+4,4)/5 = 4,12, \quad (1)$$

Для объективной оценки качества экзоскелета предлагается использовать комплексный критерий K , позволяющий оценивать потребительские свойства экзоскелета. Рассчитать его можно по формуле: $K = \sum_{i=1}^6 \alpha_i B_i$, где α_i – весовой коэффициент. Следовательно, средний комплексный критерий можно рассчитать как

$$\bar{K} = \bar{\alpha}_i \cdot \bar{B}_i. \quad (2)$$

где $\overline{a}_i$ – средний весовой коэффициент (таблица 4);
 $\overline{B}_i$ – средний критерий оценки качества.

Таблица 4

Весовые коэффициенты

Поднимаемый вес (кг)	Вспомогательная сила (кг)	Весовой коэффициент
24,6	10,0	1
21,0	13,6	2
14,6	20,0	3
4,6	30,0	4
1,6	33,0	5

После были рассчитаны средние комплексные критерии для двух видов экзоскелетов, результаты сведены в таблицу 5.

Таблица 5

Средние комплексные критерии

BACKX	ProEXO
$\bar{K}$ – Средний комплексный критерий	
2,06	12,36

Для наглядности построена сравнительная диаграмма (рисунок 4).

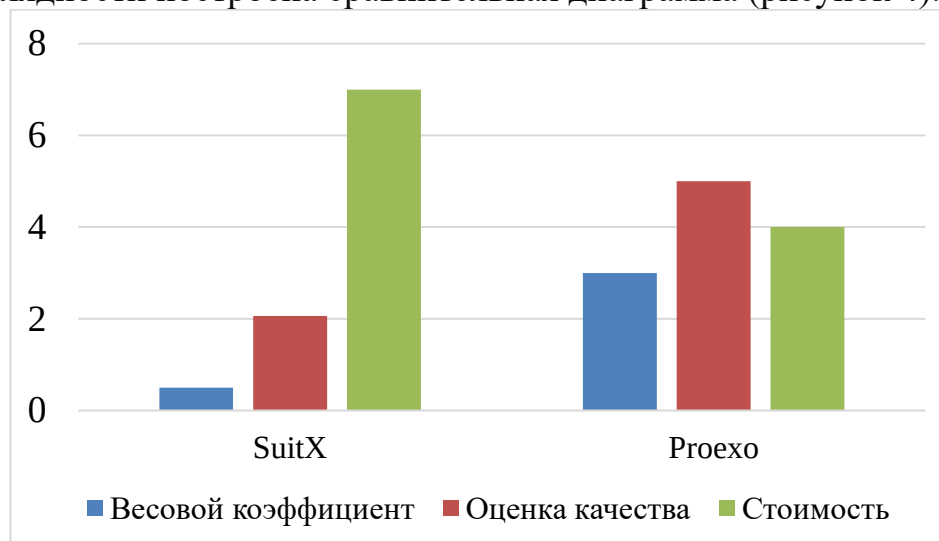


Рисунок 4 – сравнительная диаграмма

В заключение можно сделать вывод, что при выборе экзоскелета должны быть учтены такие факторы как вес устройства и принцип выполнимой работы, чтобы экзоскелет оказывал вспомогательное воздействие, а не наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.В., Аношкин Д.В. Человеческий фактор как причина аварийности и травматизма на производстве и его анализ на основе принципов системного подхода к обеспечению безопасности. Безопасность труда в промышленности. 2010. № 11. С. 22-25.
2. Васильев А.В., Рябов В.М., Васильева Л.А. Эргономика и эстетика рабочего места оператора ЭВМ. Организация режима труда и отдыха. Тольятти, 1997.
3. Ворочаева Л. Ю., Яцун А. С., Яцун С. Ф., Управление квазистатической ходьбой экзоскелета на основе экспертной системы. Труды спииран. Издательство: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (Санкт-Петербург). 2017 г. С. 70-94.
4. Дмитриев В.А., Фёдоров А.В., Аль Манджи Халиль Хамед Мухаммед, Анализ качественных показателей промышленного экзоскелета на основе комплекса критериев. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Вопросы методологии естествознания и технических наук: современный контекст», г. Белгород, 29 марта 2019 г. – С.131-135.
5. Шишкин В.А., Васильев А.В., Суходолов Е.В. Исследование воздействия шума и вибрации на рабочих местах ОАО "ЗПБО". Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2007. № 5. С. 227-235.
6. Яцун С.Ф., Рукавицын А.Н. Определение параметров приводов биоинженерных мехатронных модулей для экзоскелета нижних конечностей человека. Известия юго-западного государственного университета. серия: техника и технологии. Издательство: Юго-Западный государственный университет (Курск). ISSN: 2223-1528. 2012 г. Стр. 196-200.
7. Vasilyev A., Luzzi S. Estimation of noise influence to the health of population: Italian and Russian approaches. Безопасность в техносфере. 2016. Т. 5. №5. С. 22-26.
8. Vasilyev A.V., Zabolotskikh V.V. Methodological approaches to complex assessment of man-caused ecological risks for health of the population and for biosphere. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation "Le Vie dei Merchanti". Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). "Fabbrica della Conoscenza series" Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1517-1523.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

TASK OF OPTIMIZING THE PROGRAM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES, TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY INDICATORS OF DIAGNOSTIC TOOLS

A.V. Maistruk^{1, 2}, S.V. Parfenov¹

¹E.K. Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

ABSTRACT

The paper presents a formulation of the problem of optimizing a program for monitoring the technical condition of potentially hazardous facilities, allowing both safety requirements and the effectiveness (reliability) of means for diagnosing signs of danger to be taken into account directly.

Keywords: labor safety, potentially hazardous facilities, technical condition, monitoring, means for diagnosing, effectiveness

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

А.В. Майструк^{1, 2}, С.В. Парфенов¹

¹Институт прикладной геофизики имени Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

²Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлена постановка задачи оптимизации программы контроля технического состояния потенциально опасных объектов, позволяющая непосредственно учитывать как требования безопасности, так и эффективность (достоверность) средств диагностирования признаков опасности.

Ключевые слова: безопасность труда, опасные производственные объекты, техническое состояние, контроль, средства диагностирования, эффективность

Качество объекта (изделия, системы, узла) определяется совокупностью свойств, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с целевым предназначением. Среди показателей качества технических систем важное значение имеют показатели надежности и безопасности. Поэтому необходимо своевременно осуществлять поиск и устранение возникающих дефектов, которые являются предпосылками к происшествиям при эксплуатации технических систем. Поиск дефектов (признаков опасности) являются процессами определения технического состояния объекта и объединяются общим термином «диагностирование» [1, 2].

Эффективность процессов диагностирования определяется не только качеством программ контроля технического состояния (ПКТС) объекта, но и в не меньшей степени эффективностью средств диагностирования (контрольно-измерительных средств), которые должны учитываться при оптимизации системы эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО). Идеальная полнота обнаружения и глубина поиска дефектов сложных систем не всегда достижимы, как из-за принципиальной невозможности получения необходимой информации, так и по технико-экономическим соображениям. Принципиальная ошибка допускается и тогда, когда пренебрегают незнанием степени полноты и достоверности информации, считая ее идеальной. В этом случае ошибка будет состоять в завышении показателей надежности и безопасности систем, а следствием неполноты обнаружения опасных дефектов, могут стать аварии с серьезным экологическим ущербом.

Соответственно, эффективное решение задач эксплуатации ОПО невозможно без привлечения современных информационных технологий, позволяющих оптимизировать программы контроля ТС потенциально опасных объектов.

В общем случае, смысл задачи оптимизации заключается в формировании оптимальной программы (например, по критериям эффективности или стоимости реализации и риска аварий в процессе применения по назначению) контроля технического состояния ОПО с учетом эксплуатационно-технических характеристик (например, показатели эффективности, достоверности и т.п.) существующих методов диагностирования, возможностей технических средств контроля и требований безопасности, устанавливаемых для каждого контролируемого объекта, в соответствии с опасностью выполняемых операций.

При этом в распоряжении лица, принимающего решение (ЛПР), имеется определенный, как правило, ограниченный, набор альтернативных способов (методов) контроля технического состояния объекта (например, методов неразрушающего контроля) и типов контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), которые могут быть использованы при формировании программы контроля безопасности потенциально опасных объектов.

Сама процедура контроля заключается в проверке соответствия качества технической системы определенным требованиям. Эти требования задаются обычно в виде ограничений на показатели свойств системы (эффективность, надежность, безопасность, живучесть), которые в совокупности и определяют ее качество. В качестве признаков опасности для определения вида технического состояния (ТС) объекта используются соответствующие показатели свойств, доступные для наблюдения, которые называются контролируемыми признаками. Ими могут быть различные параметры системы или некоторые их функции, которые, как правило, имеют вполне конкретное количественное выражение и значения их можно измерять или вычислять. В любом случае процесс контроля представляет собой эксперимент, связанный с выполнением ряда проверок, исходы которых заранее не предсказуемы, т.е. являются случайными событиями. При этом неопределенность результатов контроля обуславливается, в первую очередь, погрешностью измерений, которые зависят от эксплуатационно-технических характеристик применяемых средств и методов обработки результатов измерений, а также алгоритмов контроля.

В общем случае, возможны две постановки задач оптимизации программ контроля технического состояния ОПО, позволяющих обеспечить:

а) максимально возможные значения показателей безопасности объекта при заданных ограничениях как на эффективность и достоверность результатов проверок, так и затраты, связанные с реализацией программы контроля;

б) требуемые значения показателей безопасности эксплуатации ОПО при минимально возможных суммарных затратах на их обеспечение, и ограничений, определяемых существующими методами диагностирования и техническими возможностями КИА.

Дадим содержательное описание задачи оптимизации. Пусть имеется (известно, дано) альтернативное множество структурно-иерархических программ контроля безопасности технического состояния ОПО, которые отличаются не только методами (алгоритмами) проверок, набором контрольно-измерительной аппаратуры для оценки j -х параметров безопасности (признаков опасности), но и структурно-иерархическими уровнями (глубиной) контроля объектов (например, система, подсистема, узел, блок, элемент). Контроль технического состояния объектов (элементов) проводится путем проверки i -х ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$) параметров безопасности (признаков опасности). Для проверки этих параметров могут быть использованы m типов контрольно-измерительных аппаратуры ($j = \{1, 2, \dots, m\}$).

Для оценки достоверности контроля i -го параметра j -м типом КИА используется показатель $d_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}$, представляющий собой сумму вероятностей (α_{ij}) ложного забракования (ошибка 1-го рода) системы и вероятности β_{ij} - пропуска (ошибка 2-го рода) опасного дефекта.

Для каждой программы контроля и комплекта КИА $A_j \forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$ известны показатели эффективности – достоверность контроля $\{d_{ij}\}$, а также снижение риска (вероятности) Δq_{ij} опасного отказа системы (блока, элемента, узла и т.п.) в результате устранения предпосылок к происшествию, выявленных в ходе проведения контрольно-профилактических мероприятий безопасности (КПМБ). Кроме того, известны эксплуатационно-технические характеристики используемых комплектов КИА: стоимость проверок $\{c_{ij}\}$ при их использовании, а также временные $\{\tau_{ij}\}$ затраты на контроль i -х параметров и матрица их технических возможностей

$$Y = \|y_{ij}\|_{(n \times m)} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $y_{ij} = 1$, если возможен контроль i -го параметра j -м КИП, $y_{ij} = 0$ в противном случае.

Таким образом, вербальная постановка задачи оптимизации программ контроля технического состояния ОПО формулируется следующим образом: требуется выбрать (определить) такой вариант программы контроля надежности и безопасности технического состояния объекта, который с учетом ситуационных особенностей планируемого периода эксплуатации обеспечит минимум суммарных затрат на ее реализацию и устранение последствий аварий, при заданных временных ограничениях и показателях приемлемого риска.

Математическая постановка задачи может быть записана в виде:

Найти $X_{(n \times m)} = \|x_{ij}\|_{(n \times m)}$

$$\text{из условия} \quad C_k(x_{ij}) + R(x_{ij}) \rightarrow \min_{x \in \Delta}, \quad (2)$$

$$\text{при ограничениях: 1. } P(x_{ij}) \geq P^{\text{TP}}; \quad (3)$$

$$2. T(x_{ij}) \leq T^{\text{ДР}}; \quad (4)$$

$$3. \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot z_{ij}(x_{ij}) \leq D^{\text{доп}}; \quad (5)$$

$$4. \sum_{i=1}^n z_{ij}(x_{ij}) \leq 1 \forall j = 1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

$$5. z_{ij} \leq y_{ij} x_{ij}, x_{ij} = \{0, 1\}, y_{ij} = \{0, 1\} \forall i = 1, 2, \dots, n; \forall j = 1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

где x_{ij} - параметры оптимизации, представляющие собой булевы

переменные, принимающие значение $x_{ij} = 1$, если данный прибор включен в комплект КИА и $x_{ij} = 0$ в противном случае, т.е.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й прибор включен в комплект КИА;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (8)$$

Соответственно,

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если возможен контроль } i\text{-го параметра } j\text{-м прибором;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (9)$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й параметр контролируется } j\text{-м прибором;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (10)$$

Функция (2) представляет собой целевую функцию (ЦФ), а совокупность ограничений (3) – (7) определяет область допустимых значений x_{ij} . Условие (3) задает ограничения на показатели безопасности ОПО, ограничение (4) ограничивает суммарное время выполнения всех контрольно-профилактических мероприятий безопасности (КПМБ), а ограничение (5) - задает требования по достоверности контроля технического состояния ОПО. Соответственно, из условия (6) следует, что каждый параметр контролируется только одним прибором, а условие (7) устанавливает требование, что i -й параметр может контролироваться j -м КИП только при условии, что прибор включен в комплект ($x_{ij} = 1$) и технически возможен контроль этого параметра ($y_{ij} = 1$).

Множество решений задачи оптимизации, удовлетворяющих ограничениям (3) – (7), представляет собой матрицу

$$X^* = \|x_{ij}\|_{(n \times m)} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

являющуюся по сути программой контроля ТС, устанавливающей множество проводимых проверок с соответствующим набором технических средств диагностирования (ТСД), позволяющей с заданной достоверностью идентифицировать фактическое техническое состояние ОПО.

Представленная задача оптимизации (2) – (7) в общем случае относится к классу задач нелинейного программирования с булевыми переменными, которые требуют разработки специальных алгоритмических методов для

своего решения, учитывающие специфические особенности и конечную мощность множества допустимых решений. Из алгоритмических методов, обеспечивающих нахождение точного решения общих задач (2) – (7), наибольшее распространение получили метод ветвей и границ и метод динамического программирования [3].

На практике, в рамках задач данного класса важное место, с точки зрения системного анализа и моделирования опасных процессов в техносфере, занимает подкласс задач оптимизации с булевыми переменными, так как для нахождения точного решения с успехом может применяться доступная и получившая широкое распространение программа MSExcel.

Для того, чтобы свести общую задачу дискретной оптимизации (2) – (7), к задаче булева линейного программирования с ограничениями типа неравенств, необходимо целевую функцию (2), ограничение (3), привести к аддитивной форме, т.е. к линейной функции от параметров оптимизации [3].

После проведенной модификации задача оптимизации (2) – (7) может быть записана в виде задачи линейного программирования с булевыми переменными.

Математическая постановка задачи имеет следующий вид:

$$\text{Найти } X_{(n \times m)} = \| x_{ij} \|_{(n \times m)}$$

из условия

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot x_{ij} + C^Y \cdot \sum_{i=1}^n \left[Q_{0i} - \sum_{j=1}^m (1 - \beta_{ij}) \cdot \Delta q_{ij} \cdot x_{ij} \right] \rightarrow \min_{x \in \Delta} \quad (12)$$

при ограничениях: 1. $\sum_{i=1}^n \left[Q_{0i} - \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \cdot \Delta q_{ij} \cdot x_{ij} \right] \leq Q^{\text{TP}}; \quad (13)$

$$2. \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot x_{ij} \leq T^{\text{ДП}}; \quad (14)$$

$$3. \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot z_{ij} \leq D^{\text{доп}}; \quad (15)$$

$$4. \quad \sum_{i=1}^n z_{ij} \leq 1 \quad \forall j=1, 2, \dots, m; \quad (16)$$

$$5. \quad z_{ij} \leq y_{ij} x_{ij}, x_{ij} = \{0, 1\}, y_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i=1, 2, \dots, n; \quad \forall j=1, 2, \dots, m, \quad (17)$$

где: x_{ij} - параметры оптимизации, представляющие собой булевы переменные, принимающие значение $x_{ij}=1$, если данный прибор включен в комплект КИА и $x_{ij}=0$ в противном случае; C_{ij} , τ_{ij} - соответственно, стоимость и время контроля ТС i -го элемента (параметра) системы при применении j -го комплекта КИА; C^Y - стоимость ущерба при аварийных отказах; $(1-\beta_{ij})$ - вероятность обнаружения и устранения предпосылки (опасного дефекта) при контроле ТС i -го элемента (параметра) j -м комплектом КИА.

Статья №2 Известия ВА РБСН Оптимизация прогн

ФАЙЛ

ГЛАВНАЯ

ВСТАВКА

РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ

ФОРМУЛЫ

ДАННЫЕ

РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

ВИД

РАЗРАБОТЧИК

Вставить

Вырезать

Копировать

Формат по образцу

Буфер обмена

Times New Ro

11

A

A

Ж

К

Ч

Шрифт

Перенести текст

Объединить и поместить в центре

Выравнивание

Общий

%

0,000

Число

Условное форматирование

Форматировать как таблицу

N10

:

X

✓

f_x

=1-M10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	Задача оптимизации программы контроля технического состояния РВО с учетом требований безопасности																
2																	
3																	
4		Исходные данные						Показатели безопасности					Результаты моделирования				
5		Стоимость реализации программы контроля					Целевая функция					Ущерб	Q0	Pтр	Qтр	ΔQтри	
6		5	17	29	53		454,4299				7950	0,12	0,999	0,001	0,119		
7		7	28	43	65						4760	0,1	0,999	0,001	0,099		
8		12	23	45	97						93400	0,19	0,999	0,001	0,189		
9		21	35	59	186						25270	0,12	0,999	0,001	0,119		
10		2	17	51	126						97790	0,172	0,999	0,001	0,171		
11											Результаты расчетов (суммарные значения)				0,697		
12		Время проведения проверки ТС РМК					Расчетное T(x)										
13		16	17	23	54		231				ΔQi(x)	Qi(x)	Ri(x)	Ti(x)	Ci(x)		
14		7	12	27	47		Tдоп				0,119388	0,000612	4,864923	54	53		
15		9	13	21	39		320				0,098703	0,001297	6,17372	27	43		
16		13	9	15	67						0,189829	0,000171	15,96998	39	97		
17		2	11	21	96						0,118444	0,001556	39,33023	15	59		
18											0,171897	0,000103	10,09109	96	126		
19		Показатели достоверности результатов контроля										0,69826	0,00374	76,42994	231	378	
20		0,985	0,989	0,992	0,995												
21		0,989	0,995	0,997	0,9978												
22		0,983	0,995	0,99	0,9992						Pтр=	Qтр=	C(x)=	R(x)=	CΣ(x)=	T(x)=	
23		0,981	0,993	0,997	0,9987						0,99	0,01	318	120,68	438,68	180	
24		0,978	0,9919	0,9921	0,9995						0,991	0,009	318	120,68	438,68	180	
25											0,992	0,008	330	87,0189	417,0189	193	
26		Показатели эффективности программы контроля										0,993	0,007	330	87,0189	417,0189	193
27		0,1116	0,114	0,1188	0,119988						0,994	0,006	330	87,0189	417,0189	193	
28		0,093	0,095	0,099	0,09999						0,995	0,005	330	87,0189	417,0189	193	
29		0,1767	0,1805	0,1881	0,189981						0,996	0,004	330	87,0189	417,0189	193	
30		0,1116	0,114	0,1188	0,119988						0,997	0,003	330	87,0189	417,0189	193	
31		0,15996	0,1634	0,17028	0,171983						0,998	0,002	354	88,66	443,66	200	
32											0,999	0,001	378	76,43	455,43	231	
33		Показатели эффективности и достоверности ПК					Расчетное ΔQ(x)										
34		0,109926	0,112746	0,11785	0,119388		0,69826				0,9992	0,0008	378	76,43	455,43	231	
35		0,091977	0,094525	0,098703	0,09977		ΔQтр				0,9993	0,0007	400	71,35	472,35	251	
36		0,173696	0,179598	0,186219	0,189829		0,697				0,9994	0,0006	400	71,35	472,35	251	
37		0,10948	0,113202	0,118444	0,119832						0,9995	0,0005	505	41,34	547,34	283	
38		0,156441	0,162076	0,168935	0,171897						0,9996	0,0004	527	36,3	564,3	303	
39											0,9997	0,0003	527	36,3	564,3	303	

Рисунок 1 - Фрагмент листинга с исходными данными и результатами решения задачи оптимизации

Физический смысл отдельных слагаемых ЦФ и ограничений, заключается в следующем:

$$C_k(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot x_{ij} - \text{стоимость программы контроля ТС ОПО};$$

$$R(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n C_{ij}^Y \cdot Q_i(x_{ij}) = C_{ij}^Y \sum_{i=1}^n \left[Q_{0i} - \sum_{j=1}^m (1 - \beta_{ij}) \cdot \Delta q_{ij} \cdot x_{ij} \right] - \text{показатели риска аварии ОПО (например, математическое ожидание экологического ущерба);}$$

$$Q_i(x_{ij}) = Q_{0i} - \sum_{j=1}^m (1 - \beta_{ij}) \cdot \Delta q_{ij} \cdot x_{ij} - \text{вероятность отказа } i\text{-го элемента после проведения КПМБ с применением } j\text{-го комплекта КИА};$$

$$T_k(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tau_{ij} \cdot x_{ij} - \text{суммарное время реализации программы контроля ТС};$$

z_{ij}, y_{ij} - булевы переменные, определяемые согласно формул (10) и (11).

Результаты решения задачи оптимизации (12) – (17), полученные с помощью MSExcel и представленные на рис. 1 и 2, подтвердили чувствительность модели к исходным данным, ее адекватность и широкие адаптационные возможности с точки зрения управления эксплуатацией ОПО.

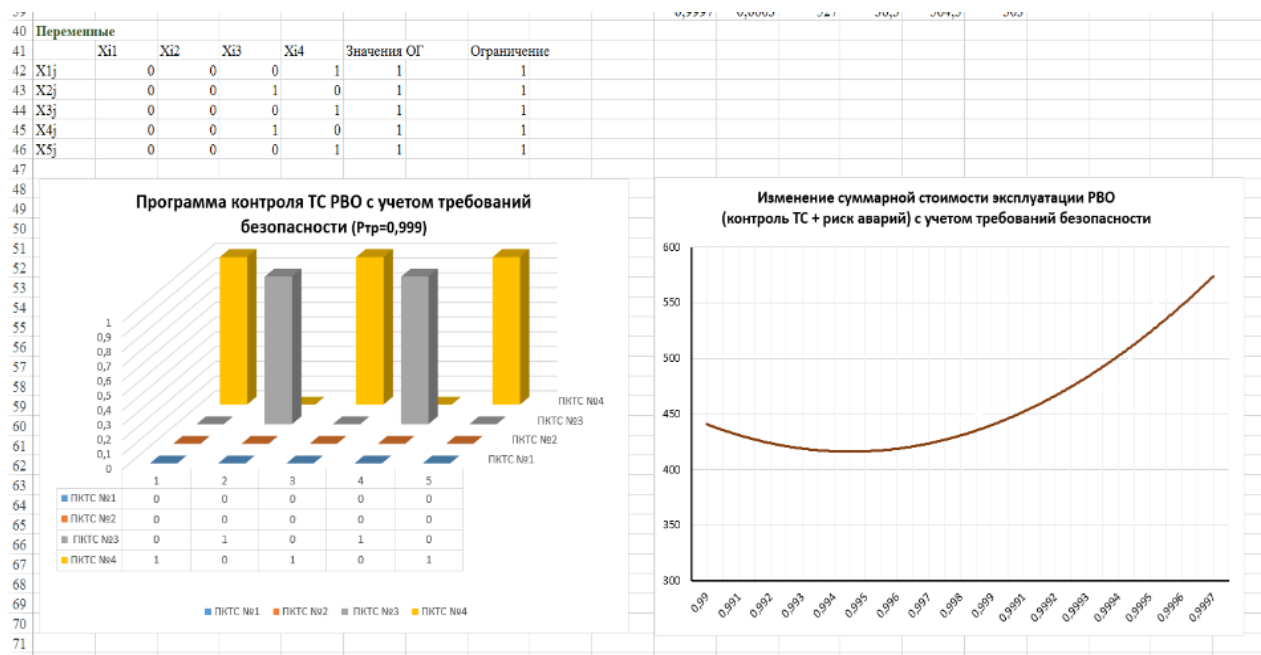


Рисунок 2 - Графическое представление результатов оптимизации программы контроля технического состояния ОПО

Таким образом, сформулированная задача оптимизации, разработанная математическая модель и модифицированный метод ее решения позволяют прогнозировать экологические риски и принимать рациональные решения с учетом как ресурсных ограничений, так и эффективности имеющихся средств диагностирования признаков опасности. При этом многие задачи управления эксплуатацией ОПО могут

быть сведены к задаче оптимизации с булевыми переменными, что значительно расширяет область их практического применения при управлении сложными системами и процессами. Для их решения могут применяться общедоступные и широко распространенные программы MATLAB, MathCAD и MS Excel, что значительно повышает их практическую ценность из-за широкой аудитории пользователей, знакомых с ней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. Надежность машин. Т. IV-3 / В.В. Ключев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин и др. – М.: Машиностроение. 2001. – 592 с.
2. Техническая диагностика: Справочник // Надежность и эффективность в технике. Т.9 / Под ред. В.В. Ключева, П.П. Пархоменко. – М.: Машиностроение, 1987, 352 с.
3. Майструк А.В. Дис. д-ра техн.наук: 20.02.17. – М.: ВА РВСН, 2007, 630 с.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

TASK OF LOCAL OPTIMIZATION OF STOCKS OF CRITICAL ITEMS TAKING INTO ACCOUNT SAFETY REQUIREMENTS

A.V. Mastruk^{1, 2}, S.V. Parfenov¹

¹E.K. Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

ABSTRACT

A mathematical model of a local optimization problem for stocks of critical items in group sets of spare parts and accessories is considered. Under sanctions restrictions, this is one of the important tasks for ensuring the reliability and safety of hazardous production facilities in conditions of limited opportunities for replenishment.

Keywords: reliability, safety, spare parts and accessories, failure, forecasting, elements of critical nomenclature, technological set-up, hazardous industrial object, complicated technical system, aging, exploitation

ЗАДАЧА ЛОКАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПАСОВ ЭЛЕМЕНТОВ КРИТИЧНОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Майструк^{1, 2}, С.В. Парфенов¹

¹Институт прикладной геофизики имени Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

²Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Рассматривается математическая модель локальной задачи оптимизации запасов элементов критичной номенклатуры групповых комплектов запасных частей и принадлежностей, являющейся, в условиях санкционных ограничений, одной из важных задач обеспечения надежности и безопасности опасных производственных объектов в условиях ограниченных возможностях для их восполнения.

Ключевые слова: надежность, безопасность, запасные части и принадлежности (ЗИП), отказ, прогнозирование, элементы критичной

номенклатуры, технологическая установка, опасный производственный объект (ОПО), сложная техническая система, старение, эксплуатация

Локальной задачей оптимизации запасов элементов критичной номенклатуры (ЭКН) будем называть задачу, в которой учитываются только стоимостные показатели запасных элементов (приборов, блоков, узлов, электронных плат и т.п.) и не учитываются экономические расходы системы эксплуатации технологических установок (ТУ) производственной линии, обслуживаемых комплектом ЗИП в целом. При этом производственную линию будем рассматривать как сложную техническую системы (СТС), технологические установки – подсистемы. Под элементами критичной номенклатуры будем понимать элементы структурной схемы надежности и безопасности (ССНБ) технологических установок, отказы которых являются опасными (аварийными).

Актуальность рассмотрения такой задачи вызывается тем, что она есть, во-первых, составная часть общей задачи, и, во-вторых, сама по себе дает хорошее приближенное решение последней, если невелика стоимость элементов или весьма ограничены логистические и финансовые возможности их приобретения (например, поставки по импорту в условиях санкционных ограничений).

Локальная задача оптимизации запасов элементов критичной номенклатуры разного типа (номенклатуры) и, следовательно, различных логистических возможностей, стоимости и сроков поставок (периодов пополнения запасов) сводится к следующей[4]: найти такие уровни запасов элементов типа m_g , обеспечивающие максимум вероятности их достаточности для обеспечения требуемых показателей безопасности (вероятности удовлетворения спроса по первому требованию) при условии, что общая стоимость ЗИП-Г не превысит значения C_0 .

Очевидно, что систему элемент ТУ - запасные элементы можно рассматривать как систему со скользящим ненагруженным резервом. При этом будем предполагать независимость отказов элементов и экспоненциальные распределения наработки до отказов с параметрами λ_g . В стационарном периоде эксплуатации ТУ на достаточно большом участке наработки предположение, что опасность отказов детали $\lambda_g = \text{const}$, является правомочным. Тогда вероятность удовлетворения спроса на элементы типа g будут определяется формулой:

$$P_g(m_g, t_g) = \sum_{k=0}^{m_g} \frac{(n_g \lambda_g t_{pg})^k}{k!} \exp\{-(n_g \lambda_g t_{pg})\}, \quad (1)$$

Вероятность удовлетворения спроса по всем типам элементов $g = \overline{1, s}$

$$P_c(m_g, t_3) = \prod_{g=1}^s \sum_{k=1}^{m_g} \frac{\Lambda_g^k}{k!} \exp\{-\Lambda_g\} = \sum_{k=1}^{m_g} \frac{\Lambda_g^k}{k!} e^{-\Lambda_g}, \quad (2)$$

где t_3 - плановый (расчётный) период эксплуатации технологических установок, соответствующий финансированию C_0 (обычно объем финансирования планируется один год); $\Lambda_g = n_g \lambda_g t_{pg}$; n_g, t_{pg} - соответственно общее число элементов критической номенклатуры в составе ТУ и плановый период пополнения запаса.

Следовательно, нам необходимо найти такой набор значений m_g , который обеспечивает $\max P_c(m_g, t_3)$ при условии $\sum_{g=1}^s m_g C_g \alpha_g \leq C_0$, где C_g - стоимость одного элемента ЗИП g -го типа; $\alpha_g = t_3 / t_{pg}$ - коэффициент характеризующий соотношение периодов финансирования и поставок элементов ЗИП. Например, финансирование планируется на год, а принятая стратегия пополнения запасов, предполагает периодичность поставок - 2 раза в год.

В ряде случаев в стоимость C_g целесообразно включать также расходы на ее транспортирование, хранение, проверку и замену отказавших элементов.

Как известно [2, 4], в предположении, что максимум $P_c(m_g, t_3)$ находится на границе заданной области, эта задача сводится к решению системы из $(n+1)$ уравнений с $(n+1)$ неизвестными $m_1, m_2, \dots, m_s, \delta$:

$$\frac{\partial}{\partial m_g} \left[\sum_{g=1}^s \ln \sum_{k=1}^{m_g} \frac{\Lambda_g^k}{k!} e^{-\Lambda_g} - \delta \left(\sum_{g=1}^s m_g C_g \alpha_g - C_0 \right) \right] = 0, \quad (3)$$

где δ - множитель Лагранжа.

При этом предполагается, что максимум целевой функции (ЦФ) находится на границе, т.е. $\sum_{g=1}^s m_g C_g \alpha_g - C_0 = 0$. Учитывая, что

$$\sum_{g=1}^s \ln \sum_{k=0}^{m_g} \frac{\Lambda_g^k}{k!} e^{-\Lambda_g} = - \sum_{g=1}^s \Lambda_g + \sum_{g=1}^s \ln \sum_{k=0}^{m_g} \frac{\Lambda_g^k}{k!}, \quad (4)$$

а m_g могут принимать только целочисленные значения, частные производные уравнения (3) имеют вид:

$$\left(\sum_{k=0}^{m_g} \frac{\Lambda_g^k}{k!} \right)^{-1} \frac{\Lambda_g^{m_g}}{m_g!} - \delta C_g \alpha_g = 0., \quad (5)$$

Из этого уравнения следует найти зависимость $m_g = f(\delta, \Lambda_g, C_g, \alpha_g)$ и подставить ее в уравнение (3). В результате получим формулу для определения множителя Лагранжа: $\delta = f(C_0, \Lambda_g, C_g, \alpha_g)$. При известном множителе δ нетрудно вычислить значения запасов m_g , удовлетворяющие условиям задачи.

Однако найти в явном виде точную зависимость $m_g = f(\delta, \Lambda_g, C_g, \alpha_g)$ из уравнения (5) невозможно, поэтому, в частных случаях, может использоваться графический метод решения задачи путем последовательных вычислений оптимальных точек $P_c^*(m_g, t_g) = f\left(\sum_{g=1}^s m_g C_g \alpha_g\right)$. Однако, на практике, этот метод редко применяется из-за сложности алгоритма и громоздкости вычислений, особенно при больших значениях Λ_g .

С учетом развития информационных технологий (ЭВМ) для решения данного класса задач используются численные методы [4]. В частности, применительно к опасным производственным объектам, где общая вероятность удовлетворения требований на запасные части должна быть не ниже $P_c(m_g, t_g) \geq 0.9$, то практически всегда выполняется условие:

$$\max_{1 \leq g \leq s} [1 - P_g(m_g, t_{pg})] \leq \frac{1}{s}. \quad (6)$$

В этом случае можно использовать метод, основанный на равенстве [3]:

$$P_g(m_g, t_{pg}) \approx 1 - [1 - P_c(m_g, t_g)] C_g \alpha_g / \sum_{g=1}^s C_g \alpha_g. \quad (7)$$

Уравнение (7) определяет такое соотношение между вероятностями достаточности каждого типа элементов, которое при заданной общей вероятности удовлетворения спроса на элементы любого типа $P_c(m_g, t_g)$ обеспечивает минимум суммарной стоимости запаса элементов C_0 .

Оптимальные запасы m_g каждого типа элементов находят по полученным значениям $P_g(m_g, t_g)$ с помощью формулы (1) или, при $n_g \lambda_g t_{pg} > 4$, с достаточной точностью можно использовать приближенную формулу:

$$P_g(m_g, t_{ng}) \approx \Phi \left(\frac{m_g + 0,5 - n_g \lambda_g t_{ng}}{\sqrt{n_g \lambda_g t_{ng}}} \right), \quad 8)$$

где $\Phi(u)$ - интегральная функция нормального распределения.

Решение задачи оптимизации по критерию $\max P_c(m_g, t_g)$ при $\sum_{g=1}^s m_g C_g \alpha_g \leq C_0$ достигается одним из итерационных методов. При этом первоначально задаются минимально допустимым значением вероятности удовлетворения спроса $P_{c1}(m_g, t_g)$ и вычисляют соответствующие этой вероятности оптимальные значения m_g и $C_{\Sigma 1} = \sum_{g=1}^s m_g C_g \alpha_g$.

Если $C_{\Sigma 1} < C_0$, принимают $P_{c1}(m_g, t_g) > P_{c2}(m_g, t_g)$ и повторяют вычисления. Каждый очередной шаг вычислений проводят, ориентируясь на соотношение $C_{\Sigma k}$ и C_0 , до тех пор пока не достигнут значения $C_{\Sigma k} \approx C_0$. Точное равенство редко достижимо из-за требования целочисленных значений m_g .

В случае, когда в результате округления m_{0g} возникает неприемлемая разница $\Delta = C_0 - \sum_{g=1}^s m_{0g} C_g \alpha_g$, то решение следует улучшить за счет элементов, имеющими наибольший коэффициент запаса в пользу элементов с наименьшим коэффициентом. Естественно, необходимо учитывать и стоимость ЭКН.

Пример 1. Производственная линия включает $N = 5$ технологических установок, в составе которых имеются ЭКН типа: $z_1 = 2$, $z_2 = 4$, $z_3 = 6$, $z_4 = 1$.

Интенсивность отказов ЭКН (1/тыс.ч):

$$\lambda_1 = 0,5; \lambda_2 = 0,3; \lambda_3 = 0,2; \lambda_4 = 2,0.$$

Закупочная стоимости элемента g -ой номенклатуры: $C_1 = 0,02$; $C_2 = 0,04$; $C_3 = 0,06$; $C_4 = 0,01$ (у.е.). Календарные периодичности поставок ЗИП t_g (год): $t_1 = 0,5$; $t_2 = 1,0$; $t_3 = 1,0$; $t_4 = 0,5$, т.е. коэффициенты $\alpha_1 = 2$; $\alpha_2 = 1$; $\alpha_3 = 1$; $\alpha_4 = 2$. Коэффициент технического использования ТУ $K_n = 0,57$.

Требуется рассчитать оптимальные уровень запасов четырех типов элементов $s = 4$ гарантирующие максимум вероятности их достаточности t_n при условии, что суммарная закупочная стоимость запасов будет не больше $C_0 = 5,4$ (у.е.).

Решение. Рассчитаем суммарное количество ЭКН каждого типа по формуле $n_g = z_g N$ (шт.):

$$n_1 = z_1 N = 10; \quad n_2 = z_2 N = 20; \quad n_3 = z_3 N = 30; \quad n_4 = z_4 N = 5.$$

Периодичность поставок запасных ЭКН, приведенная к наработке $t_{pg} = K_n t_g$ (тыс. ч), равна:

$$t_{p1} = t_{p4} = 0,57 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 0,5 \approx 2,5; \quad t_{p2} = t_{p3} = 0,57 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 1,0 \approx 5,0.$$

Определяем оптимальные значения вероятности запасных ЭКН каждого типа при минимально допустимой общей вероятности удовлетворения спроса $P_c(m_g, t_g) = 0,8$. По формуле (7) имеем:

$$P_{11}(m_1, t_{p1}) \approx 1 - \frac{(1 - 0,8) \cdot 0,02 \cdot 2}{0,16} = 0,95;$$

$$P_{21}(m_2, t_{p2}) \approx 1 - \frac{(1 - 0,8) \cdot 0,04 \cdot 1}{0,16} = 0,95;$$

$$P_{31}(m_3, t_{p3}) \approx 1 - \frac{(1 - 0,8) \cdot 0,06 \cdot 1}{0,16} = 0,925; \quad P_{41}(m_4, t_{p4}) \approx 1 - \frac{(1 - 0,8) \cdot 0,01 \cdot 2}{0,16} = 0,975$$

Проверка допустимости применения формулы (6):

$$\max_{1 \leq g \leq s} [1 - P_g(m_g, t_{pg})] \leq \frac{1}{s} \Rightarrow \max_{1 \leq g \leq 4} [1 - P_g(m_g, t_{pg})] = [1 - P_{31}(m_3, t_{p3})] = 0,075 \leq 1/4$$

,
т.е. условия применимости метода приближенного расчета выполняется.

Из формулы (8) используя таблицу нормального распределения, или встроенный функции системы Mathcad находим запасы элементов каждого типа, соответствующие полученным вероятностям их достаточности:

$$\Phi_{11} \left(\frac{m_{11} + 0,5 - 10 \cdot 0,5 \cdot 2,5}{\sqrt{10 \cdot 0,5 \cdot 2,5}} \right) = \left(\frac{m_{11} - 12,0}{\sqrt{12,5}} \right) = 0,95; \quad m_{11} \approx 19;$$

$$\Phi_{21} \left(\frac{m_{21} + 0,5 - 20 \cdot 0,3 \cdot 5}{\sqrt{20 \cdot 0,3 \cdot 5}} \right) = \left(\frac{m_{21} - 29,5}{\sqrt{30}} \right) = 0,95; \quad m_{21} \approx 39;$$

$$\Phi_{31} \left(\frac{m_{31} + 0,5 - 30 \cdot 0,25 \cdot 5}{\sqrt{30 \cdot 0,25 \cdot 5}} \right) = \left(\frac{m_{31} - 37}{\sqrt{30}} \right) = 0,95; \quad m_{31} \approx 37;$$

$$\Phi_{41} \left(\frac{m_{41} + 0,5 - 5 \cdot 2 \cdot 2,5}{\sqrt{5 \cdot 2 \cdot 2,5}} \right) = \left(\frac{m_{41} - 24,5}{\sqrt{25}} \right) = 0,975; \quad m_{41} \approx 34.$$

$$\text{Суммарная стоимость элементов на год } C_{\Sigma 1} = \sum_{g=1}^4 m_g C_g \alpha_g = 5,22 \text{ (y.e.)}.$$

Поскольку $C_{\Sigma 1} \leq C_0$, принимаем $P_{c2}(m_g, t_g) = 0,9$. Повторяя расчеты для значения $P_{c2}(m_g, t_g)$, находим:

$$P_{12}(m_1, t_{p1}) = 0,975; P_{22}(m_2, t_{p2}) = 0,975; P_{32}(m_3, t_{p3}) = 0,962;$$

$$P_{42}(m_4, t_{p4}) = 0,987,$$

$$\text{и } m_{12} \approx 19; m_{22} \approx 40; m_{32} \approx 39; m_{42} \approx 36; C_{\Sigma 2} = 5,42 \text{ (y.e.)}.$$

Так как $C_{\Sigma 2} > C_0$, то для следующего этапа принимаем $P_{c3}(m_g, t_g) = 0,89 < P_{c2}(m_g, t_g)$ и при этом получаем:

$$P_{13}(m_1, t_{p1}) = 0,972; P_{23}(m_2, t_{p2}) = 0,972; P_{33}(m_3, t_{p3}) = 0,958; P_{43}(m_4, t_{p4}) = 0,986$$

;

$$m_{13} \approx 19; m_{23} \approx 40; m_{33} \approx 39; m_{43} \approx 35; C_{\Sigma 3} = 5,4 \approx C_0 \text{ (y.e.)}$$

Очевидно, что в процессе решения m_g необходимо округлять до ближайшего целого значения. Следовательно, фактические значения $P_g(m_g, t_{pg})$ несколько отличаются от исходных. По таблице нормального распределения в итоге находим:
 $P_1 = 0,975; P_2 = 0,972; P_3 = 0,958; P_4 = 0,982.$

Вероятность обеспеченности запасными элементами по всей номенклатуре:

$$P_c = \prod_{g=1}^4 P_g(m_g, t_{pg}) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 = 0,892.$$

Следующий шаг расчета приводит к суммарной стоимости, равной $5,54 > C_0$.

Верификация результатов моделирования (рис. 1 и 2) подтвердили эффективность предложенного подхода, корректность математической модели, с точки зрения обеспечения необходимой точности сходимости результатов решений, получаемых посредством компьютерного моделирования.

Таким образом, сравнивая результаты графо-аналитического моделирования, приведенные на рис. 1 и 2, можно заключить, что подтверждаются работоспособность и эффективность разработанного математического аппарата, обеспечивающего заданную точность результатов расчетов, практическую значимость и его предпочтительность, с точки зрения простоты алгоритма расчета.

Листинг решения локальной задачи оптимизации комплектов ЗИП-Г с применением программного комплекса Mathcad 15

Исходные данные: $s := 4$ $C0 := 5,4$ $N := 5$ $Kи := 0.57$ $Tэ := 365 \cdot 24$ $g := 1..4$ $Pсгp := 0.8$
 $mg := 1..100$

Первый итерационный шаг поиска решения

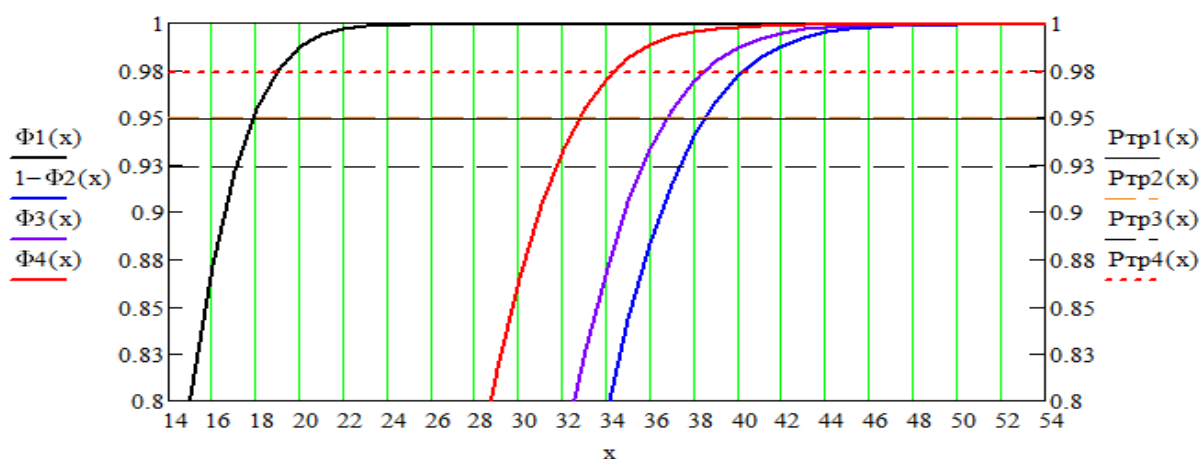
$$\begin{aligned} \text{ORIGIN} &:= 1 & n_g &= Zg \cdot N & tp_g &= t_g \cdot Kи & tp &= t \cdot (Kи \cdot 365 \cdot 24) \cdot 1000^{-1} \\ Z &:= \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \\ 1 \end{pmatrix} & \lambda &:= \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.3 \\ 0.19 \\ 2 \end{pmatrix} & C &:= \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.04 \\ 0.06 \\ 0.01 \end{pmatrix} & t &:= \begin{pmatrix} 0.5 \\ 1 \\ 1 \\ 0.5 \end{pmatrix} & \alpha &:= \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} & n &:= Z \cdot N \rightarrow \begin{pmatrix} 10 \\ 20 \\ 30 \\ 5 \end{pmatrix} \\ tp &:= [t \cdot (Kи \cdot 365 \cdot 24) \cdot 1000^{-1}] \rightarrow \begin{pmatrix} 2.5 \\ 5 \\ 5 \\ 2.5 \end{pmatrix} & C\Sigma &:= C \cdot \alpha & C\Sigma &= 0.16 & C_1 &:= (C^T)^{\langle 1 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 1 \rangle} \rightarrow 0.04 \\ C_2 &:= (C^T)^{\langle 2 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 2 \rangle} \rightarrow 0.04 & C_3 &:= (C^T)^{\langle 3 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 3 \rangle} \rightarrow 0.06 & C_4 &:= (C^T)^{\langle 4 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 4 \rangle} \rightarrow 0.02 \\ Pg1 &:= 1 - \frac{(1 - Pсгp) \cdot (C^T)^{\langle 1 \rangle}}{C\Sigma} \rightarrow (0.95) & Pg2 &:= 1 - \frac{(1 - Pсгp) \cdot (C^T)^{\langle 2 \rangle}}{C\Sigma} \rightarrow (0.95) \\ Pg3 &:= 1 - \frac{(1 - Pсгp) \cdot (C^T)^{\langle 3 \rangle}}{C\Sigma} \rightarrow (0.925) & Pg4 &:= 1 - \frac{(1 - Pсгp) \cdot (C^T)^{\langle 4 \rangle}}{C\Sigma} \rightarrow (0.975) \\ \max[(1 - Pg1), (1 - Pg2), (1 - Pg3), (1 - Pg4)] &\rightarrow 0.075 & Pc &:= Pg1 \cdot Pg2 \cdot Pg3 \cdot Pg4 = 0.814 \\ u1(x) &:= \frac{x + 0.5 - \left[(n^T)^{\langle 1 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 1 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 1 \rangle} \right]}{\sqrt{\left[(n^T)^{\langle 1 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 1 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 1 \rangle} \right]}} & u2(x) &:= \left[\frac{x + 0.5 - \left[(n^T)^{\langle 2 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 2 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 2 \rangle} \right]}{\sqrt{\left[(n^T)^{\langle 2 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 2 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 2 \rangle} \right]}} \right] \\ u3(x) &:= \left[\frac{x + 0.5 - \left[(n^T)^{\langle 3 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 3 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 3 \rangle} \right]}{\sqrt{\left[(n^T)^{\langle 3 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 3 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 3 \rangle} \right]}} \right] & u4(x) &:= \left[\frac{x + 0.5 - \left[(n^T)^{\langle 4 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 4 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 4 \rangle} \right]}{\sqrt{\left[(n^T)^{\langle 4 \rangle} \right] \cdot \left[(\lambda^T)^{\langle 4 \rangle} \right] \cdot \left[(tp^T)^{\langle 4 \rangle} \right]}} \right] \\ x &:= 0..60 & Pгp1(x) &:= 0.95 & Pгp2(x) &:= 0.951 & Pгp3(x) &:= 0.925 & Pгp4(x) &:= 0.975 \end{aligned}$$

Определяем количество ПКН каждого типа, соответствующее полученным вероятностям их достаточности

$$\begin{aligned} \Phi1(x) &:= \text{snorm}(u1(x)) & \Phi2(x) &:= 1 - \text{snorm}(u2(x)) & \Phi3(x) &:= \text{snorm}(u3(x)) & \Phi4(x) &:= \text{snorm}(u4(x)) \\ m11 &= (mg^{\text{опт}}) = 18 & m21 &= (mg^{\text{опт}}) = 38 & m31 &= (mg^{\text{опт}}) = 37 & m41 &= (mg^{\text{опт}}) = 33 \end{aligned}$$

Рисунок 1 - Листинг решения локальной задачи оптимизации комплектов ЗИП с применением программного комплекса, MathCAD 15

Графики определения оптимальных запасов ПКН ЗИП-Г гарантирующие максимум вероятности их достаточности при ограничениях по суммарной стоимости



$$\text{mg} := \begin{pmatrix} 18 \\ 38 \\ 37 \\ 33 \end{pmatrix} \quad C := \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.04 \\ 0.06 \\ 0.01 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} C1 &:= (\text{mg}^T)^{\langle 1 \rangle} \cdot (C^T)^{\langle 1 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 1 \rangle} & C2 &:= (\text{mg}^T)^{\langle 2 \rangle} \cdot (C^T)^{\langle 2 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 2 \rangle} \\ C3 &:= (\text{mg}^T)^{\langle 3 \rangle} \cdot (C^T)^{\langle 3 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 3 \rangle} & C4 &:= (\text{mg}^T)^{\langle 4 \rangle} \cdot (C^T)^{\langle 4 \rangle} \cdot (\alpha^T)^{\langle 4 \rangle} \end{aligned}$$

$$C1 = (0.72) \quad C2 = (1.52) \quad C3 = (2.22) \quad C4 = (0.66) \quad C\Sigma := (C1 \ C2 \ C3 \ C4)$$

Результаты решения задачи оптимизации на первом итерационном шаге

$$\sum C\Sigma \rightarrow (5.12) \quad C\Sigma \leq C0 = 5.4 \quad Pc := Pg1 \cdot Pg2 \cdot Pg3 \cdot Pg4 = 0.814$$

Рисунок 2 - Листинг графической иллюстрацией результатов решения локальной задачи оптимизации запасов ЭКН с применением MathCAD 15

Приведенные модели могут быть использованы для прогнозирования риска аварий с учетом надежности оборудования производственных объектов и эффективности системы обеспечения запасами ЗИП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1988. 392 с.
2. Вопросы математической теории надежности / Е.Ю. Барзилович, Ю.К. Беляев, В.А. Каштанов; Под ред. Б.В. Гнеденко. - М.: Радио и связь, 1983. 376 с.
3. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
4. Майструк А.В. Адаптивно-ситуационное управление безопасностью эксплуатации РК / Дис. д-ра техн. наук: 20.02.17. - М.: ВА РВСН, 2007.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

ASSESSMENT OF RELIABILITY AND SAFETY INDICATORS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS AT STAGES OF PHYSICAL AGING

A.V. Maistruk^{1,2}, S.V. Parfenov¹

¹E.K. Fedorov Institute of Applied Geophysics, Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

ABSTRACT

Statistical models are presented for analyzing the reliability and safety characteristics of complex technical systems at the final stage when the effects of physical aging begin to manifest themselves. The models presented can be used both to assess the impact of aging processes on the durability, safety, and economic efficiency of technical systems, and in tasks involving accident risk prediction and optimization (adaptation) of the operation system for potentially hazardous facilities.

Keywords: safety, failure rate, reliability, failure, forecasting, resource, complicated technical system, aging, exploitation

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПАХ ФИЗИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ

А.В. Майструк^{1,2}, С.В. Парфенов¹

¹Институт прикладной геофизики имени Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

²Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье приведены статистические модели анализа характеристик надежности и безопасности сложных технических систем (СТС) на завершающем этапе когда начинают сказываться эффекты старения. Приведенные модели могут быть использованы как для оценки влияния процессов старения на долговечность, безопасность и экономическую эффективность технических систем, так и в задачах и прогнозирования риска аварий и оптимизации (адаптации) системы эксплуатации потенциально опасных объектов

Ключевые слова: безопасность, интенсивность отказов, надежность, отказ, прогнозирование, ресурс, сложная техническая система, старение, эксплуатация

Изменения, происходящие в любом объекте в течение времени и приводящие к возможной потере его работоспособности, связаны с внешними и внутренними воздействиями на объект. Большое число элементов и систем длительного пользования подвержено усиливающемуся дестабилизационному влиянию факторов внешней среды. Воздействия факторов приводят к ухудшению начальных показателей работоспособности объектов и в итоге могут привести к опасному отказу.

На завершающем этапе функционирования в конструкции объекта происходит существенное накопление дефектов, повреждений, обусловленных старением материалов. Этот этап называют периодом старения.

В практике эксплуатации оборудования стоит задача определения момента, начиная с которого процессы старения приобретают катастрофический характер. Ввиду этого проблема старения оборудования и соответственно анализа характеристик надежности на завершающем этапе функционирования объектов приобретает все большую актуальность.

Наиболее информативной функцией, по виду которой можно судить о работоспособности оборудования, для невосстанавливаемых объектов является функция интенсивности отказов $\lambda(t)$, для восстанавливаемых - параметр потока отказов $\omega(t)$. Поведение функции интенсивности отказов в зависимости от времени изображают в виде кривой динамики интенсивности отказов [1, 2, 4].

При этом динамику функции интенсивности отказов можно представить в виде, изображенном на рис. 1, где полный эксплуатационный период условно разбит на четыре зоны [1]:

I - «приработки» и опытной эксплуатации;

II - «нормальной» эксплуатации в соответствии с требованиями нормативной и проектной документации;

III - «физического старения», характеризующаяся ростом интенсивности отказов, накопления различных дефектов в результате старения элементов системы;

IV - «прекращения» эксплуатации системы в «прежнем виде».

На рис. 1 показана средняя линия прогнозируемого поведения интенсивности отказов и две крайние (пессимистический - прогноз 1 и оптимистический - прогноз 2), а также отмечен начальный уровень надежности, характерный для совокупности объектов, прошедших период приработки. Отмечены также контрольный $\lambda_k(t)$ и предельный $\bar{\lambda}_{пр}(t)$ уровни надежности.

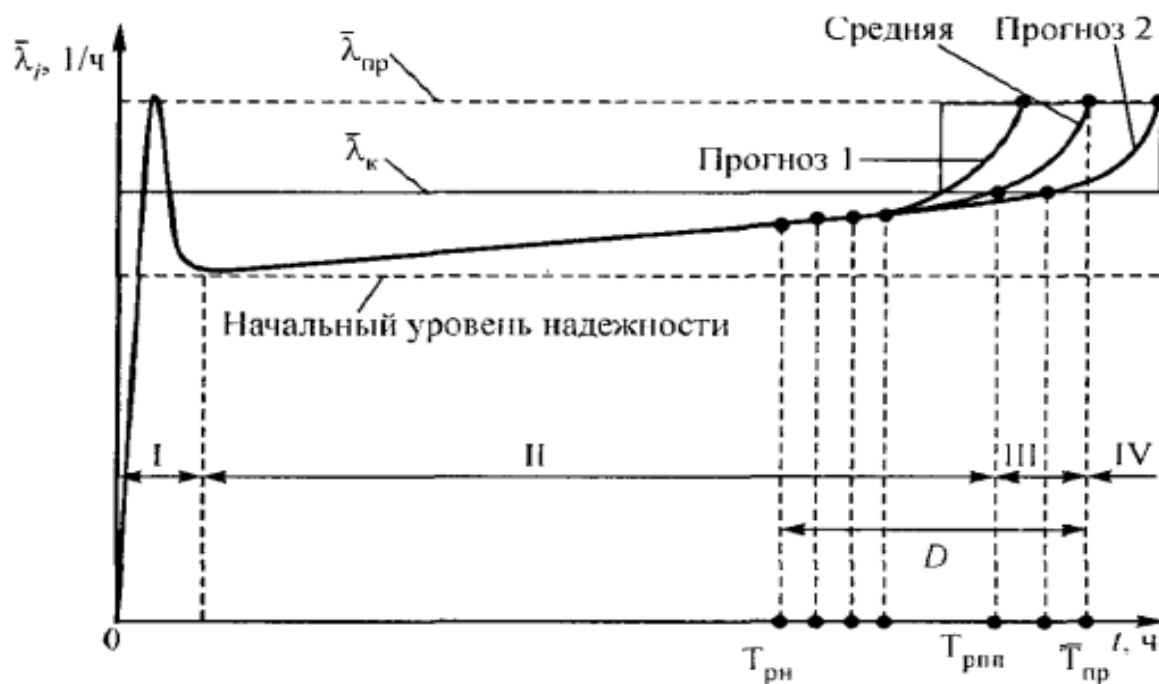


Рисунок 1 - Теоретическое изменение $\bar{\lambda}_i(t)$ при полном эксплуатационном периоде и определение зоны прогнозов по остаточному ресурсу

На рисунке также отмечены $T_{рн}$ - наработка, характеризующая приближение объекта к контрольному уровню; $T_{рпп}$ - предупредительная наработка, при ее достижении объект начинает интенсивно стареть; $T_{пр}$ - предельная наработка, при ее достижении объект необходимо выводить из эксплуатации.

Контрольный уровень характеризует наработку объекта, выработав которую объект начинает интенсивно стареть. Иными словами, в объекте начинают интенсивно развиваться необратимые процессы накопления повреждений. При этом предельный уровень характеризует наработку, за пределами которой эксплуатация объекта нецелесообразна. Поскольку в процессе эксплуатации решается задача прогнозирования динамики интенсивности отказов как статистическая задача, основанная на обработке эксплуатационной информации, то, следовательно, прогноз имеет некоторый разброс, обусловленный точностью статистического расчета.

Исходя из вышеизложенного, для оценки влияния процессов старения на долговечность, безопасность и экономическую эффективность оборудования сложных технических систем (СТС) необходимо решить задачу нахождения аналитического вида кривой $\lambda(t)$, то есть разработать модели отражающую с заданной точностью поведение функции отказов.

Задача состоит в построении модели, описывающей поведение функции отказов, на основании которой можно было бы осуществлять

прогнозирование работоспособности объектов, а также принимать решение о прекращении эксплуатации объекта или о возможном продлении срока его использования по назначению, то есть в определении точки, характеризующей начало интенсивного старения, и построении прогнозирующей кривой, описывающей завершающий этап функционирования СТС.

Перейдем к описанию моделей, используемых для учета старения в работе оборудования. В качестве одной из возможных моделей рассмотрим модель, использующую законы распределения, у которых интенсивность отказов является функцией времени. Среди моделей, имеющих наибольшее употребление, отметим линейную и степенную модели интенсивности. Выбор типа модели зависит от характера функционирования объекта, типа отказов и механизмов старения, наблюдаемых при его работе, характера обслуживания и т.п. В общем случае вероятность отказа с учетом старения может быть записана следующим образом:

$$Q(t) = \begin{cases} Q_0(t), & t < T_{\text{рпп}}; \\ Q_0(T_{\text{рпп}}) + \exp\left(-\int_{T_{\text{рпп}}}^{\infty} \lambda(\tau) d\tau\right), & t > T_{\text{рпп}}, \end{cases} \quad (1)$$

где $Q_0(t)$ - составляющая вероятности отказа на этапе нормальной эксплуатации, когда не проявляются эффекты старения; $T_{\text{рпп}}$ - наработка, при достижении которой в работе объекта начинают сказываться эффекты старения; $\lambda(\tau)$ - интенсивность отказа, описывающая отказы, обусловленные старением.

Рассмотрим линейную модель учета эффекта старения. В этом случае интенсивность отказа можно представить в следующем виде:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + ax, \quad (2)$$

где $x = (t - T_{\text{рпп}})$; λ_0 - составляющая компонента интенсивности отказа, характерная для нового изделия; a - коэффициент, характеризующий скорость, с которой осуществляется старение объекта.

В простейшем случае

$$a(t) = \begin{cases} 0 & \text{для } t \leq T_{\text{рпп}}; \\ a & \text{для } t > T_{\text{рпп}}. \end{cases} \quad (3)$$

Второй тип моделей - модели, использующие распределение Вейбулла. В этом случае интенсивность отказа может быть представлена в виде

$$\lambda(t) = \lambda_0 + (b+1)at^b, \quad (4)$$

где a - параметр формы; b - параметр масштаба распределения Вейбулла. Если параметр $b=1$, то получаем линейную модель учета старения, при b , равном нулю, получаем модель, описывающую период нормальной эксплуатации.

Вейбулла является обобщенной моделью, описывающей функционирование объектов на всем периоде его функционирования.

Таким образом, имеется ряд параметрических моделей, которые возможно применять для описания интенсивности отказов объекта на этапе его старения. Конкретный вид модели следует выбирать, ориентируясь на имеющийся статистический материал об отказах анализируемых СТС с учетом старения [3,4].

Однако, на практике при оценке и прогнозировании параметров надежности и безопасности элементов СТС искомые величины далеко не всегда удастся получить в явном виде вследствие математических трудностей (сложные законы распределения) или ограниченности исходной информации. В этих случаях верхние или нижние границы оценки рассчитываемых характеристик дают возможность получить приемлемое приближенное решение задачи. Для класса стареющих элементов такие оценки вычисляются сравнительно просто.

К классу стареющих относятся элементы, характеристики надежности которых с течением времени могут только снижаться, иными словами, элементы, у которых интенсивность отказа монотонно не убывает по мере увеличения наработки. К этому классу относятся экспоненциальное, нормальное, гамма-распределение при $p \geq 1$ и распределение Вейбулла-Гнеденко при $p \geq 1$.

Стареющими в смысле надежности являются практически все технические системы после завершения периода приработки, в том числе, естественно, и транспортные комплексы.

Приведем основные формулы для оценки ряда характеристик надежности стареющих элементов [2, 3, 4]. Так, функция надежности стареющего элемента за период наработки t , имеет вид:

$$\bar{F}(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(\tau) d\tau \right] \geq \exp \left[- \frac{t}{T_0} \right], \quad (5)$$

где T_0 - средняя наработка на отказ.

Если известно, например по результатам наблюдений, значение

функции надежности для достаточно большой наработки t_2 , то значение этой функции для небольшой наработки $t_1 \ll t_2$ соответствует неравенству

$$\bar{F}(t_1) \geq [\bar{F}(t_2)]^{t_1/t_2}. \quad (6)$$

Если в результате испытаний n стареющих элементов данного типа получены времена жизни каждого из них $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, то с вероятностью, не меньшей β средняя наработка на отказ

$$\frac{\bar{\xi}}{1 + x_\beta / \sqrt{n}} \leq T_0 \leq \frac{\bar{\xi}}{1 - x_\beta / \sqrt{n}}, \quad (7)$$

где $\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_k$; x_β - квантиль порядка β нормального распределения (находится из таблиц или с помощью встроенных функций, например, системы Mathcad).

При известных среднем значении наработки на отказ T_0 и ее дисперсии σ_0^2 можно использовать следующее соотношение для оценки снизу функции надежности:

$$\bar{F}(t) = \exp\left(-\frac{\alpha t}{T_0}\right) \text{ при } t < aT_0, \quad (8)$$

где α и a определяются из уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_0^2}{T_0^2} &= \frac{\alpha}{3} + \frac{\alpha}{6} + \dots + \frac{2\alpha^n}{(n+1)(n+2)} + \dots; \\ a &= 1 - \frac{\sigma_0^2}{T_0^2} \cdot \alpha \cdot \left[\ln\left(\frac{1}{1-\alpha}\right) - \alpha \right]^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

При любом значении t справедливы неравенства [5]:

для вероятности остаточной наработки элемента

$$P\{\xi_t > x\} \leq \bar{F}(x). \quad (10)$$

для вероятности стационарного значения остаточной наработки

$$1 - x/T_0 \leq P\{\xi_t^c > x\} \leq \exp(-x/T_0); \quad (11)$$

для среднего значения остаточной наработки

$$M[\xi_t^c] \leq T_0; \quad (12)$$

для функции восстановления

$$(x/T_0) - 1 \leq H(t) \leq t/T_0. \quad (13)$$

Приведем в качестве примера, несколько задач определения характеристик надежности и безопасности СТС, длительное время находящейся в эксплуатации (период старения):

1) пусть на основании статистических данных установлено, что вероятность безотказной работы стареющего элемента за наработку $t_2 = 1,8$ тыс. ч равна 0,46. Оценить вероятность безотказной работы за наработку $t_1 = 0,12$ тыс. ч.

Для решения данной задачи воспользуемся неравенством (6), в результате получим $\bar{F}(0,12) \geq [\bar{F}(0,18)]^{0,12/1,8} \approx 0,95$. То есть вероятность безотказной работы за период $t_1 = 0,12$ тыс. ч не меньше 0,95;

2) функция надежности стареющего восстанавливаемого элемента соответствует распределению Вейбулла-Гнеденко с параметрами $\lambda = 0,5$ и $p = 1,8$, то есть $\bar{F}(t) = \exp[-(0,5t)^{1,8}]$. Требуется оценить вероятность безотказной работы за остаточное время жизни $x = 0,9$ тыс. ч в начальном и стационарном состояниях элемента, а также стационарное значение функции восстановления $H(t)$ за 11 тыс. ч наработки.

Решение. Рассчитаем среднее время жизни элемента

$$T_0 = \lambda^{-1} \Gamma(1 + 1/p) = 2 \Gamma(1 + 0,55) = 2 \cdot 0,89 = 1,78 \text{ тыс. ч}$$

На начальных этапах жизни элемента согласно неравенству (10), получим

$$P\{\xi_t > x\} < \bar{F}(x) \Rightarrow P\{\xi_t > 0,9\} < \bar{F}(0,9) = \exp[-(0,5 \cdot 0,9)^{1,8}] = 0,79,$$

т.е. вероятность безотказной работы за остаточное время жизни $t = 0,9$ тыс. ч не превышает 0,79.

В стационарном периоде вероятность безотказной работы элемента за остаточное время жизни 0,9 тыс. ч в соответствии с неравенством (11) будет

$$1 - x/T_0 \leq P\{\xi_t^c > x\} \leq \exp(-x/T_0) \Rightarrow 1 - 0,9/1,78 \leq P\{\xi_t^c > 0,9\} \leq \exp(-0,9/1,78)$$

или

$$0,49 \leq P\{\xi_t^c > 0,9\} \leq 0,6.$$

При этом, действительное значение $P\{\xi_t^c > 0,9\}$ по точной формуле

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi_t > x\} = P\{\xi > x\} = 1 - \frac{1}{T_0} \int_0^x \bar{F}(\tau) d\tau,$$

будет равно

$$P\{\xi_t > x\} = 1 - \frac{1}{T_0} \int_0^x \bar{F}(\tau) d\tau = 1 - \frac{1}{1,78} \int_0^{0,9} \exp[-(0,5 \cdot t)]^{1,8} dt = 0,53.$$

Для функции восстановления, применяя неравенство (13), получаем

$$x/T_0 - 1 \leq H(t) \leq t/T_0 \Rightarrow (11/1,78) - 1 \leq H(t=11) \leq 11/1,78; \quad 5 \leq H(t=11) \leq 6$$

Следовательно, за наработку 11 тыс. ч будет в среднем не менее пяти и не более шести восстановлений элемента.

Таким образом, приведенные аналитические модели, могут применяться для описания интенсивности отказов объектов на этапе физического старения. Конкретный вид модели следует выбирать, ориентируясь на имеющийся статистический материал об отказах анализируемых изделий и решаемых задач системного анализа и оптимизации системы контрольно-профилактических мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.В. Статистические модели в теории надежности: учеб. пособие /А.В. Антонов, М.С. Никулин. - М.: Абрис, 2012. — 390 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. — М.: Наука, 1965. — 524 с.
3. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
4. Майструк А.В., Сюрсин Е.С., Верещагин А.С. Физико-статистическая модель прогнозирования потока отказов на кабельных линиях напряжением 6(10) кв // Известия Института инженерной физики. 2020. № 1 (55). С. 58-63.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

THE PACKAGE OF DESIGN ASSIGNMENTS FOR AERODYNAMIC NOISE PROTECTION

O.V. Plitsyna

Russian University of Transport, Moscow, Russia

ABSTRACT

The package of design assignments for reactive multi-duct broadband mufflers is presented. Completing the assignments in conditions of realizing the associative method will allow the learners feeling the confident during selection and placement of the acoustic safety devices combinations in engineering systems.

Keywords: aerodynamic noise, protection, training, tasks, design

ПАКЕТ ЗАДАНИЙ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА

О.В. Плицына

Российский университет транспорта, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлен пакет заданий на проектирование реактивных многоканальных широкополосных глушителей. Выполнение заданий в условиях реализации ассоциативного метода позволит обучающимся чувствовать себя уверенно при подборе и размещении сочетаний устройств акустической безопасности в инженерных системах.

Ключевые слова: аэродинамический шум, защита, обучение, задания, проектирование

1. ВВЕДЕНИЕ

Применение творческих методов проектирования на практических занятиях предопределяет развитие у обучающихся, наряду со значимыми навыками, профессиональной уверенности [1-3].

В ходе корректировки [4, 5] практикума для магистрантов направления «Техносферная безопасность» была отмечена результативность занятий,

направленных на формирование навыка оценки устройств акустической безопасности [6, 7]. Однако в анкетах магистранты показали, что не всегда чувствуют себя свободно при комбинировании указанных средств в инженерных системах. Для повышения уверенности обучающихся оправдано применение ассоциативного метода на занятии по проектированию реактивных глушителей шума в сетях воздуховодов [8-10]. Выполнение заданий, которые включали бы в себя образное представление компонентов глушителя и поэтапную сборку эффективной конструкции, создаст предпосылки к тому, что магистранты будут чувствовать себя свободно, подбирая и размещая сочетания устройств акустической безопасности.

Цель исследования – составление пакета заданий на проектирование реактивных многоканальных широкополосных глушителей.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы исследования:

- модели реактивных узкополосных элементов;
- алгоритмическая модель реактивного многоканального устройства снижения широкополосного шума;
- задание на проектирование отражательного широкополосного глушителя;
- задание на проектирование резонаторного широкополосного глушителя;
- задание на проектирование устройства, сочетающего отражательный и резонаторный глушители;
- задание на проектирование составного поворота воздуховода с широкополосным снижением шума.

Метод исследования – работа в малых группах с обсуждением.

Магистрантами были проведены:

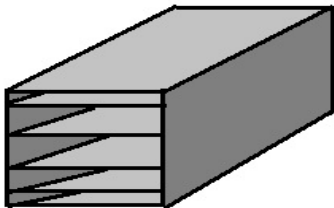
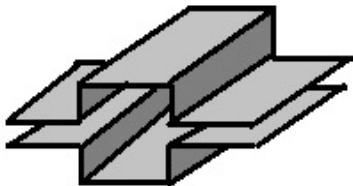
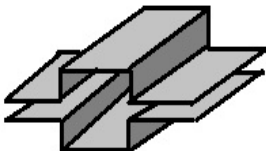
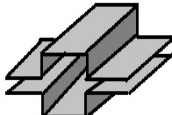
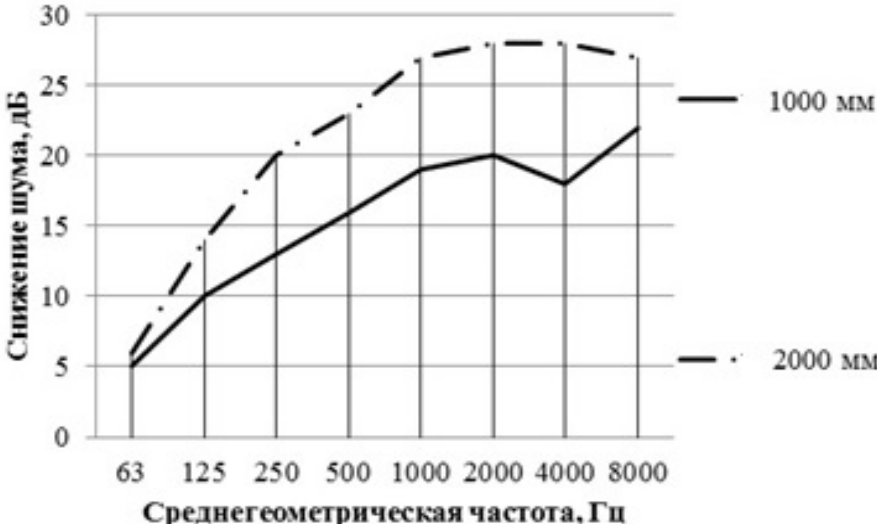
- компоновка многоканального многокамерного глушителя;
- компоновка двухканального многорезонаторного глушителя;
- компоновка устройства, сочетающего многокамерный и многорезонаторный глушители;
- компоновка многоканального поворота воздуховода.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Магистранты, выполнявшие задание на проектирование отражательного глушителя, сочетая различно настроенные расширительные камеры, синтезировали устройство для снижения шума вентилятора (таблица 1).

Таблица 1

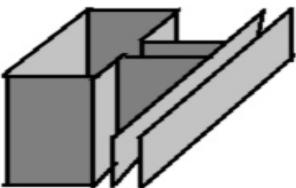
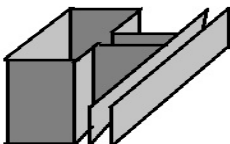
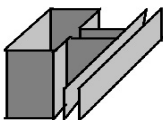
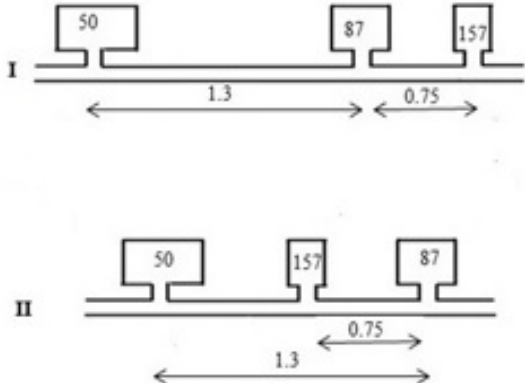
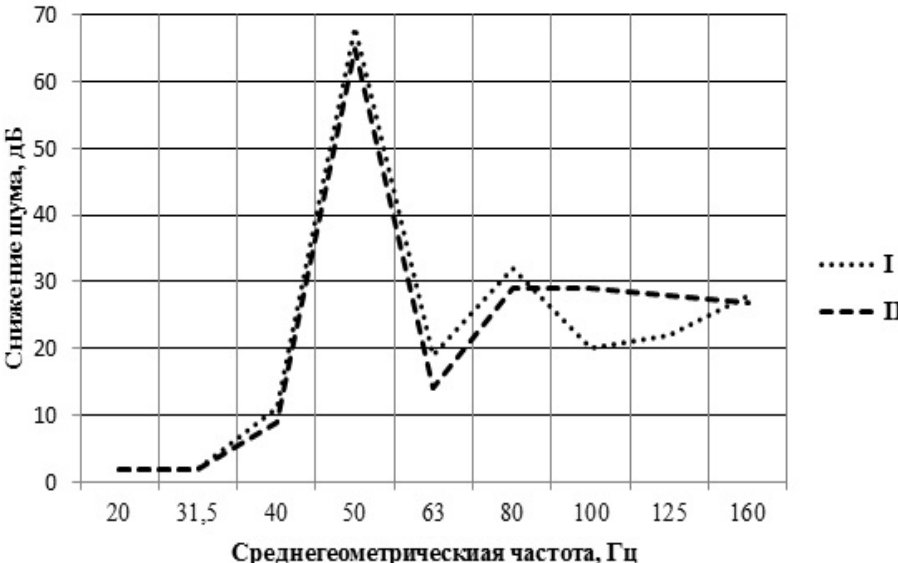
Компоновка многоканального многокамерного глушителя

Сборка узкополосных элементов																														
																														
Широкополосное снижение шума	 <table><caption>Approximate data from the noise reduction graph</caption><thead><tr><th>Среднегеометрическая частота, Гц</th><th>Снижение шума, дБ (1000 мм)</th><th>Снижение шума, дБ (2000 мм)</th></tr></thead><tbody><tr><td>63</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>125</td><td>10</td><td>12</td></tr><tr><td>250</td><td>13</td><td>18</td></tr><tr><td>500</td><td>16</td><td>23</td></tr><tr><td>1000</td><td>19</td><td>27</td></tr><tr><td>2000</td><td>20</td><td>28</td></tr><tr><td>4000</td><td>18</td><td>28</td></tr><tr><td>8000</td><td>22</td><td>27</td></tr></tbody></table>			Среднегеометрическая частота, Гц	Снижение шума, дБ (1000 мм)	Снижение шума, дБ (2000 мм)	63	5	5	125	10	12	250	13	18	500	16	23	1000	19	27	2000	20	28	4000	18	28	8000	22	27
Среднегеометрическая частота, Гц	Снижение шума, дБ (1000 мм)	Снижение шума, дБ (2000 мм)																												
63	5	5																												
125	10	12																												
250	13	18																												
500	16	23																												
1000	19	27																												
2000	20	28																												
4000	18	28																												
8000	22	27																												

Магистранты, выполнявшие задание на проектирование резонаторного глушителя, сочетая различно настроенные резонаторы, синтезировали устройство для снижения низкочастотного шума (таблица 2). Рассмотрение различных комбинаций позволило выявить возможность размещения третьего резонатора между двумя, имеющими более низкие частоты настройки.

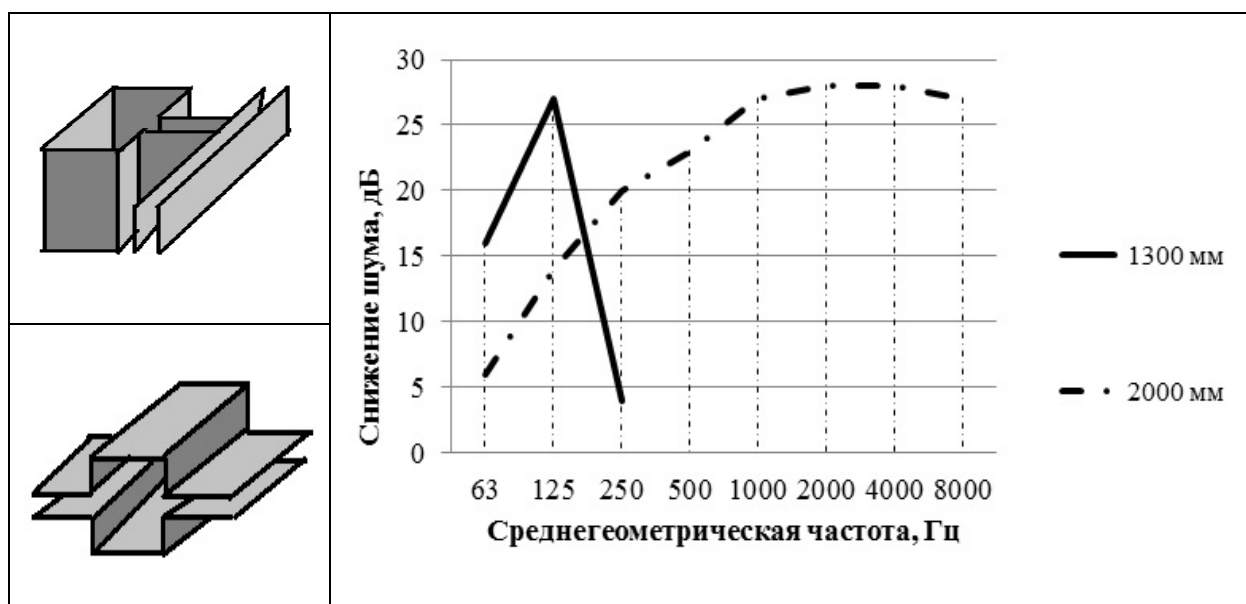
Таблица 2

Компоновка двухканального многорезонаторного глушителя

Сборка узкополосных элементов			
Широкополосное снижение шума			
			

В задании на проектирование устройства, сочетающего отражательный и резонаторный глушитель, магистрантами была скомпонована конструкция для снижения шума дымососа (таблица 3).

Сочетание резонаторного и отражательного глушителя



Магистранты, выполнявшие задание на проектирование составного поворота воздуховода, синтезировали устройство, обеспечивающее дополнительное равномерное снижение шума в вентиляционной системе (таблица 4).

Во время дискуссий, сопровождающих выполнение заданий, было установлено:

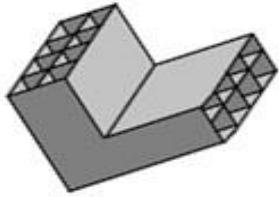
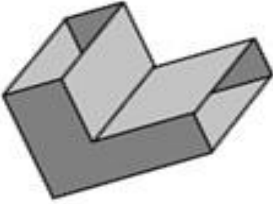
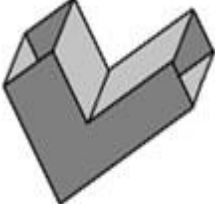
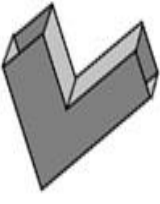
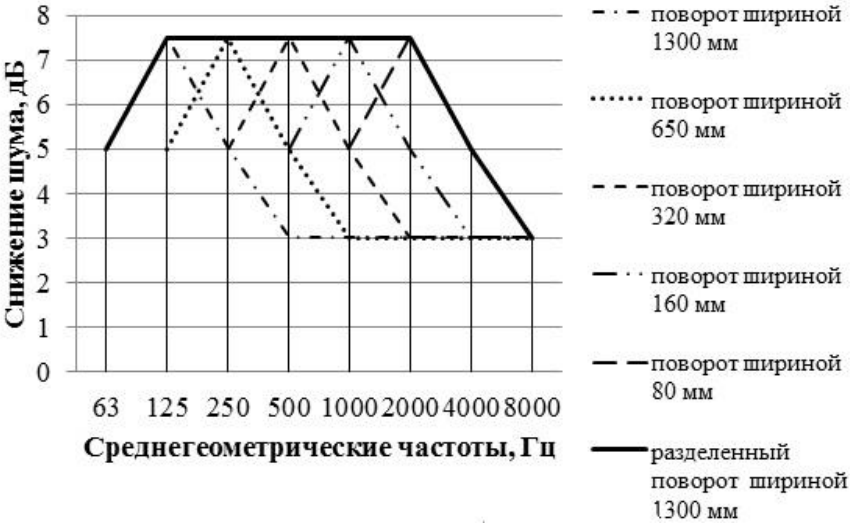
- магистранты представляли компоновку защиты как "выстраивание требуемой конструкции из кубиков";
- магистранты свободно предлагали и выбирали варианты защиты от аэродинамического шума;
- магистранты сообщили об уверенности в себе при сочетании различных устройств акустической безопасности

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Обучающиеся выполнили задания на проектирование быстро, точно и в полном объеме. Так демонстрируется уверенный выбор сочетаний устройств защиты от аэродинамического шума.

Обучающиеся образно представляли компоновку защиты от аэродинамического шума и заявили об уверенности в себе при комбинировании устройств акустической безопасности. Следовательно, подтверждается предположение о перспективности пакета заданий на проектирование реактивных многоканальных широкополосных глушителей.

Компоновка многоканального поворота воздуховода

Сборка узкополосных элементов			
Широкополосное снижение шума			
	 <p>Снижение шума, дБ</p> <p>Среднегеометрические частоты, Гц</p> <p> - - - поворот шириной 1300 мм поворот шириной 650 мм - - - поворот шириной 320 мм - · - поворот шириной 160 мм - - поворот шириной 80 мм — разделенный поворот шириной 1300 мм </p>		

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пакет заданий на проектирование реактивных многоканальных широкополосных глушителей оформлен для достижения магистрантами уверенности при компоновке различных устройств акустической безопасности в инженерных системах.

В процессе оформления пакета было установлено:

- при выполнении заданий, включающих в себя образное представление компонентов глушителя и поэлементную сборку эффективной конструкции, создаются предпосылки к тому, что магистранты будут чувствовать себя свобод но, подбирая и размещая сочетания устройств защиты от аэродинамического шума;
- реализация возможности чувствовать себя свободно при компоновке реактивных многоканальных широкополосных глушителей

повышает уверенность обучающихся в себе при комбинировании различных устройств акустической безопасности.

Предложенный пакет заданий на проектирование защиты от аэродинамического шума может быть рекомендован к применению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремень Е.В., Кремень Ю.А. Творческие задания как средство развития креативных способностей магистрантов // Веб-программирование и интернет-технологии: материалы научно-практической конференции, 18-21 мая, 2021, Минск, Республика Беларусь: Издательство Белорусского государственного университета, 2021. С. 197 – 199.
2. Зубова С.П., Лысогорова Л.В. Творческие задания как способ вовлечения студентов в активную творческую квазипрофессиональную деятельность // Поволжский педагогический вестник. 2020. Т. 8. № 3 (28). С. 92 –95.
3. Jarutkamolpong S., Kwangmuang P. Enhancing undergraduate creative thinking through a constructivist mobile learning application: design, development, and evaluation// Thinking Skills and Creativity.2025. Vol. 57. P. 101866.
4. Горшкова О.О. Подготовка выпускника инженерного вуза в практико-ориентированный формат при взаимодействии с предприятиями реального сектора экономики // Современные проблемы науки и образования. 2025. № 1.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33928>.
5. M. Sáiz-Manzanares, R. Marticorena-Sánchez, R. Velasco-Saiz Monitoring university students' learning processes: application of Advanced Learning Technologies and integrated multichannel techniques // Thinking Skills and Creativity.2025. Vol. 58. P. 101938.
6. Plitsyna O.V., Rogova T.N. Updating the practical classes on acoustic safety// Journal of Physics: Conference Series, 08–09 октября, 2020, Krasnoyarsk, Russian Federation, Krasnoyarsk Science and Technology City Hall: IOP Publishing Limited, 2020. Vol. 1691. P. 12136.
7. Plitsyna O.V., Rogova T.N. Correcting the project task on safety systems //III International Scientific Practical Conference "Break through Technologies and Communications in Industry and City", December 2-3, 2020, Volgograd, Russian Federation, Melville: AIP Publishing, 2021. Vol. 2410. P. 020019.
8. Ford R.C., Yoho K.D. Design thinking: Executing your organization's commitment to customer centricity Organizational Dynamics. 2025. Vol. 54. P.101077.
9. Alsswey A. Examining students' perspectives on the use of artificial intelligence tools in higher education: a case study on AI tools of graphic design // Acta Psychologica.2025. Vol. 258. P. 105190.
10. Verner I., Cuperman D., Mueller M. Student learning of engineering systems through simulation-based design using Onshape and Blender //Procedia Computer Science. 2024. Vol. 232. P. 2950 – 2958.

3. Научный симпозиум «Урбоэкология»

3. Scientific symposium «Urban Ecology»



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

ON THE QUESTION OF ASSESSING ENVIRONMENTAL DAMAGE FROM ACCIDENTS AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES OF THE OIL INDUSTRY

I.A. Basharina, D.G. Malakhov
Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

ABSTRACT

The article analyzes the main directions and specific methods of economic calculation of environmental damage caused by the operation of equipment handling hazardous substances. Special emphasis is placed on methods of calculating fees for air pollution.

Keywords: hazardous production facility, oil, oil collection preparation points, environmental damage, air pollution, combustion products of oil and petroleum products, basic standard for payments for emissions of pollutants into the atmosphere.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.А. Башарина, Д.Г. Малахов
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы основные направления и конкретные методики экономического ущерба окружающей природной среде, возникающего при эксплуатации оборудования, в котором обращаются опасные вещества. Особый акцент сделан на методах расчета платы за загрязнение атмосферного воздуха.

Ключевые слова: опасный производственный объект, нефть, пункты подготовки и сбора нефти, экологический ущерб, загрязнение атмосферного воздуха, продукты горения нефти и нефтепродуктов, базовый норматив платы за выброс в атмосферу загрязняющих веществ.

Россия занимает лидирующие позиции в мировом объеме добычи, переработки, и экспорта нефти и нефтепродуктов. На территории страны расположены многочисленные скважины, нефтеперекачивающие станции, миллионы километров технологических и магистральных нефтепроводов, функционирует более ста нефтеперерабатывающих предприятий, которые обеспечивают топливом как внутренний рынок, так и осуществляют поставки за рубеж.

Одним из важных элементов, обеспечивающих бесперебойную работу нефтедобывающей отрасли, являются пункты подготовки и сбора нефти (ППСН). Добытая в скважине нефть является довольно сложной смесью, состоящей не только из самой нефти, но и многочисленных попутных продуктов – газа, воды, песка и других взвешенных частиц. Содержание и физико-химические свойства компонентов в смеси могут отличаться в зависимости от месторождения, природно-климатических и гидрогеологических условий в местах расположения скважин, способов добычи и многих других параметров. Но очевидно, что прежде чем отправлять нефть трубопроводным или каким-либо иным транспортом на дальнейшую переработку, ее необходимо отделить от попутных продуктов, оценить определенные характеристики, подогреть в случае необходимости, а также собрать в резервуары для обеспечения бесперебойной поставки в транспортную систему. Для всего этого и проектируются пункты подготовки и сбора нефти, в состав которых входят газовые и нефтегазовые сепараторы, дренажные емкости и насосные станции, резервуары РВС, факельная система низкого давления, трубопроводы и прочее оборудование.

Эксплуатация подобных объектов сопряжена с обращением в технологическом процессе легковоспламеняющейся жидкости, которая является пожаровзрывоопасным веществом и, соответственно, с серьезными рисками при аварии, такими как возгорания, взрывы, разливы нефтепродуктов и иные техногенные происшествия.

«Анализ статистических данных по авариям на промышленных объектах РФ показывает, что на объектах подготовки нефти аварии происходят главным образом по причинам механического разрушения технологического оборудования из-за качества выполнения строительно-монтажных работ (дефекты сварного шва, концентрация напряжений в зоне упорного уголка и др.), а также негативного воздействия природных факторов (низкие температуры) и коррозионного воздействия обращающегося опасного вещества. Кроме того, самые опасные аварии с травмированием или гибелью персонала происходят главным образом из-за несоблюдения правил техники безопасности работниками и отсутствием должного контроля со стороны руководителей работ всех уровней» [1].

Нефтяные емкости представляют потенциальную опасность. Авария или аварийная ситуация могут возникнуть как при непреднамеренной разгерметизации емкостей и аппаратов с последующим выделением горючей

жидкости в окружающее пространство, так и при вскрытии указанного технологического оборудования для подготовки к ремонтным и технологическим работам. Источниками воспламенения могут стать: открытый огонь при производстве огневых работ, искровой разряд статического электричества, удар молнии, а также пирофорные отложения, способные к самовозгоранию в присутствии кислорода воздуха при обычной температуре. Пирофорные соединения (сульфиды железа FeS , Fe_2S_3) образуются в емкостях, аппаратуре и сооружениях различных производств, где присутствуют примеси сероводорода. Пожары в емкостном оборудовании или производственных аппаратах на объектах нефтяной промышленности происходили в основном после освобождения емкостей или аппаратов от нефти при производстве ремонтных работ с нарушением инструкций или в результате самовозгорания сульфида железа.

Таким образом, наиболее вероятными причинами возникновения аварии на ППСН могут быть:

- опасности, связанные с типовыми технологическими процессами;
- коррозия, физический износ и механические повреждения оборудования или технологических трубопроводов;
- прекращение подачи энергоресурсов;
- ошибочные действия персонала;
- внешние воздействия природного, антропогенного и техногенного характера.

В подавляющем большинстве случаев последствия аварий сводятся к растеканию нефти по подстилающей поверхности, что при авариях вне технологической площадки может привести к загрязнению земельных угодий и водных объектов (81-85%), однако возможен и выброс нефти, растекание по подстилающей поверхности с последующим испарением и образованием взрывоопасного паровоздушного облака с последующим объемным взрывом и пожаром разлива (2-11%). При оценке воздействия последнего варианта развития аварии исходят из факта загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания нефти [1].

Аварии на объектах нефтяной промышленности наносят существенный вред окружающей среде и являются значительной составляющей при определении экологического ущерба. В практике расчета экологического ущерба можно выделить три подхода: компенсационный, статистический и стоимостной.

Компенсационный подход предполагает экономическую оценку уровня загрязнения различных элементов природной среды (атмосферного воздуха, почвы, водных объектов, биоресурсов), потерь продукции, а также обязательных затрат на локализацию последствий и выплату штрафов. То есть этот подход учитывает все возможные составляющие ущерба, что может быть особенно ценным при разработке мероприятий по снижению последствий для экологии.

Статистический подход основан на исследовании данных об аналогичных, уже происшедших, авариях и их последствиях. К его преимуществам можно отнести возможность оценить не только ущерб определенным биосистемам, но и спрогнозировать риски и масштабы аварий. Как было замечено выше, каждый объект имеет свои уникальные характеристики, поэтому статистический метод правильнее применять для предварительной оценки ущерба, который должен быть уточнен дополнительными расчетами по конкретному объекту.

При использовании стоимостного подхода рассчитываются финансовые потери, которые возникают вследствие загрязнения окружающей среды. Он позволяет учесть не только затраты на восстановление биокomпонентов, но и потери от приостановки деятельности предприятий, снижения доходов от туризма или рыболовства/охоты, а также затраты на лечение и медицинское обслуживание населения, проживающего на загрязненных территориях.

Разработанные и утвержденные в нашей стране методики экономического расчета экологического ущерба предполагают покомпонентную оценку вреда, причиненного отдельным элементам биосферы. Они основаны преимущественно на нормативных методах, применяющих утвержденные правительством стоимости и коэффициенты, определяющие те или иные уровни воздействия на биопродуктивные процессы. К тому же эти методики не позволяют оценить ущерб жизни и здоровью населения, оказавшегося в зонах загрязнения.

Согласно РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварии на опасных производственных объектах», экологический ущерб $\Pi_{\text{экол}}$ рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей природной среды[2,3]:

$$\Pi_{\text{экол}} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_в + \mathcal{E}_п + \mathcal{E}_б + \mathcal{E}_о, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_a$ – ущерб от загрязнения атмосферы, руб;

$\mathcal{E}_в$ – ущерб от загрязнения водных ресурсов, руб;

$\mathcal{E}_п$ – ущерб от загрязнения почвы, руб;

$\mathcal{E}_б$ – ущерб, связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных массивов) ресурсов, руб;

$\mathcal{E}_о$ – ущерб от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, сооружений, оборудования, руб;

При этом одной из важнейших задач при расчете ущерба является определение количества нефти, участвующей в формировании поражающих факторов. В зависимости от варианта развития аварии и её последствий, порядок расчета может быть различным. Для иллюстрации данного утверждения рассмотрим загрязнение атмосферы при аварийных разливах нефти и нефтепродуктов с испарением с зеркала разлива с рассеиванием облака вредных паров или его возгоранием.

При аварийных разливах количество вредных веществ $M_{зв}^a$, поступающих в атмосферу, можно рассчитать согласно «Методике определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах» [2-4]:

$$M_{зв}^a = m \cdot F \cdot \tau, \quad (2)$$

где m – количество паров нефти, поступающих в атмосферу при испарении с единицы поверхности разлива в единицу времени, $кг/м^2 \cdot с$;

F – площадь поверхности разлива, $м^2$, при разливе из резервуара без поддона или обваловки; может быть рассчитана как $F_{св} = 4,63 \cdot V_{ж}$ ($V_{ж}$ – объем нефти в резервуаре или другой емкости, $м^3$).

τ – время поступления загрязняющих веществ в атмосферу (время на ликвидацию аварии составляет 6 часов).

При этом количество паров m для нефти может быть рассчитано, а может быть принято по приведенной в методике таблице, в зависимости от толщины слоя разлившегося продукта, его плотности и температуры поверхности испарения.

Ущерб от загрязнения атмосферы парами нефти и нефтепродуктов будет определяться главным образом размером взысканий за вред, причиненный окружающей воздушной среде:

$$\mathcal{E}_a^H = 5 \cdot H_6^a \cdot M_{зв}^a \cdot K_3^a, \quad (3)$$

где H_6^a – базовый норматив платы за выброс в атмосферу загрязняющих веществ [7], руб/т;

K_3^a – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха экономических районов Российской Федерации.

Рассмотрим вариант аварии с пожаром разлива. Экологическая составляющая ущерба при таком развитии аварии рассчитывается по «Методике расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов». При этом количество вредных веществ, загрязняющих воздух при горении нефти и нефтепродуктов, можно оценить по формуле [2, 3, 5, 6]:

$$M_{ни} = K_i \cdot m_i \cdot S_{ср}, \quad кг/ч, \quad (4)$$

где K_i – удельный выброс конкретного вредного вещества (i) на единицу массы сгоревшего нефтепродукта, $кг/кг$;

m_i – скорость выгорания нефтепродукта, $108 \text{ кг}/м^2 \cdot \text{час}$;

$S_{ср}$ – средняя поверхность зеркала жидкости, $м^2$.

При определении состава загрязнителей атмосферы в результате горения нефти за основные продукты горения обычно принимают оксид углерода CO , диоксид азота NO_2 , диоксид серы SO_2 , сероводород H_2S , синильную кислоту HCN , формальдегид и органические кислоты, в частности, уксусную кислоту CH_3COOH .

Экологический ущерб, причиняемый продуктами горения нефти, определяется по следующей формуле:

$$\Delta_a^r = 5 \sum (H_{bai} \cdot M_{ni}) \cdot K_n \cdot K_{за}, \quad (5)$$

где M_{ni} – масса i -го загрязняющего вещества, выброшенного в атмосферу при аварии, кг/ч при условии, что время горения составляет 1 час;

K_n – повышающий коэффициент для сверхнормативных выбросов, равный 25.

Рассмотрим определение экологического ущерба $\Pi_{экол}$ от аварии на примере сценариев для ППСН. В качестве исходных данных для расчета примем разлив нефти из аварийных резервуаров РВС-700 в поддон площадью 1058 м² с образованием 149 кг паров нефти, участвующих в формировании поражающих факторов. Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха для рассматриваемого района примем $K_{за}=2$.

При развитии аварии с испарением нефти без возгорания размер ущерба атмосфере составит:

$$\Delta_a^H = 5 \cdot H_6^a \cdot M_{зв}^a \cdot K_3^a = 5 \cdot 6 \cdot 945,852 \cdot 2 = 56751,12 \text{ руб.}, \quad (6)$$

При этом рассчитывается $M_{зв}^a$ рассчитывается как:

$$M_{зв}^a = m \cdot F \cdot \tau = 0,149 \cdot 1058 \cdot 6 = 945,852 \text{ т.}, \quad (7)$$

Данные по расчету второго варианта развития аварии приведены в таблице 1.

Таким образом, экологический ущерб от пожара разлива составит $\Delta_a = 9776,85 \cdot 25 \cdot 2 = 488842,5$ руб. Расчет экологического ущерба подтверждает большую опасность сценария аварии с пожаром пролива.

Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации объектов нефтегазовой отрасли необходимо предусмотреть меры, направленные на исключение разгерметизации оборудования и предупреждение аварийных выбросов опасных веществ:

- применение для перекачки нефти герметичных электронасосных агрегатов с двойным уплотнением;

- в соответствии с требованиями нормативных документов должно использоваться электрооборудование во взрывозащитном исполнении;
- контроль и предупреждение возникновения аварийных ситуаций осуществляется применением автоматизированной системы управления технологическим процессом;
- контроль состояния воздушной среды обеспечивается установкой датчиков НКПР, а также автоматической системой обнаружения загазованности и пожара;
- предусматривается защита металлических конструкций от атмосферной коррозии, статического электричества, молниезащита;
- конструкция и материалы технологического оборудования должны обеспечивать его надежную и безопасную эксплуатацию в течение расчетного срока службы, что может быть подтверждено сертификатами соответствия требованиям промышленной безопасности и разрешением на применение на объектах промышленного назначения.

Таблица 1

Расчет ущерба от загрязнения атмосферы Δ_a , причиненного атмосфере продуктами горения при реализации сценария аварии с пожаром разлива

Наименование вещества	K_i , кг/кг	M_{ni} , т	H_{bai} , руб	$H_{bai} \times M_{ni}$, руб. за тонну
Углерода оксид	0,084	7,79	1,6	12,46
Углерод (сажа)	0,17	15,77	36,6	577,18
Азота диоксид	0,0069	0,64	138,8	88,83
Серы диоксид	0,045	4,17	45,4	189,32
Синильная кислота	0,001	0,093	0	0
Ванадия пятиокись	4,64E-0,4	0,043	2736,8	117,68
Формальдегид	0,001	0,093	1823,6	169,6
Органические кислоты	0,015	1,390	547,4	760,9
Бенз(а)пирен	7,80E-08	$7,2 \times 10^{-6}$	5472968,7	39,4
$5\sum(H_{bai} \times M_{ni})$				9776,85

Эти и многие другие меры снижения риска аварий на опасных производственных объектах и смягчения последствий таких аварий напрямую влияют и на безопасность и качество окружающей среды и здоровье населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчеты (годовые) о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 2020-2023 гг. Электронный ресурс: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (Дата обращения 01.01.2025 г.)
2. Расчет ущерба, причиненного окружающей природной среде на объектах нефтяной промышленности: Метод. указания / Казан. Гос. Технол. Ун-т; сост. Т.В. Андрияшина, В.С. Гасилов, Л.Э. Осипова, И.В. Чепегин, С.А. Антонова. – Казань, 2005. – 64с.
3. Экономическое обоснование оценки ущерба от аварий на опасных производственных объектах : учеб. пособие / Самар.гос.техн.ун-т; сост.: А. А. Терешин, И. А. Башарина.- Самара, 2011.- 105 с.
4. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах. (Утверждена Минтопэнерго РФ 01.11.95 г.). Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200031822> (Дата обращения 01.01.2025 г.).
5. Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов. - Самара: Госкомгидромет, 1996. – 15 с. Электронный ресурс: <https://files.stroyinf.ru/Data1/47/47363/> (Дата обращения 01.01.2025 г.).
6. Методика расчета выбросов от источника горения при разливе нефти и нефтепродуктов. (Утверждена приказом Государственного комитета РФ по охране окружающей среды от 5 марта 1997 г., №90). Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/9039890> (Дата обращения 01.01.2025 г.).
7. Постановление правительства РФ от 13 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах». Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/420375216?marker=64U0IK>. (Дата обращения 01.01.2025 г.).



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF A MODERN PETROLEUM PRODUCT ACCOUNTING SYSTEM FOR AN ENTERPRISE

A.S. Bukhtin

Samara State Technical University, Samara, Russia

ABSTRACT

The article discusses the importance of implementing petroleum product accounting systems to enhance the competitiveness of companies in the oil and gas sector. It highlights the benefits of process automation, compliance with regulatory standards, and adaptation to new technologies for optimizing resource management and increasing efficiency.

Keywords: petroleum products, enterprise, accounting system, automation process, research

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.С. Бухтин

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается важность внедрения систем учета нефтепродуктов для повышения конкурентоспособности компаний нефтегазового сектора. Подчеркиваются преимущества автоматизации процессов, соблюдения законодательных норм и адаптации к новым технологиям для оптимизации управления ресурсами и повышения эффективности.

Ключевые слова: нефтепродукты, предприятие, система учета, автоматизация процессов, исследование

В современных условиях динамично развивающегося рынка нефтепродуктов и возрастающей конкуренцией обеспечение устойчивости и конкурентоспособности компаний нефтегазового сектора становится приоритетной задачей.

Высокая конкурентная среда и использование инновационных технологий отсеивает слабых игроков или объединяет их в крупные устойчивые системы, которые способны соответствовать и отвечать возрастающим требованиям рынка. Требования, в свою очередь, характеризуются многофакторностью и исходят из различных источников, включая законодательные акты, нормативное регулирование в области охраны окружающей среды и промышленной безопасности, а также отраслевые стандарты и требования к качеству продукции. Соблюдение данных требований не только является обязательным, но и оказывает непосредственное влияние на репутацию и инвестиционную привлекательность компании.

Так же следует отметить, что текущая геополитическая и экономическая обстановка, характеризующаяся введением санкций и нестабильностью мировых рынков, оказывает существенное влияние на деятельность предприятий нефтегазовой отрасли. Усиление санкционного давления приводит к необходимости поиска и перехода на альтернативные рынки сбыта, поиска новых поставщиков оборудования и технологий, а также оптимизации затрат и повышения эффективности использования ресурсов.

Экономическая нестабильность усиливает неопределенность и требуют гибкости и быстрого реагирования в управлении финансовыми потоками, имеющимися ресурсами и в целом инвестиционными проектами.

Одним из инструментов управления и контроля потоков нефтепродуктов является информационная система учета нефтепродуктов (СУН). Системы для учета нефтепродукта — это комплексы технических и программных средств, предназначенных для автоматизированного контроля, измерения, анализа и документирования параметров, связанных с производством, транспортировкой, хранением и реализацией нефтесодержащих продуктов [1].

Разнообразие задач и объектов, требующих учета нефтепродуктов, приводит к различным классификациям СУН. Например, СУН можно классифицировать по месту применения:

- на месторождениях;
- на НПЗ;
- на складах и терминалах;
- при транспортировке.

По уровню автоматизации процессов можно классифицировать на следующие типы [1]:

- ручные: операторы считывают данные с приборов;
- полуавтоматические: частичная автоматизация сбора и обработки данных;
- автоматизированные: полный цикл учета без участия человека.

Очевидно, что функциональные возможности СУН напрямую зависят от выбранной классификации и, как следствие, от специфических

потребностей предприятия. Далее рассмотрим более подробно основные функциональные возможности полностью автоматизированных современных СУН в виде таблицы 1.

Таблица 1

Основные функциональные возможности современной СУН

Основная функциональность СУН	Подфункции	Кому предназначена отчетность (примеры)
Учёт нефтепродуктов	Измерение мгновенного массового и объёмного расхода с точностью 0,1% от измеренного значения	Инженеры, Операторы, Бухгалтеры
	Показания массового счётчика нефтепродуктов, получаемые напрямую из расходомера	Инженеры, операторы
	Выполнение расчетов: – показаний интервальных массовых счётчиков (за час, смену, сутки, месяц, год, партию); – показаний тотальных массовых счётчиков; – разницы в показаниях температуры;	Бухгалтеры, менеджеры, руководство
	Прямое измерение основных характеристик нефтепродукта на каждом узле учёта: – температуры; – давления; – плотности;	Лаборанты, инженеры
	Автоматизированное закрытие партии по времени или по массе	Операторы, бухгалтеры
Прием и отгрузка	Автоматическая регистрация данных с измерительных приборов (расходомеры, уровнемеры, плотномеры)	Операторы, Логисты
	Формирование первичных документов (акты приема-передачи, товарно-транспортные накладные)	Бухгалтеры, Логисты, Операторы
Управление	Мониторинг уровня,	Операторы,

Основная функциональность СУН	Подфункции	Кому предназначена отчетность (примеры)
резервуарным парком	температуры, плотности нефтепродуктов в резервуарах	Инженеры, Менеджеры
	Автоматическое выявление утечек и потерь	Менеджеры по безопасности, Экологи
	Оптимизация заполнения резервуаров	Операторы, Логисты
Учет движения	Отслеживание перемещений нефтепродуктов между резервуарами, складами, АЗС	Логисты, Бухгалтеры
	Формирование отчетов о движении нефтепродуктов за период	Бухгалтеры, Менеджеры, Руководство
Управление качеством	Регистрация результатов лабораторных анализов	Лаборанты, Инженеры по качеству
	Автоматическое определение соответствия нефтепродуктов требованиям стандартов	Инженеры по качеству, Менеджеры
Учет акцизов и налогов	Автоматический расчет акцизов и других налогов	Бухгалтеры
	Формирование налоговой отчетности	Бухгалтеры
Интеграция с системами	Интеграция с системами бухгалтерского учета (ERP)	Бухгалтеры
	Интеграция с системами управления транспортом (TMS)	Логисты
	Интеграция с системами управления складом (WMS)	Логисты, операторы
Управление инвентаризацией	Подготовка к инвентаризации (выгрузка информации, подготовка МОЛ)	Бухгалтеры, Операторы, Ревизоры
	Проведение инвентаризации (фиксация информации)	Ревизоры, Операторы
	Закрытие инвентаризации (формирование документов, передача информации заинтересованным лицам)	Бухгалтеры, Руководство, Аудиторы
Контроль и сигнализация	Контроль и сигнализация параметров технологического	Операторы, Инженеры АСУ ТП

Основная функциональность СУН	Подфункции	Кому предназначена отчетность (примеры)
	процесса	и КИПИА
	Представление информации технологам, службам АСУ ТП и КИПиА в удобном для восприятия виде	Операторы, Инженеры АСУ ТП и КИПИА
Протоколирование	Протоколирование процесса: протоколы событий, режимные листы, акты приёма-передачи нефтепродуктов	Все перечисленные
Самодиагностика	Самодиагностика элементов ПТК (программно-технического комплекса)	Инженеры АСУ ТП и КИПИА
Архивирование	Архивирование трендов, печатных документов, протоколов	Все перечисленные выше (для анализа)

Внедрение современной СУН представляет предприятиям ряд значительных преимуществ:

- повышение точности учета и сокращение потерь;
- автоматизация рутинных операций, снижение трудозатрат и рисков ошибок;
- улучшение контроля за качеством нефтепродуктов;
- оптимизацию управления запасами;
- сокращение рисков, связанных с нарушением законодательства;
- повышение эффективности бизнес-процессов, скорости реагирования на изменения, легкость контроля операций и ресурсных потоков.

При внедрении подобной системы СУН на предприятии необходимо принимать во внимание характер развития информационных технологий и постоянно меняющиеся условия функционирования бизнеса. Для обеспечения долгосрочной эффективности и актуальности решения, следует учитывать потенциал СУН к адаптации к различным тенденциям развития отрасли и новым возможностям, предоставляемым современными информационными системами, например:

- использование облачных технологий;
- внедрение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения;
- интеграция с системами мониторинга транспорта (GPS/ГЛОНАСС);

– использование мобильных приложений для учета нефтепродуктов.

Таким образом, внедрение современной системы учета нефтепродуктов (СУН) является стратегически важным шагом для предприятий нефтегазовой отрасли, стремящихся к повышению эффективности, прозрачности и устойчивости своей деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система учета нефтепродуктов. [Электронный ресурс]. URL: <https://zavod-neftemash.ru/sistema-ucheta-nefteproduktov/>
2. Комплексы автоматизированных систем учёта и управления технологическими процессами // КРУГ-2000. [Электронный ресурс]. URL: https://www.krug2000.ru/decisions/solutions_comacc/kasytp.html
3. Ф.С. Уметбаев. Совершенствование методов и средств учета нефтепродуктов в процессах транспорта и хранения. 2013, г.Уфа.
4. Новое поколение программного обеспечения для управления трендами. Электронный ресурс: <http://www.iconics.com/Old>.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY AT A HOUSING AND COMMUNAL SERVICES ENTERPRISE

R.R. Valieva, E.V. Serazeeva
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ABSTRACT

The paper examines the technology of wastewater treatment at the enterprise JSC Almetyevsk-Vodokanal. Based on the results of the study of the composition of discharged wastewater, it was proposed to improve the technology by introducing a frame-fill filter with a polymer load.

Keywords: hazardous wastewater, treatment, technology, enterprise, housing and communal service, frame-fill filter

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Р.Р. Валиева, Е.В. Серазеева
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань,
Россия

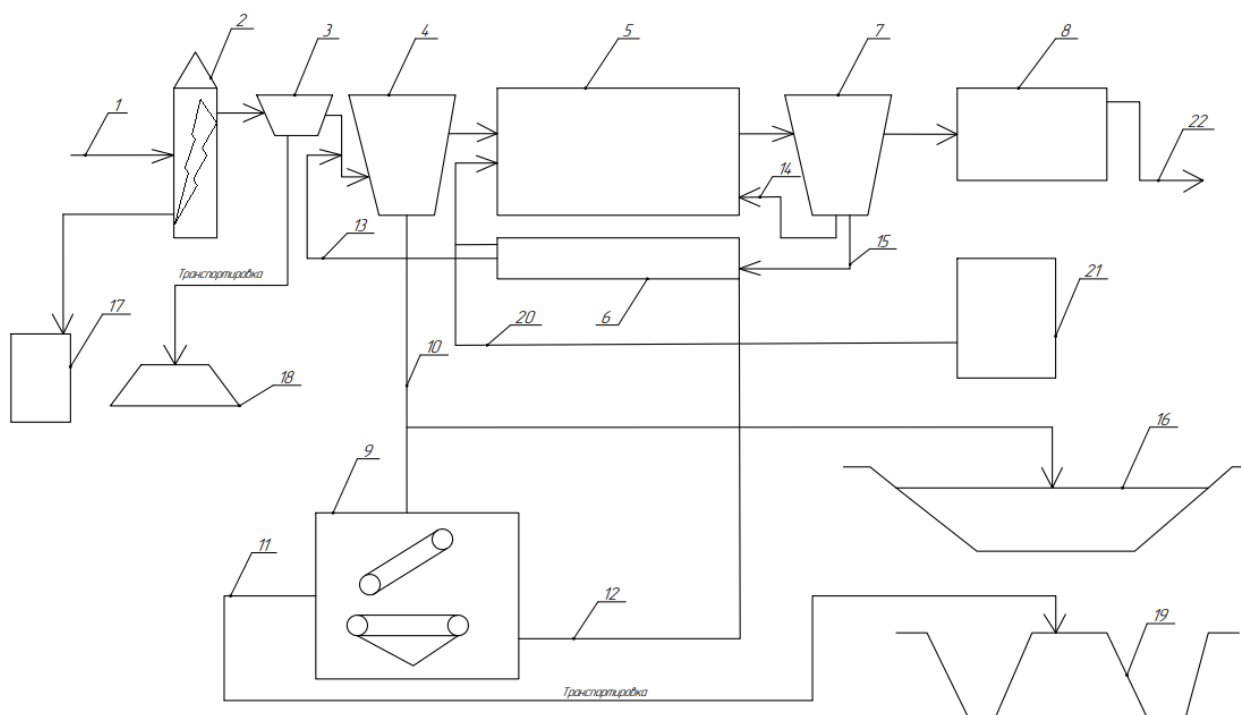
АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается технология очистки сточных вод на предприятии жилищно-коммунального хозяйства. По результатам исследования состава сбрасываемых сточных вод было предложено усовершенствование технологии путем внедрения каркасно-засыпного фильтра с полимерной загрузкой.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, технология, предприятие, жилищно-коммунальное хозяйство, каркасно-засыпной фильтр

Очистные сооружения коммунальной инфраструктуры принимают сточные воды, насыщенные разнообразными загрязняющими компонентами, возникающими непосредственно либо опосредованно вследствие человеческой активности [1–6, 11-16]. Половина загрязнений представлена соединениями органического происхождения - липидами, белками,

На предприятии Водоканал очистные сооружения предусматривают: механическую очистку (решётка, песколовка и первичный отстойник); биологическую очистку (аэротенк и вторичный отстойник) и обеззараживание (жидким хлором), после чего вода сбрасывается в реку (рис.1).



1-поступающая сточная вода; 2-решетки; 3-песколовки; 4-первичные отстойники; 5-аэротенки; 6-минерализатор; 7-вторичные отстойники; 8-контактный резервуар; 9-цех механического обезвоживания; 10-осадок первичных отстойников в цех по обработке осадка; 11-обезвоженный осадок (кек); 12-фильтрат; 13-минерализованная смесь; 14-циркуляционный активный ил; 15-избыточный активный ил; 16-иловые площадки; 17-контейнера для мусора с решеток; 18-площадка для складирования песка; 19-площадка для складирования обезвоженного осадка; 20-воздуховод для аэрации; 21-воздуходувная станция; 22-сброс очищенной сточной воды в реку

169

водопользователей” и утверждается в территориальном органе Росводресурсов.

В таблице 1 приведены нормативы допустимых сбросов в реку данного предприятия.

Таблица 1

Нормативы сброса ЗВ

№ п/п	Наименование	НДС на сброс в водные объекты после ОС, мг/л
1	ХПК	15,0
2	БПК _{полн.}	3,0
3	Аммоний ион	9,0

Продолжение таблицы 1

4	Взвешенные вещества	10,0
5	Нитрит-анион (NO ₂)	0,08
6	Нитрат-анион(NO ₃)	40,0
7	Фосфаты	0,2
8	СПАВ	0,5
9	Хлориды	300,0
10	Сульфаты	100,0
11	Сульфиды	0,005

В результате исследований сточной воды на качественный состав поступающих и сбрасываемых сточных вод были получены следующие результаты, представленные в табл.2.

Таблица 2

Качественный состав поступающих и сбрасываемых сточных вод

№ п/п	Показатели	Поступающий сток, мг/л	Сбрасываемый сток, мг/л
1	ХПК	86,0	11,6
2	БПК _{полн.}	57,6	1,6
3	Аммоний ион	70,2	8,0
4	Взвешенные вещества	172,0	15,0
5	Нитрит-анион (NO ₂)	0	0,02
6	Нитрат-анион(NO ₃)	0	9,1
7	Фосфаты	0,29	0,2
8	СПАВ	0	0,29
9	Хлориды	48	44
10	Сульфаты	25,5	24
11	Сульфиды	0,07	0,003

Вследствие оценки качественного состава сбрасываемых сточных вод (табл. 2) и нормативов допустимых сбросов (табл. 1), можем сделать вывод о том, что происходит превышение концентрации по взвешенным веществам в 1,5 раза.

В целях повышения эффективности очистки сточных вод и уменьшения нагрузки на окружающую среду предлагается в существующую технологическую схему внедрить каркасно-засыпной фильтр.

Каркасно-засыпной фильтр предназначен для эффективного удаления из сточной воды взвешенных частиц, органических загрязнений, осветления вод перед подачей на сорбционные фильтры, подачей воды на технические нужды и т.п. Его можно применять для доочистки как биологически очищенных городских и производственных сточных вод, так и нейтрализованного общего стока. В основе его работы лежит фильтрация через слой зернистого материала, который задерживает частицы загрязнений.

При правильной эксплуатации, каркасно-засыпной фильтр, позволяет значительно повысить скорость фильтрования, а два его слоя с разными фракциями фильтрующих материалов способствуют дифференцированному очищению сточных вод от взвешенных веществ различной крупности.

Технические характеристики каркасно-засыпного фильтра:

- 1 ступень фильтра конструктивно принята из двух ячеек: размер ячеек – 8000×4000×1000 (h); площадь – 32 м²; материал загрузки – керамзит дробленый, крупностью 10-15 мм; скорость фильтрования – 10 м/ч.

- 2 ступень фильтра также конструктивно принята из двух ячеек: размер ячеек – 8000×4000×1000 (h); площадь – 32 м²; материал загрузки – отходы синтетических материалов; скорость фильтрования – 20 м/ч.

Материалом загрузки на 2 ступени фильтра предлагается синтетический фильтрационный нетканый материал – сипрон. Данный материал обладает высокой фильтрующей способностью эффективно задерживать мелкие частицы загрязнений, обеспечивая высокое качество очистки сточной воды. Пористая структура ткани позволяет удерживать вредные вещества, не снижая при этом производительность процесса.

После усовершенствования технологической схемы очистных сооружений и внедрения каркасно-засыпного фильтра в качестве доочистки содержание взвешенных веществ значительно снизилось до 0,115 мг/л.

Расчеты предотвращенного ущерба проводились согласно Постановлениям Правительства РФ № 255 (ред. от 17.08.2020) и № 913 (ред. от 24.01.2020) по концентрациям веществ до и после повышения эффективности очистки сточных вод. В процессе расчета были учтены те виды загрязняющих веществ, снижение концентрации которых было критически необходимо для минимизации негативного воздействия на экосистему водного объекта.

$$P_y = \sum P_{pi} - \sum P_{ni} = 6185080 \text{ руб.}, \quad (1)$$

Экономический эффект от природоохранного мероприятия определялся разницей между эксплуатационными затратами и экономией от его внедрения.

В результате предлагаемого природоохранного мероприятия срок окупаемости составит приблизительно 1 год и 3 месяца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ: [сайт]. [М., 2020]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/cdec16ec747f11f3a7a39c7303d03373e0ef91c4/ (дата обращения: 3.08.2025).
2. Очистка сточных вод (примеры расчетов): [Учеб. О – 95 пособие для вузов по специальности «Водоснабжение и канализация» / М.П. Лапицкая, Л.И. Зуева, Н.М. Балаескул, Л.В. Кулешова]. – Мн.: Высш. школа, 1983. – 99 с.
3. Технологический регламент АО «Альметьевск-Водоканал».
4. Короткова А.С., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В. Особенности и новые технологии очистки сточных вод на предприятии жилищно-коммунального хозяйства. Научный журнал Академический вестник ЭЛПИТ, том №6, №2(16), Тольятти, 2021 г., С. 36-42.
5. Справка о техническом состоянии ОСК АО «Альметьевск-Водоканал».
6. Чеботарева А.А., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В. Особенности очистки городских сточных вод и повышение эффективности очистки. Научный журнал Академический вестник ЭЛПИТ, том №6, №4(18), Тольятти, 2021 г., С. 12-17.
7. Валеева Д.Л., Андреев Н.И., Серазеева Е.В. Оптимизация технологии очистки сточных вод на предприятии коммунального хозяйства. Сборник трудов IX международного экологического конгресса (XI международной научно-технической конференции) "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2023 (Самара - Тольятти, Россия, 20-24 сентября 2023 г.): сб. науч. докл. / под ред. А.В. Васильева. – Самара: АНО "Издательство СНЦ". 2024. С. 51-57.
8. Хадиева А.Р., Аристов И.В., Серазеева Е.В.. Технология очистки сточных вод на предприятии жилищно-коммунального хозяйства. Сборник трудов девятого международного экологического конгресса (десятой международной научно-технической конференции) "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2023, 20-24 сентября 2023 г., гг. Самара - Тольятти, Россия: Издательство «ELPIT». Отпечатано в АНО «Издательство СНЦ». 2023. Т.2, научные симпозиумы «Урбоэкология» и «Проблемы и инновационные решения в области инженерного обеспечения экологической и промышленной безопасности урбанизированных территорий» – С. 60-66.

9. Короткова А.С., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В. Внедрение дискового фильтра для усовершенствования очистки сточных вод на предприятии жилищно-коммунального хозяйства. Научный журнал «Академический вестник ЭЛПИТ», том №7, №4(22), Тольятти, 2022 г. С. 22-27.
10. Короткова А.С., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В. Особенности и новые технологии очистки сточных вод на предприятии жилищно-коммунального хозяйства. Научный журнал Академический вестник ЭЛПИТ, том №6, №2(16). С. 36-42.
11. Анциферов А.В., Филенков В.М., Каплан А.Л., Васильев А.В. Реконструкция промышленных очистных сооружений с использованием биореактора. Безопасность в техносфере. 2009. № 3. С. 42-45.
12. Васильев А.В. Экологический мониторинг и очистка сточных вод в районе Северного промышленного узла г. Тольятти. "Экология и промышленность России", г. Москва, 2019 г., т. 23, №6, с. 34-37.
13. Гусарова Д.В., Васильев А.В. Повышение эффективности очистки сточных вод машиностроительных предприятий от смазочно-охлаждающих жидкостей. В сборнике: ELPIT-2013. Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов. Сборник трудов IV международного экологического конгресса (VI Международной научно-технической конференции). Научный редактор: А.В. Васильев. 2013. С. 144-148.
14. Николаева М.А., Васильев А.В., Пименов А.А., Красников П.Е., Пивсаев В.Ю. Очистка нефтезагрязненных сточных вод с использованием доломитовой муки. В книге: XIV Всероссийская конференция-школа "Химия и инженерная экология". Сборник докладов. 2014. С. 20-22.
15. Измайлова С.В., Васильев А.В. Проблема очистки поверхностного стока, формирующегося на селитебной территории г. Сызрани. В сборнике трудов пятого международного экологического конгресса (седьмой международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2015. Научный редактор Васильев А.В. с. 166-172.
16. Vasilyev A.V., Khamidullova L.R., Podurueva V.V., Solovyov S.G. Investigation of toxicity of waste water of "AVTOVAZ" company by using biological testing methods. Safety of Technogenic Environment. 2012. № 2. С. 72-75.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

STRUCTURE AND DESCRIPTION OF BLOCKS OF DATABASE OF RESULTS OF SYSTEMATIZATION AND RANGING OF CHEMICAL COMPONENTS AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF POLYMER-INORGANIC CONSTRUCTION COMPOSITES

A.V. Vasilyev

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

ABSTRACT

In this paper peculiarities of development of database of results of systematization and ranging of chemical components and ecological characteristics of polymer-inorganic composite materials have been considered. The structure of database has been suggested. Infological model and platform of database have been suggested. Description of the six main blocks of database has been presented. Application of suggested database will allow us to determine the possibilities of existing and new polymer-inorganic composites from the point of view of ecological safety, as well as to develop new methods and technical solutions of reduction of negative impact of polymer-inorganic composites to the humans and to environment.

Key words: polymer-inorganic composites, database, infological model, platform, chemical components, ecological characteristics, systematization, ranging

СТРУКТУРА И ОПИСАНИЕ БЛОКОВ БАЗЫ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ СИСТЕМАТИЗАЦИИ И РАНЖИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕР-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

А.В. Васильев

Самарский государственный технический университет, г. Самара,
Россия

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности создания базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов. Предложена структура предлагаемой базы данных, рассмотрены инфологическая модель и платформа базы данных, произведено описание шести основных блоков базы данных. Использование предложенной базы данных позволяет определить возможности существующих и новых полимер-неорганических композитов с точки зрения экологической безопасности, разработать новые методы и технические решения по снижению негативного воздействия полимер-неорганических композитов на человека и окружающую среду.

Ключевые слова: полимер-неорганические композиты, база данных, инфологическая модель, платформа, блоки, химические компоненты, экологические характеристики, систематизация, ранжирование

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом применения полимерных композитных материалов, а также ввиду необходимости решения актуальной задачи разработки новых полимер-неорганических композитов с улучшенными экологическими характеристиками возникает потребность систематизации их физико-химических характеристик, в том числе экологических характеристик [1, 4, 14, 15 и др.].

Необходимо провести систематизацию физико-химических характеристик полимер-неорганических композитов и создать базу данных для проведения их физико-химической диагностики, а также с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду, позволяющую разработать новые высокоэффективные полимер-неорганические строительные композиты с улучшенными экологическими характеристиками.

В настоящей статье описана структура разработанной базы данных, произведено описание шести основных блоков базы данных.

2. СТРУКТУРА, ИНФОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОСНОВНАЯ ПЛАТФОРМА БАЗЫ ДАННЫХ

Структура разработанной базы данных включает несколько блоков:

1. Блок видов полимер-неорганических строительных композитов.
2. Блок химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов.
3. Блок справочных данных, включающий справочники, научно-техническую информацию, патенты по полимер-неорганическим строительным композитам.

4. Блок методик ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду.

5. Блок результатов ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду.

6. Обучающий блок.

На рис. 1 показана общая схема базы. На рис. 2 показана укрупнённая схема базы данных. На рис. 3 показана детальная схема базы данных с разбитием на подблоки.

Исходные данные проекта представляют собой совокупность структурированных сведений о полимер-неорганических строительных композитах, включающую:

- сведения о компаниях-производителях и видах композитов;
- перечень химических компонентов и физико-химических характеристик композитов;
- справочные и нормативные данные;
- методики ранжирования компонентов и характеристик с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду;
- результаты ранжирования по отдельным характеристикам и по интегральным показателям;
- учебно-методические материалы по тематике полимер-неорганических композитов.

Перечисленные данные естественным образом группируются в блоки.

Между соответствующими объектами задаются связи типа «один-ко-многим» и «многие-ко-многим»: одна компания может выпускать множество видов композитов; один композит характеризуется множеством компонентов и показателей; одна методика ранжирования применяется к множеству характеристик; для одних и тех же композитов могут храниться результаты ранжирования по нескольким независимым методикам и интегральным показателям и др.

Такая структура данных корректно описывается реляционной моделью базы данных, в которой каждая сущность (компания, вид композита, компонент, характеристика, методика, результат ранжирования, учебный материал) представляется отдельной таблицей, отдельные записи соответствуют экземплярам объектов, а связи реализуются через внешние ключи. Инфологическая модель в виде ER-диаграммы (сущности, атрибуты, связи) далее непосредственно переходит в логическую модель реляционной базы данных: каждой сущности соответствует таблица, каждой связи – согласованная система первичных и внешних ключей, обеспечивающих ссылочную целостность и согласованность накопления данных.

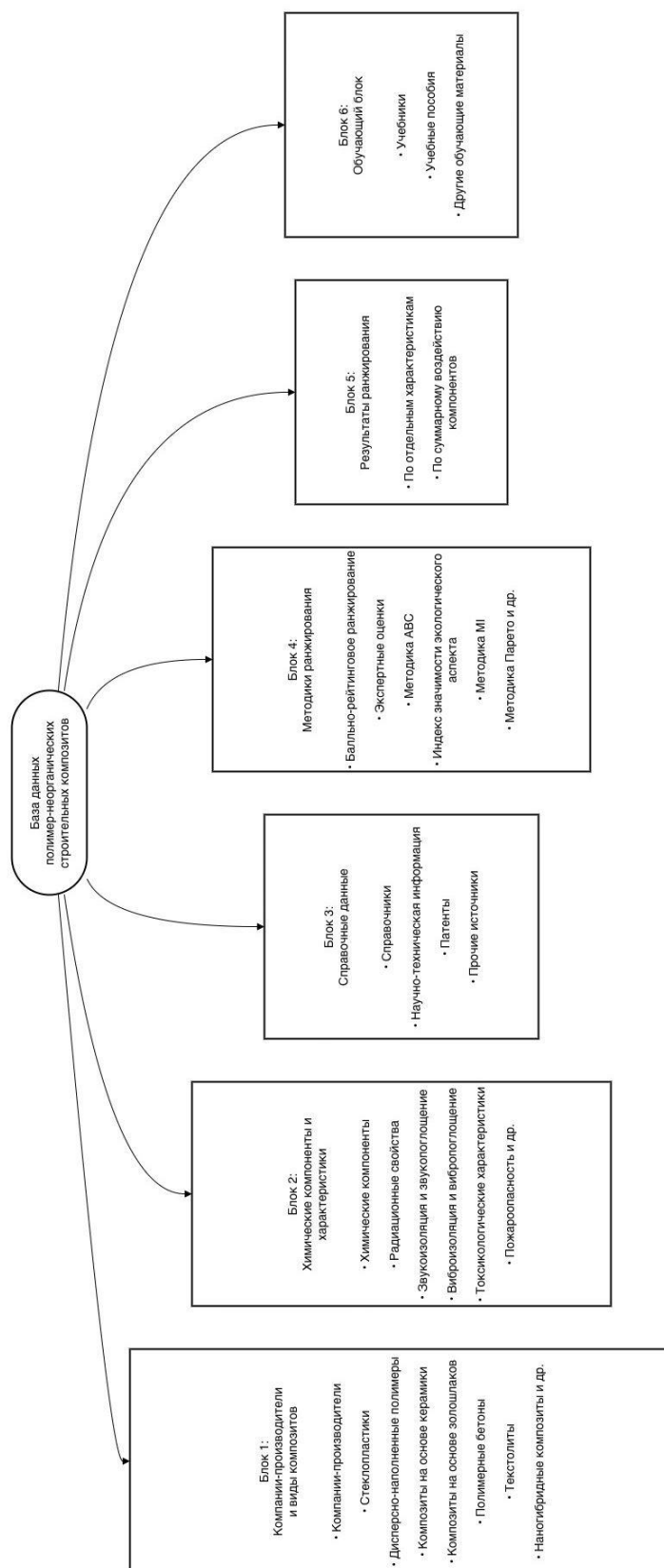


Рисунок 1 – Общая схема базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов

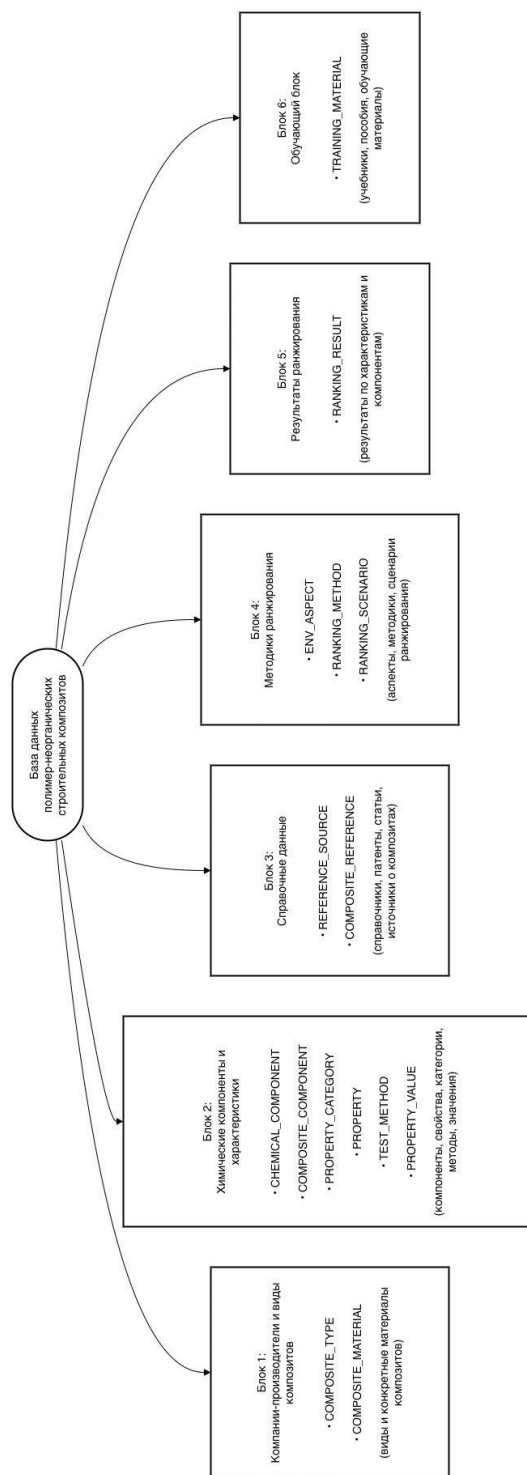


Рисунок 2 – Укрупнённая схема базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов

В качестве основной платформы реализации целесообразно использовать реляционную СУБД PostgreSQL, которая является свободно распространяемой кросс-платформенной системой.

В рамках выбранной платформы инфологическая модель, основанная на блоках «компании и виды композитов», «химические компоненты и характеристики», «справочные данные», «методики ранжирования», «результаты ранжирования», «обучающие материалы», реализуется в виде набора взаимосвязанных таблиц. Использование типовых средств администрирования PostgreSQL позволяет контролировать структуру базы, выполнять типовые запросы (поиск композитов с заданным набором характеристик, выборка результатов ранжирования по заданной методике, анализ распределения интегральных оценок и т.п.), а также формировать выгрузки для последующей статистической обработки без разработки специализированного программного обеспечения.

С точки зрения практического наполнения и эксплуатации предлагаемая архитектура обеспечивает поэтапное формирование накопительной базы данных результатов ранжирования физико-химических характеристик полимер-неорганических строительных композитов:

- на первом этапе утверждается инфологическая модель (ER-диаграмма сущностей и связей по шести блокам) и реализуется логическая схема реляционной базы данных в PostgreSQL;

- далее база последовательно наполняется первичной информацией по блокам: сведения о компаниях и видах композитов, перечни химических компонентов и характеристик, справочные данные, формализованные описания методик ранжирования, результаты ранжирования по отдельным характеристикам и интегральным показателям, учебно-методические материалы;

- по мере накопления данных модель может дополняться новыми атрибутами и связями (например, введением дополнительных классификаций композитов или новых методик ранжирования) при сохранении общей реляционной схемы и совместимости с уже внесенными записями.

3. ОПИСАНИЕ БЛОКОВ БАЗЫ ДАННЫХ

База данных включает следующие блоки:

- Блок химических компонентов и характеристик композитов;
- Блок справочных данных (справочники, научно-техническая информация, патентные материалы);
- Блок методик ранжирования;
- Блок результатов ранжирования;
- Учебный блок.

Блок компаний-производителей и видов полимер-неорганических строительных композитов включает в себя соответствующую информацию о компаниях-производителях композитов и видах композитов.

В том числе, в базу данных включены следующие российские компаний можно указать: ООО «Композит 21», ООО «Уралармопром», ООО «Промволокно», ООО «Кнауф инсулейшен», АО «ОС Стекловолокно», ООО «Никогласс», АО «Стеклонит», ООО «П-Д Татнефть – Алабуга стекловолокно», ООО «МТК-СЛ», ПАО «Астраханское стекловолокно», ООО «Инновация», ООО «Росткарпластик», АО «НЗСВ», ООО «Каспийский завод стековолокна», ООО «Изолтекс», ООО «Покров», ООО «ЧЗТИ», ООО «Техинжком», АО «Стеклопласт», ООО «Стеклиолит» и др.

Среди зарубежных производителей композитов в базу данных включены: «OWENS CORNING COMPOSITES (CHINA) CO»., «JUSHI», Завод «Молдавизолит», «СТГ», «EVALITH», «XGLASS PRO, ECOPHON, «POLINET», «MICROLITH», «SYSTEXX», HUIERJIE, «BWF TEC, OXISS, GLASS FABRIC, REDMOND, «CNINA YANGZHOU GUO TAI FIBERGLASS», «VITRULAN», «GRECHO FIBERGLASS, «STROBY», «WELLTON OPTIMA», «ISOFOFON», «INTERCHEM DISTRIBUTION EUROPE, PPG, BRATTENDORF, REMARK-KAYSER, «GOTEX, «VALMIERA GLASS, «ARMSTRONG, «GLASSTEX FIBERGLASS MATERIALS CORP.», «KINGSHENG (BEIJING) BUILDING & DECORATING MATERIALS CORP.», «JOHNS MANVILLE SALES GMBH», «CHANGZHOU KINGZE COMPOSITE MATERIALS CO.», «EUROPEAN OWENS CORNING FIBERGLAS S.P.R.L.», «HONGMING COMPOSITES CO.», «KNAUF GIPS KG» и др.

В базу данных включены не только ведущие компании-производители композитов, но и рассмотрена выпускаемая ими продукция. Так, среди ведущих компаний-производителей звукоизолирующих и звукопоглощающих композитных материалов и конструкций кКомпания «Кнауф» производит тонковолоконные минераловатные плиты, рулоны, звукопоглощающие панели. Продукция этого производителя пользуется на рынке шумоизоляции материалов высоким спросом. Для внутренней звукоизоляции жилых помещений разработаны две линейки эффективных звукоизоляторов. В первом решении, это тонковолоконные минераловатные плиты АкустиКнауф, которые производятся в нескольких размерных модификациях (рис.4). Другое решение - Кнауф Insulation Акустическая Перегородка. Плиты характеризуются высоким коэффициентом упругости и полноценным шумопоглощением.

Предлагаемый перечень с одинаковым успехом можно использовать для тепло- и звукоизоляции, полов, вертикальных конструкций и потолочных перекрытий.



Рисунок 4 — Тонковолоконные минераловатные плиты АкустикKnauf

Компания «Акустик групп» (Acoustic Group) занимается разработкой и производством звуко- и виброизоляционных материалов, бескаркасной изоляцией стен и полоточных перекрытий, изоляцией пола и др.

Для бескаркасной изоляции стен и полоточных перекрытий специалисты компании рекомендуют модели АКУ-line ГКЛА, ЗИПС, Вибросил и Вибростек. В перечне предложения изоляторы для каркасных облицовок Виброфлекс, Шуманет, Вибростек и Саундлайн. Для бескаркасной отделки тонких стен и перегородок адаптирована эффективная звукоизоляция Саундлайн-ППП Супер. С учётом конструктивных особенностей пола, разработаны звукоизоляционные материалы Акуфлор, ЗИПС, Шуманет и Акуфлекс. В категорию отделочных материалов для стен и потолочных перекрытий входят модели Sonaspray и Soundboard.



Рисунок 5 - Минераловатные плиты компании «Технониколь»

В ассортименте выпускаемой продукции шумозащитные перфорированные, светопрозрачные и антивандальные панели, а также звуконепроницаемые двери.

Компания «Технониколь» занимается производством минераловатных плит с улучшенными звукоизолирующими характеристиками (рис. 5).

В работах по звукоизоляции полов под бетонную стяжку высоким качеством отличается продукция Техноэласт (рис. 6) и Технофлор. Для звукоизоляции стен и горизонтальных конструкций адаптированы характеристики модели Техноакустик.



Рисунок 6 – Звукоизоляция полов «Техноэласт» компании «Технониколь»

Компания «Rockwool» является одним из ведущих производителей минераловатных тепло- и звукоизолирующих материалов. Компания позиционирует себя в качестве крупнейшего производителя минераловатных тепло- и звукоизолирующих материалов. В перечне выпускаемой продукции – ряд моделей, обладающих эффективными звукопоглощающими свойствами. Акустик Ультратонкий или Акустик Баттс – эффективный вариант звукоизоляции стен и полочных перекрытий. Флор Баттс - материал для шумоизоляции плавающих полов.

Компания «Isover» занимается производством широкого спектра современных изоляционных материалов на основе долговечного в эксплуатации минераловатного и стекловолоконного сырья.

Компания «МАКС-ФОРТЕ» производит звукоизолирующие и звукопоглощающие плиты, панели, рулоны и др.

Компания «URSA» занимается производством минераловатных, стекловолоконных и пенополистирольных материалов. Звукопоглощающими свойствами обладает следующая продукция:

- Гео. Лёгкий, мягкий и эластичный материал предназначен для звукоизоляции каркасных оснований.

- Terra - это полужесткие стекловолоконные плиты с повышенной влагостойкостью.

- Pureone. Изоляция отличается от однотипных аналогов наличием акрилового связующего.

Компания «Tecsound» производит звукоизоляционные мембраны в виде самостоятельной звукоизоляционной прослойки или в сочетании с другими мягкими утеплителями и звукоизоляторами в составе многослойных покрытий (рис. 7).



Рисунок 7 – Звукоизоляционная мембрана компании «Tecsound»

В базе данных выделяются следующие основные виды полимер-неорганических строительных композитов:

- Стеклопластики;
- Дисперсно-наполненные полимеры;
- Композиты на основе керамики;
- Композиты на основе золошлаков;
- Полимерные бетоны;
- Текстолиты;
- Наногибридные полимер-неорганические композиты и др.

Стеклопластики включают материалы, в которых используется полимерная основа, армированная стеклянными включениями [9]. Их производят нагреванием неорганического стекла, формируя подходящие по размеру волокна. В качестве матрицы в основном используют эпоксидные смолы. Стеклопластик - недорогой материал, активно используемый в строительстве, изготовлении приборов и спортивного инвентаря. Он применяется во многих сферах из-за своих свойств - низкой теплопроводности, прочности.

Дисперсно-наполненные полимеры – для них наполнителем служат порошки. Они добавляются для снижения стоимости или для придания материалу определенных свойств. Современный дешевый порошковый наполнитель - каолин. Готовый композит используется обычно для изготовления труб. В состав могут входить природные компоненты - песок, древесная мука, глина, тальк, мел. Для создания материала с нужными свойствами и показателями прочности используют порошки разной твердости.

Композиты на основе керамики – в их основании используются неорганические полимеры и керамические смеси. Они бывают природного

происхождения и искусственно созданные. В матрицу добавляются высокопрочные наполнители — волокна, порошки, сетки.

Путем разного сочетания компонентов можно контролировать свойства готового материала и добиваться нужных характеристик в зависимости от планируемой сферы применения. Керамические композиты становятся частью деталей автомобилей, самолетов, космической техники. Они подходят для производства изделий, которые будут работать в агрессивных условиях — при больших нагрузках, на высоких скоростях и при воздействии экстремальных температур.

Полимерные бетоны – это бетоны с полимерным заполнителем. Они созданы с целью ликвидации или уменьшения недостатков цементного бетона. В них минеральное вяжущее (цемент, силикат) частично или полностью заменяется полимерами, как правило, это полиэфирные смолы, реже эпоксидные. Можно выделить следующие основные типы полимерных бетонов:

Полимербетоны – бетоны, где связующим является полиэфирная смола (без участия цемента и воды); бетоны на основе полимерных связующих (с присутствием цемента, но без участия воды).

Полимербетон на полиэфирной смоле состоит из мраморной крошки (на 85%), связующего - полиэфирной смолы (15%), модифицированных добавок и красящего пигмента. Цемента в данной рецептуре нет. Изделия из искусственного камня легкие, влагостойкие, (влагопоглощение составляет всего 0,2%, то есть практически отсутствует) устойчивые к колебанию температур (от -50 до +60 градусов С).

Полимерцементный бетон. В полимерцементных бетонах в бетонную или растворную смесь добавляют в небольших количествах (5...15 % от массы цемента) полимер, хорошо совместимый с цементным тестом. Этому соответствуют водорастворимые олигомеры, отверждающиеся в процессе твердения бетона (например, водорастворимые фенол-формальдегидные полимеры) или чаще водные дисперсии полимеров (поливинилацетата, синтетических каучуков, акриловых полимеров и др.). Полимерцементные растворы и бетоны отличаются высокой адгезией к большинству строительных материалов, низкой проницаемостью для жидкостей, очень высокой износостойкостью и ударной прочностью. Применяют полимерцементные материалы для покрытий полов промышленных зданий, взлетных полос аэродромов, наружной и внутренней отделки по бетонным и кирпичным поверхностям, в том числе для приклеивания керамических, стеклянных и каменных плиток, устройства резервуаров для воды и нефтепродуктов.

Пластобетон - разновидность бетона, в котором вместо минерального вяжущего использованы термореактивные полимеры (эпоксидные, полиэфирные, фенолформальдегидные и др.). Полимербетон получают смешиванием полимерного связующего и заполнителей. Связующее состоит из жидкого олигомера, отвердителя и тонкомолотого минерального

наполнителя, необходимого для уменьшения расхода полимера и улучшения свойств полимербетона. Главное свойство пластобетона — высокая химическая стойкость в кислотных и щелочных средах. Пластобетоны обладают высокой прочностью ($\text{Ясж} = 60 \dots 100 \text{ МПа}$, $\text{ЯИзг} \sim 20 \dots 40 \text{ МПа}$), плотностью, износостойкостью и отличной адгезией к другим материалам. При этом пластобетоны характеризуются повышенной деформативностью и невысокой термостойкостью. Их стоимость намного выше стоимости обычного бетона, но несмотря на это, полимербетоны эффективно используют для устройства защитных покрытий и изготовления конструкций, работающих в условиях химической агрессии (химические и пищевые предприятия), ремонта каменных и бетонных элементов (восстановление поверхности, заделка трещин и т. п.).

Бетонополимер - это бетон, пропитанный после затвердевания мономерами или жидкими олигомерами, которые после соответствующей обработки (например, нагревания) переходят в твердые полимеры, заполняющие поры и дефекты бетона. В результате этого резко повышаются прочность бетона, его морозостойкость и износостойкость. Бетонополимер практически водонепроницаем. Для получения бетонополимера главным образом применяют стирол и метилметакрилат, полимеризующиеся в бетоне в полистирол и полиметилметакрилат.

Текстолиты - это полимерные композиты со слоистой структурой и тканевым наполнителем. Чаще всего из них делают кухонные поверхности — столешницы, декоративные панели. Производятся по технологии горячего прессования с предварительной пропиткой и сушкой. Слой полимерной матрицы армируется натуральным или синтетическим текстилем. Когда текстолиты только начали производить, они всегда имели форму пластины. Сейчас они доступны в разных формах. Из него производят амортизирующие и уплотнительные прокладки, подшипники.

Наногибридные полимер-неорганические композиты. Наряду с волокнистыми, среди полимерных композитов большое значение, особенно в последние годы, приобрели наногибридные полимер-неорганические композиты. В таких материалах расстояния между сетками и слоями, образованными полимерными и неорганическими компонентами, а чаще всего и размеры образующихся частиц, в том числе и металлосодержащих, имеют нанометровые размеры. Органическая фаза может захватывать металлочастицы внутри своеобразной «ловушки» с оптимальными размерами полимерной или оксидной сетки, полимерного звена. В качестве неорганических составляющих используют оксиды кремния и алюминия, ванадия и молибдена, стекла, глины слоистые силикаты и цеолиты, фосфаты и халькогениды металлов, графит и др.

Блок химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов включает в себя:

- Химические компоненты;
- Радиационные свойства;

- Звукоизоляция и звукопоглощение;
- Виброизоляция и вибропоглощение;
- Токсикологические характеристики;
- Пожароопасность;
- Возможность утилизации композита и др.

Блок химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов. Химические компоненты могут включать диоксид серы, нитраты, фосфор общий и неорганический, сероводород и сульфиды, цианиды, барий, фосфаты, аммоний, нитриты, хром, формальдегид, фенолы, селен, азот общий и др. [1, 4, 12, 16, 19 и др.].

Основную токсичную нагрузку в объеме композита несет полимерная матрица. Преимущественно применяются эпоксидные, эпоксифенольные и фенолформальдегидные смолы. По своей природе и химическому составу указанные смолы относят ко 2 классу опасности (высокоопасный) по степени воздействия на человека. Например, эпоксидные смолы содержат формальдегид, фенолы.

Следует отметить, что эксплуатация композитных материалов часто связана с достаточно высоким уровнем воздействия факторов окружающей среды, таких как солнечный свет и кислород воздуха, механические воздействия и взаимодействие с водой. При эксплуатации композитных материалов на основе эпоксидных смол возможна эмиссия (выделение) ряда загрязняющих веществ в воздух, особенно при неправильной обработке, повреждении материала или воздействии высоких температур. Основные источники и типы выделяемых веществ зависят от стадии жизненного цикла материала, но при эксплуатации (в отличие от производства или переработки) основными являются следующие:

Эпоксидные смолы могут содержать летучие органические соединения (ЛОС), включающие остаточные мономеры, пластификаторы, растворители или добавки, которые постепенно выделяются в воздух. Эмиссия ЛОС обычно снижается со временем после отверждения, но может возобновляться при нагреве, УФ-облучении или механическом повреждении.

Остаточный эпихлоргидрин (1-Хлор-2,3-эпоксипропан; 2-хлорпропилен оксид) - токсичное вещество 2 класса опасности, потенциально канцерогенное.

Бисфенол А (ВРА) - вещество 3 класса опасности, может выделяться при старении или термическом воздействии.

Амины и имидазолы (в большинстве вещества 3 класса опасности) – это ускорители отверждения, они могут испаряться в виде паров (особенно при нагреве или термоокислительной деструкции при старении).

К ЛОС также относятся растворители (например, ксилол, толуол, ацетон), если они использовались при производстве или нанесении.

Перечень этих веществ должен быть внесён в списки контролируемых для работ по оценке воздействия эпоксидных композитных материалов на окружающую среду в воздухе и воде при контакте.

Если композит подвергается трению, шлифовке, ударным нагрузкам или разрушению, то образуются также микрочастицы наполнителей (стекловолокно, углеволокно, минеральные наполнители). В большинстве случаев это относительно химически инертные компоненты.

Фрагменты полимерной матрицы могут содержать неотвержденные остатки смолы.

Радиационные свойства. Соответствие требованиям по радиационным свойствам полимерсодержащих строительных композитов имеет существенное значение [4-8, 20 и др.]. Для оценки радиационных свойств материалов, в том числе композитных материалов, широко используются методы оценки активности радионуклидов.

Например, в золошлаках и зольных отходах от сжигания угля, нефтепродуктов и отходов могут накапливаться следующие радионуклиды и элементы:

- Урановые радионуклиды: U^{238} , U^{234} - концентрируются в золошлаках примерно в 4-7 раз больше, чем в исходном угле.
- Радий: Ra^{226} - также значительно обогащается в золошлаках и летучей золе.
- Торий и дочерние продукты: Th^{232} , Th^{228} , Pb^{210} , Po^{210} — концентрируются в золошлаках, причем наиболее летучие переносчики (Pb^{210} , Po^{210}) преимущественно в летучей золе.
- Калий: в виде стабильного и радиоактивного изотопа K^{40} — также содержится в золошлаках и летучей золе, иногда в повышенных концентрациях.
- Цезий (Cs^{137}) - как искусственный радионуклид, может присутствовать в золошлаках при загрязнении вследствие техногенных аварий, хотя в природных золошлаках обычно не встречается.
- Стронций (Sr^{90}) - техногенный радионуклид, при обычном сжигании нехарактерен для золошлаков, но может присутствовать при радиоактивном загрязнении.

Классы строительных материалов по содержанию радионуклидов и разрешенное применение:

- Материалы I класса: удельная эффективная активность природных радионуклидов Аэфф до 370 Бк/кг — допускается применение во всех видах строительства, включая жилые и общественные здания;
- Материалы II класса: Аэфф до 740 Бк/кг — разрешены для промышленного и дорожного строительства в населенных пунктах и зонах перспективной застройки;
- Материалы III класса: Аэфф до 1500 Бк/кг — применяются в дорожном строительстве за пределами населенных пунктов;

- Материалы IV класса: Аэфф выше 1500 Бк/кг — использование возможно только по специальному разрешению федеральных органов.

Использование сырья и материалов с эффективной удельной активностью природных радионуклидов выше 1500 Бк/кг в жилом, общественном и большинстве производственных строек запрещено.

Все строительные материалы должны иметь санитарно-гигиенические сертификаты с указанием удельной эффективной активности радионуклидов, а контроль за содержанием радионуклидов обязателен как при производстве, так и при применении строительных материалов. Основным контролируемый параметр - удельная эффективная активность природных радионуклидов (Аэфф), измеряемая в Беккерелях на килограмм (Бк/кг), включает суммарную активность радия-226, тория-232 и калия-40 с учетом их биологического воздействия.

Звуковиброизоляция и звуковибропоглощение. Важной задачей является создание полимерных композитных материалов, имеющих высокую эффективность звуковиброизоляции и звуковибропоглощения на широком диапазоне частот, а также имеющих соответствующие функциональные и эксплуатационные свойства [2, 3, 9-11, 15,17, 18 и др.]. Например, звукопоглощающие материалы в случае применения в помещении должны обладать набором функциональных и эксплуатационных свойств:

- обладать коэффициентом формы, позволяющим создавать изогнутые (криволинейные) поверхности звукопоглощающей облицовки;
- обеспечить выполнение противопожарных требований - быть негорючими и не способствовать распространению огня;
- быть термо- и влагостойкими, сохранять свои звукопоглощающие свойства в течение всего периода эксплуатации;
- допускать возможность очистки, в том числе и влажным способом;
- не выделять в воздух помещения никаких химических веществ и не оказывать вредного воздействия, опасного для здоровья людей, в том числе и возможных осколков, волокон или «корольков»;
- обеспечивать легкость монтажа и возможность, в случае необходимости, замены отдельных поврежденных элементов облицовки.

В настоящее время создан целый ряд технических решений звуковиброизолирующих и звукопоглощающих композитных материалов. При этом существующие решения имеют ряд недостатков, поэтому важной задачей является разработка звуковиброизолирующих и поглощающих полимерных композиционных материалов с повышенной эффективностью.

Токсикологические характеристики полимер-неорганических строительных композитов имеют важное значение при практическом использовании полимерсодержащих композитов. С точки зрения токсичности основным источником экологической опасности в жилых зданиях являются полимерные строительные композиты. Токсичность строительных материалов оценивают путем сравнения с ПДК выделяющихся токсичных веществ и элементов, называемых эмиссией. Первостепенное

значение для такой оценки имеет класс опасности, состав вредных веществ и их количественное содержание. Повышенным токсическим воздействием обладают полимеры на основе карбамидных смол, выделяющие формальдегид в количестве, превышающем допустимый уровень. В свободном состоянии формальдегид представляет собой раздражающий газ, обладающий общей токсичностью. Он подавляет действие ряда жизненно важных ферментов в организме, приводит к заболеваниям дыхательной системы и центральной нервной системы. Полимеры на основе фенолформальдегидных смол выделяют в воздушную среду помещений фенол и формальдегид. Токсичность выделяющихся веществ во многом зависит от марки смолы. Эпоксидные смолы содержат летучие токсичные вещества: формальдегид, дибутилфтолат, эрихлоргидин (ЭХГ) и др. Например, полимербетон (ПБ) на основе эпоксидной смолы ЭД-6 с введением в его состав пластификатора МГФ-9 снижает выделение вредных веществ и может быть рекомендован только для промышленных и общественных зданий.

Пожароопасность полимер-неорганических строительных композитов может быть различна и определяется рядом характерных физико-химических параметров, исходя из свойств композитов. Методы оценки пожарной безопасности и пределов огнестойкости полимерных композитов определены в ГОСТ Р 56206-2014.

Возможность утилизации полимер-неорганических строительных композитов имеет важное значение с точки зрения обеспечения экологической безопасности. С ростом производства полимерных композиционных материалов проблема утилизации становится критической. Ежегодно образуются тысячи тонн композитных отходов. В настоящее время выделяют физические, химические и термические методы утилизации. Для каждого типа композитов целесообразно использовать свой метод утилизации. Например, для стеклопластиков это пиролиз и термокатализ. Золошлаковые отходы ТЭЦ используются в золоцементных композитах для дорожного строительства [13].

Блок справочных данных включает в себя:

- Справочники;
- Нормативные документы;
- Научно-техническую информацию;
- Патенты по полимер-неорганическим строительным композитам и др.

Например, нормативные ограничения на содержание радионуклидов в строительных материалах в России регулируются следующими основными документами:

- СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)»;
- ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов»;
- СанПиН 2.6.1.2800-10 «Требования радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения».

В качестве примера входящих в базу данных патентов можно указать патенты, полученные на звукоизолирующие и звукопоглощающие композитные материалы, в том числе:

Изобретения:

- Богачук А.В., Бухаров С.Н., Сергиенко В.П., Циркунов С.В., Якимович Н.В. Звукопоглощающий композиционный материал. Патент на изобретение RU 2575102, дата публикации: 10.02.2016.;
- Малицкий А.В. Композитный слоистый материал (варианты). Патент на изобретение RU 2529687 С2, дата публикации 27.09.2014.;
- Паньков Л.А. Многослойная шумопоглощающая панель. Патент на изобретение RU 2265251 С2, дата публикации 27.11.2005.;
- Фомин В.В., Каблуков В.И., Тороян Р.А., Ожев А.Н. Способ переработки отходов пластмасс в строительный материал. Патент на изобретение RU № 2302433, С 8, дата публикации 10.07.2007.;
- Фомин В.В., Каблуков В.И., Тороян Р.А. Способ изготовления строительного материала. Патент на изобретение RU №2302434, С8, дата публикации 10.07.2007.

Полезные модели:

- Игошин В.Л. Теплоизоляционная, звукоизолирующая плита перекрытия. Патент на полезную модель RU 93839 U1, дата публикации 10.05.2010.;
- Игошин В.Л. Многослойная стеновая панель повышенной прочности «эф-панель» (варианты). Патент на полезную модель RU 76935 U1 10.10.2008.;
- Корнев С.В. Плавающая монолитная резонансная звукоизолирующая и звукопоглощающая система. Патент на полезную модель RU 181404 U1, дата публикации 12.07.2018.;
- Корнев С.В., Борисов Л.А., Шубин И.Л. Многослойный звукоизолирующий композит. Патент РФ на полезную модель RU 167691 U1, опубл. 01.10.2017 г.;
- Корнев С.В., Шилов Д.В. Звукопоглощающий композитный материал с экранирующей мембраной (варианты). Патент на полезную модель RU 144019 U1, дата публикации 10.08.2014.;
- Коршунов А.Н. Звукопоглощающая сэндвич-панель. Патент на полезную модель RU 207372 U1, дата публикации 25.19.2021.

Блок методик ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду включает в себя:

- Методику балльно-рейтингового ранжирования количественных характеристик;
- Методику экспертных оценок;
- Методику ABC;
- Методику оценки по индексу значимости экологического аспекта;

- Методику MI (material input);
- Методику Парето и др.

Автором предложена методика балльно-рейтингового ранжирования экологических характеристик полимер-неорганических композитов, основанная на оценке степени потенциальной экологической опасности, воздействию на человека и др. Суммарный рейтинговый балл определяется суммированием составляющих балльной оценки. Его предлагается оценивать согласно следующей шкале: 12-15 баллов – максимально высокая экологическая опасность; 8-11 баллов – высокая экологическая опасность; 4-7 баллов – средняя экологическая опасность; 1-3 баллов – низкая экологическая опасность. Таким образом, суммарный рейтинговый балл имеет четыре градации, отражающие степень негативного экологического воздействия полимер-неорганических композитов на человека и окружающую среду.

Методика экспертных оценок значимости экологических аспектов воздействия полимер-неорганических композитов может применяться как самостоятельно, так и в виде дополнения к приведенным выше методикам. Для использования данного метода приказом руководства создается экспертная группа из числа наиболее компетентных специалистов в области охраны окружающей среды, а также специалистов из смежных областей деятельности. Экспертная оценка осуществляется, как правило, в три этапа. На первом этапе определяется компетентность самих экспертов.

На втором этапе каждый допущенный к оценке эксперт заполняет индивидуальную оценочную анкету, в которой присваивает каждому экологическому аспекту оценку по десятибалльной шкале. На третьем этапе работы оцененные экспертами показатели экологических аспектов воздействия полимер-неорганических композитов заносятся в таблицу ранжирования в порядке убывания значений от максимального значения к минимальному.

Методика ABC - это методика ранжирования экологических характеристик полимер-неорганических композитов в по приоритетности, который заключается в присвоении характеристике одного из трех буквенных обозначений - кодов приоритетности: А, В или С. Эти буквенные коды имеют следующие значения: А - характеристика является особо важной, оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, имеет высокий уровень приоритетности, требует немедленного реагирования, проведения мероприятий; В - характеристика является важной, имеет средний уровень приоритетности, является опасной для здоровья человек аи окружающей среды, требует принятия мер в среднесрочной перспективе; С - характеристика не является экологически опасной и не требует проведения мероприятий.

Индекс значимости экологического аспекта - балльная оценка суммарного воздействия экологического аспекта на окружающую среду по

количеству, масштабу, вероятности и продолжительности воздействия с учетом уровня контроля и управления аспектом.

МІ-числа (material input) представляют собой общее количество природных ресурсов, затрачиваемых при производстве полимер-неорганических композитов.

Блок результатов ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду включает в себя результаты ранжирования по различным отдельным характеристикам композитов, а также результаты ранжирования суммарного воздействия нескольких компонентов.

На следующих этапах исследования будут проведены экспериментальные исследования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических композитов, результаты которых будут включены в базу данных и позволят осуществлять их ранжирование, оценивать потенциальные компоненты полимер-неорганических композитов, оказывающие негативное воздействие на человека и загрязнение окружающей среды.

Обучающий блок включает учебники, учебные пособия и другие обучающие материалы, например, [1].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование предложенной базы данных позволяет определить возможности существующих и новых полимер-неорганических композитов с точки зрения экологической безопасности, разработать новые методы и технические решения по снижению негативного воздействия полимер-неорганических композитов на человека и окружающую среду.

На следующих этапах работы будут проведены экспериментальные исследования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических композитов, результаты которых будут внесены в базу данных.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарного гранта Российского научного фонда, проект № 25-69-00012

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
2. Васильев А.В. Моделирование и снижение низкочастотного звука и вибрации энергетических установок и присоединенных механических систем: монография / Самара, 2011.

3. Васильев А.В. Исследование низкочастотного шума с целью его снижения при работе компрессорных установок. «Экология и промышленность России», г. Москва, 2023 г., т. 27, №4, с.50-55.
4. Васильев А.В. Методы и подходы к исследованию экологических характеристик полимерсодержащих композитных материалов. В сборнике материалов Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности-2025», – Казань: Изд-во КНИТУ, 2025, с. 787-793.
5. Васильев А.В., Ермаков В.В., Чипура А.С. Методика определения состава и свойств полимерсодержащих композитных материалов строительного назначения на основе активности радионуклидов и её реализация на примере золошлаковых отходов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 27, №3(2), с. 452-458.
6. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска. Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №4. С. 171-178. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-171-178.
7. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Результаты экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска. Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №4. С. 179-184. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-4-179-184.
8. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Анализ зависимостей распределения радионуклидов от способа переработки нефтесодержащих отходов. Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №6. С. 181-191. DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-6-181-191.
9. Васильев А.В. Особенности исследования звукоизолирующих и звукопоглощающих характеристик полимерсодержащих композитных материалов. В научном журнале "Математические методы в технологиях и технике". 2025. №10. С. 53-56.
10. Корнев С.В., Борисов Л.А., Шубин И.Л. Многослойный звукоизолирующий композит. Патент РФ на полезную модель RU 167691 U1, опубл. 01.10.2017 г.
11. Корнев С.В., Шилов Д.В. Звукопоглощающий композитный материал с экранирующей мембраной (варианты). Патент на полезную модель RU 144019 U1, дата публикации 10.08.2014.
12. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с.
13. Мусатов В.М., Петушков В.С., Петропавловская В.Б. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ в золоцементных композитах для дорожного строительства. Направления развития российской науки: теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов:

Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тверь, 10–31 января 2021 г. Под редакцией Т.Б. Новиченковой. Часть 1. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2021. – С. 61-65.

14. Шаповалов В. М. Экологические проблемы в получении и применении полимерных композитов в Республике Беларусь. Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 1. С. 71–81.

15. Luzzi S., Vasilyev A.V. Auditory and non-auditory effects, monitoring and mapping of occupational exposure to noise. Noise Mapping, 2022, Vol. 9, issue 1, pp. 146-156.

16. Vasilyev A.V. Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation "Le vie dei Mercanti" Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum). Сер. "Fabbrica della Conoscenza series" Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.

17. Vasilyev A.V. Research and mapping of low frequency noise generated by power plants of industrial enterprises. Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 39, April 2021, pp. 105-109.

18. Vasilyev A.V. Approaches to classification of reduction methods of low frequency noise and vibration of power plants. Journal "Akustika", Czech Republic, Volume 41, November 2021, pp. 52-55.

19. Vasilyev A.V., Khamidullova L.R., Nyukhtina L.V. Environmental Control Of Toxicity Of Urban Territories Using Biological Monitoring Methods. Proc. of the international scientific conference (X International forum) Less More Architecture. Design. Landscape "Le vie dei Mercanti", 30 May – 4 June 2012, Aversa-Capri, Italy, pp. 1245-1252.

20. Wozniak A.I., Ivanov V.S., Zhdanovich O.A., Nazarov V. I., Yegorov A.S. Modern approaches to Polymer Material Protecting from Ionizing Radiation, 2017, Vol. 33, No. 5, pp. 2148-2163.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

ANALYSIS OF APPROACHES TO THE ESTIMATION OF VARIABILITY OF THE MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

A.D. Volkova, O.V. Tupitsyna
Samara State Technical University, Samara, Russia

ABSTRACT

The article provides an overview of the development of methodologies for studying the morphological composition of municipal solid waste (MSW). An analysis is conducted of the strengths and weaknesses of three key stages in the evolution of the methodology: from the first data systematization to the modern method adopted in 2024.

Keywords: hazardous noise, noise silencer contamination, throughput, research

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

А.Д. Волкова, О.В. Тупицына
Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор развития методик исследования морфологического состава твердых коммунальных отходов (ТКО). Проведен анализ сильных и слабых сторон трех ключевых этапов в развитии методологии: от первой систематизации данных до современной методики, утвержденной в 2024 году.

Ключевые слова: нефтепродукты, предприятие, система учета, автоматизация процессов, исследование

Исследование морфологического состава твердых коммунальных отходов (ТКО) является важной задачей для эффективного управления отходами и планирования мероприятий по их переработке и утилизации. За

последние десятилетия методология изучения морфологического состава ТКО прошла значительный путь развития, от первых попыток систематизации данных до современных стандартизированных методик.

Целью данной статьи является анализ исторического генезиса методик исследования морфологического состава отходов, выявление их сильных и слабых сторон, а также определение перспектив дальнейшего развития методологии в этой области. Для достижения поставленной цели в статье рассматриваются три ключевых этапа развития методик, дается их подробная характеристика и сравнительный анализ. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования существующих методик и разработки новых подходов к изучению морфологического состава ТКО.

Первая систематизация данных о морфологическом составе отходов была проведена учеными и утверждена в справочнике «Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание)» [4]. Данная методика обладает рядом сильных сторон, таких как охват основных параметров (морфологический состав, плотность, влажность, зольность и др.), учет сезонных изменений, детализация морфологического состава, разделение фракций для анализа, учет влияния различных факторов. Методика также предусматривает определение необходимого количества отбора проб и применение компьютерных программ для обработки результатов.

Стоит отметить, что данная методика имеет и ряд слабых сторон. Ориентировочные нормы накопления твёрдых коммунальных отходов могут использоваться только для укрупненных расчетов и планирования, так как для разных городов нормы накопления меняются в широких пределах. Проведение полного анализа состава и свойств ТКО является трудоемким и сложным процессом, требующим специального оборудования и квалифицированного персонала. В методике не всегда четко определены критерии для отнесения отходов к той или иной морфологической группе, что может приводить к субъективности при разборке проб.

Следующий этап характеризуется выходом новых ГОСТов и федеральных природоохранных нормативных документов. Основы исследования морфологического и фракционного состава ТКО изложены в пособии «Методика исследования свойств твердых отбросов» [2] и «ПНД Ф 16.3.55–08. Твердые бытовые отходы. Определение морфологического состава» [3]. В методиках определены рекомендации по выделению 14 типов компонентов отходов, общий подход к методу отбора проб.

Однако данные документы [2, 3] не содержат руководства по практическому выполнению исследований, отсутствует подробный перечень определяемых видов компонентов, критериев отнесения к конкретному виду компонентов, требований к воспроизводимости и точности измерений. Кроме того, вышеупомянутые рекомендации были разработаны давно и не учитывают современные потребности рынка в компонентах вторичного сырья и новые виды упаковочных материалов и продукции. Это приводит к

тому, что исследования, выполненные разными специалистами в разное время, часто нельзя обобщить и адекватно сравнить.

Последний этап характеризуется публикацией ППК «Российский экологический оператор» методики в ноябре 2024 года [1]. Методика обладает рядом сильных сторон, таких как охват различных потоков отходов в системе обращения с ТКО, комплексный подход с определением плотности, фракционного состава, влажности и зольности, использование гравиметрического метода, подробное описание процедуры, учет фракционного состава, определение компонентного (морфологического) состава отходов, расчет погрешности.

Важно и то, что методика определения морфологического состава твердых коммунальных отходов имеет ряд ограничений и недостатков. Например, классификация компонентов отходов при ручной разборке может носить субъективный характер, что приводит к расхождениям в результатах, полученных разными исследователями. А также точность анализа зависит от качества используемого оборудования и уровня подготовки персонала, проводящего исследование. Стоит отметить, что методика не предусматривает возможность автоматизации процесса, что могло бы повысить эффективность работы и минимизировать вероятность ошибок. Наконец, требования к отбору и подготовке проб могут быть недостаточно детализированы, что влияет на репрезентативность полученных результатов.

В целом, представленная методика является достаточно подробной и учитывает основные факторы, влияющие на состав и свойства ТКО. Однако для получения более точных и надежных результатов необходимо учитывать слабые стороны методики и проводить дополнительные исследования, учитывающие специфику конкретного региона и объекта исследования.

Проведенный анализ применяемых в разное время методик исследования морфологического состава ТКО показал, что за последние десятилетия был достигнут значительный прогресс в развитии методологии. От первых попыток систематизации данных до современной методики, утвержденной ППК «Российский экологический оператор» в 2024 году, методики становились все более детализированными, охватывали больше параметров и учитывали влияние различных факторов.

Однако, несмотря на значительные улучшения, существующие методики все еще имеют ряд ограничений и недостатков, которые были рассмотрены в настоящей статье.

Для дальнейшего развития методологии исследования морфологического состава ТКО необходимо учитывать слабые стороны существующих методик и проводить дополнительные исследования, адаптированные к специфике конкретных регионов и объектов. Перспективными направлениями являются разработка автоматизированных систем анализа морфологического состава, создание более детальных классификаторов компонентов и совершенствование процедур отбора и подготовки проб. Только комплексный подход, основанный на критическом

анализе существующих методик и внедрении инновационных решений, позволит получать надежные и сопоставимые данные о морфологическом составе ТКО, необходимые для эффективного управления отходами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика измерений компонентного состава и свойств твердых коммунальных отходов для планирования и оценки эффективности мероприятий в области обращения с отходами, в том числе для оценки выбросов парниковых газов / Утв. ППК «Российский экологический оператор» от 06.11.2024 // Федеральный реестр методик выполнения измерений. - М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - 2024. – 39 с.
2. Методика исследования свойств твердых отбросов [Текст] / Акад. коммун.хоз-ва им. К. Д. Памфилова. - Москва :Стройиздат, 1970. - 144 с.
3. ПНД Ф 16.3.55–08. Твердые бытовые отходы. Определение морфологического состава // Федеральный реестр методик выполнения измерений. - М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - 2023. – 10 с.
4. Твердые бытовые отходы : (Сбор, трансп. и обезвреживание) : Справочник / Систер В.Г., Мирный А.Н., Скворцов Л.С. [и др.]. - Москва : Акад. коммун.хоз-ва им. К.Д. Памфилова, 2001. - 319 с.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

APPLICATION OF A COMBINED REAGENT PREPARATION IN BIOTECHNOLOGY OF WASTEWATER TREATMENT

O.V. Dukhanina, Y.V. Kobeleva, A.S. Sirotkin
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

ABSTRACT

The impact of the developed reagent formulation (coagulant-flocculant) on the processes of biological wastewater treatment during its direct interaction with activated sludge has been evaluated. The studies were conducted on municipal, industrial wastewater, and their model solutions. The efficiency of the treatment process was assessed based on changes in the concentration of organic substances (by COD), the progress of dephosphatation, the removal of phenols, and changes in the sedimentation properties of the sludge mixture. It was shown that the investigated samples of the developed reagent do not provide dephosphatation efficiency higher than 30-40%, which may fall within the range of the natural process of microbiological dephosphatation. However, an increase in the efficiency of organic matter and phenol removal was established, which could be relevant for treatment facilities of industrial enterprises in the petrochemical sector. Currently, research is ongoing to achieve a more optimal and effective formula with a broad range of applications in wastewater treatment processes.

Keywords: wastewater, treatment, ecological safety, biotechnology, dephosphatation

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО РЕАГЕНТНОГО ПРЕПАРАТА В БИОТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

О.В. Духанина, Й.В. Кобелева, А.С. Сироткин
Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

Оценено влияние разрабатываемого реагентного препарата (коагулянта-флокулянта) на процессы биологической очистки сточных вод при его прямом взаимодействии с активным илом. Исследования проводились на хозяйственно-бытовых и промышленных сточных водах, а

также на их модельных растворах. Эффективность протекания процесса очистки оценивалась по изменению концентрации органических веществ (по ХПК), протеканию процесса дефосфотации, удалению фенолов и изменению седиментационных свойств иловой смеси. Показано, что исследованные образцы разрабатываемого реагентного препарата не обеспечивают эффективность дефосфотации выше 30-40%, что может входить в диапазон естественного процесса микробиологической дефосфотации. Однако установлено повышение эффективности по удалению органических веществ и фенолов, что может быть актуальным для очистных сооружений промышленных производств нефтехимического комплекса. В настоящий момент исследования продолжаются для достижения оптимальной и эффективной рецептуры препарата, имеющей широкий диапазон применения в процессах очистки сточных вод.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, экологическая безопасность, мониторинг, биотехнология, дефосфотация

Повышение эффективности очистки сточных вод является одной из критически важных задач современности, обусловленной комплексом экологических, экономических, социальных и технологических факторов. Помимо этого, сточные воды, попадая в поверхностные и подземные воды, ухудшают качество источников питьевого водоснабжения, неся прямую угрозу здоровью населения.

Существующие станции очистки часто не справляются с растущей и меняющейся нагрузкой, поскольку многие промышленные предприятия часто сталкиваются с залповыми сбросами по органическим веществам на своих локальных очистных сооружениях, а ужесточение требований к качеству очищенных стоков, приводит к несоответствию с новыми нормативами. В связи с этим продолжает оставаться актуальным изыскание методов повышения эффективности очистки сточных вод при подобных явлениях.

В настоящий момент существующие методы очистки сточных вод зачастую недостаточно эффективны для достижения нормативных показателей на сброс в открытые водоемы. В связи с этим физико-химическая обработка с использованием коагулянтов и флокулянтов все чаще применяется на водоочистных сооружениях. Комбинация этих двух процессов позволяет достичь более высокого качества очистки воды по сравнению с их отдельным применением.

Несмотря на широкое использование в водоочистке традиционных коагулянтов на основе солей железа и алюминия (например, FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), их применение имеет существенные недостатки. Высокий расход реагентов делает процесс экономически невыгодным, а также ведет к вторичному загрязнению воды. В силу этих причин изыскание и разработка новых реагентных составов является актуальным направлением.

Исследования в данной работе направлены на поиск новых реагентных композиций, способных не только удалять основные загрязняющие компоненты сточных вод, но и улучшать работу активного ила, что повышает общую стабильность и надежность работы очистных сооружений. Разработка и применение собственного комплексного реагента (коагулянта-флокулянта) преследует цель найти более экономически доступную и эффективную альтернативу коммерческим импортным препаратам.

В работе был проведен сравнительный анализ эффективности процессов комплексной биологической и реагентной очистки сточных вод с оценкой состояния активного ила. Объектами экспериментальных исследований являлись реальная сточная вода очистных сооружений ПАО «Казаньоргсинтез» и ее модельный раствор, а также биоценоз активного ила. Исследуемым реагентом в данной работе являлся лабораторный образец реагентного препарата на основе соли железа и полимера.

На производстве ПАО «Казаньоргсинтез» существует несколько очередей очистки сточных вод, где происходит очистка промышленного стока, а также смеси хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Следует отметить, что компонентный состав, а также концентрации в исследуемых сточных водах отличаются друг от друга, поэтому для проведения лабораторных исследований готовились модельные растворы исследованных реальных сточных вод.

Модельные растворы имели постоянный состав, компоненты первого соответствовали характеристике смеси коммунально-бытовой и промышленной сточных вод (табл. 1), а второго – только промышленному стоку (табл. 2).

Таблица 1

Характеристика модельного раствора смеси коммунально-бытовой и промышленной сточной воды (МР1)

Показатель	Модельный раствор	Реальная сточная вода
pH	6,7-7,5	6,8-8,5
ХПК	350-680	300-700
N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	12,1-40	35,5-56,2
N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	-	-
N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Не более 0,5	Не более 0,5
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	7,5-12,5	4,5-9,8

Таблица 2

Характеристика модельного раствора промышленной сточной воды (MP2)

Показатель	Модельный раствор	Реальная сточная вода
pH	7,8-8,0	8,0-12,0
ХПК	500-800	500 - 1800
N-NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	5,0 – 25,0	0,3 – 25,0
N-NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	-	-
N-NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	Не более 0,5	Не более 0,5
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	1,0 – 3,0	0,5 – 2,0

Экспериментальные исследования проводились в процессе совместной очистки модельных растворов сточной воды с активным илом. Периодическое культивирование микроорганизмов активного ила проводилось в течение 4-х часов в стеклянных емкостях объемом 2 дм³ с непрерывной аэрацией среды. Контрольная система не содержала реагента; в опытные системы очистки вносилась исследуемая композиция реагента в дозировке 50 мкл/дм³. Выбор дозировки реагента определялся результатами ранее проведенных исследований.

Эффективность протекания процесса очистки оценивалась по изменению концентрации органических веществ (по ХПК), удалению фенолов, протеканию дефосфотации и изменению седиментационных свойств иловой смеси.

В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что при прямом внесении в активный ил предложенная рецептурареагентного препарата обеспечивает не больше 30-40% эффективности по удалению фосфатов из очищаемой воды и не подходит для интенсификации процесса дефосфотации.

Однако исследуемый реагент демонстрирует высокий потенциал для повышения эффективности биологической очистки, а именно для удаления органических веществ по значениям ХПК. Как показано на графике (рис. 1), использование реагентного препарата позволило достичь глубины очистки, превышающей результаты для биологического метода в отдельности - эффективность для опытной системы составила в среднем 60% по сравнению с контрольной системой.

Также значительный эффект был достигнут в отношении фенольных соединений. Средняя концентрация фенолов в сточной воде после комбинированной очистки с применением реагента снижалась в среднем на 90% относительно исходного уровня и на 25% относительно контрольного образца.

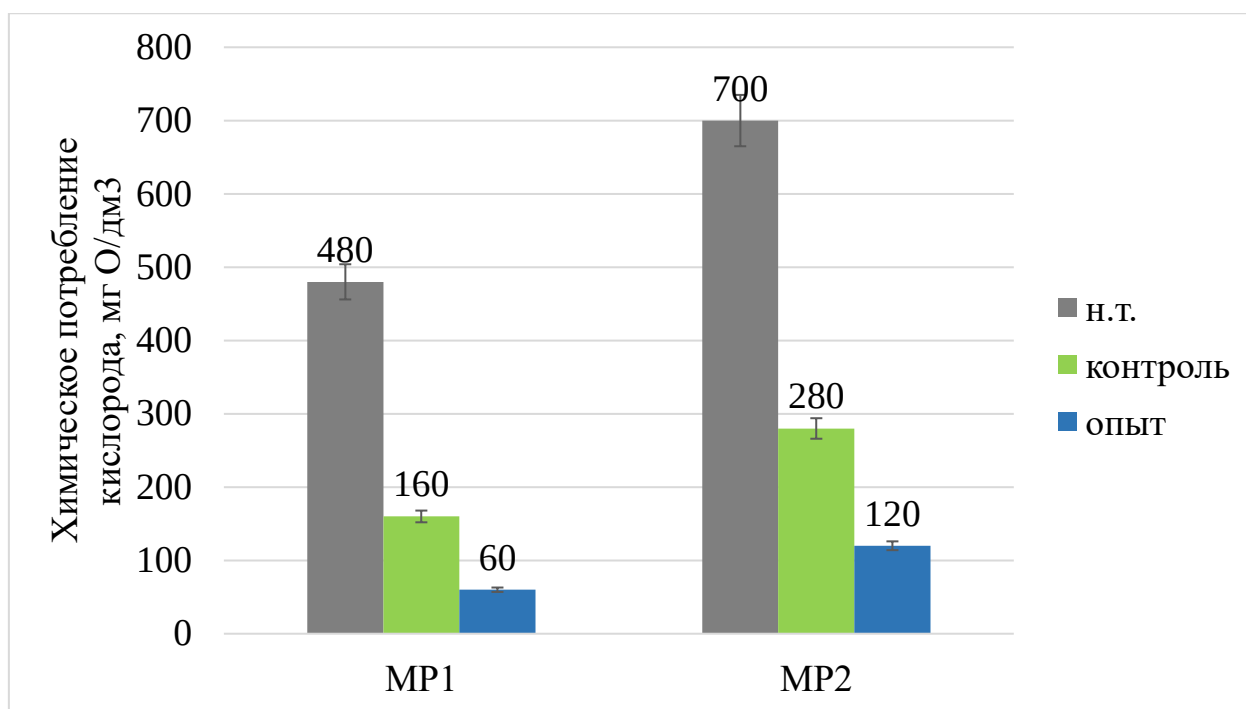


Рисунок 1 - Эффективность удаления органических веществ (по ХПК) в процессе биологической очистки сточных вод с применением лабораторного образца реагентного препарата (н.т. – начальная точка, исходное значение)

Следует отметить, что подобного рода реагентные препараты могут быть использованы не только на предприятиях химической промышленности, но и на других очистных сооружениях с высокими концентрациями органических веществ в сточной воде.

Для оценки эффективности скорости отделения активного ила от очищенной сточной воды в системы с активным илом вносился реагент в выбранной дозировке и измерялась скорость осаждения каждые 5 минут в течение 30 минут. Полученные результаты показали, что при применении реагентного препарата седиментация активного ила улучшается в среднем на 20 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобелева Й.В. Наноструктурированные реагенты на основе железа в процессах биологической очистки сточных вод / Кобелева Й.В., Сироткин А.С., Вдовина Т.В., Шургалина Н.Н., Сидорова Е.И. // Теоретическая и прикладная экология. 2020. - № 4. - С. 117-120.
2. Кобелева Й. В. Исследование эффективности инновационных реагентных препаратов на основе железа в процессе биологической очистки сточных вод / Й. В. Кобелева, О. О. Гурьянова, Е. И. Сидорова, О.В. Духанина, А.С. Сироткин // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Киров, 17 ноября 2020 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2020. – С. 348-352.

3. Пазухин, П. Ю. Повышение эффективности процесса биологической очистки сточных вод / П. Ю. Пазухин // Сборник докладов Всероссийской конференции по теплогазоснабжению и вентиляции, посвященной 70-летию со дня образования БГТУ им. В.Г. Шухова: Сборник докладов, Белгород, 01–26 апреля 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 193-197.
4. Заикина И. В., Назаров А. А., Вишневский С. А. Биологическая очистка сточных вод и методы ее интенсификации //Синтез междисциплинарного научного знания как фактор развития современной науки. – 2021. – С. 63-68.
5. Люленова В., Малаештян Ю. Перспективы использования наноматериаллов в экологии //Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction. 2020. Т.1. С. 187-191.
6. Аничкина Н. В., Никулина А. П. Биологическая очистка сточных вод на городских станциях аэрации //Научное обозрение. Биологические науки. – 2021. – №. 2. – С. 29-23.
7. Пакалова Е. В., Абуова Г. Б., Шарагин Л. А. Реагентный метод удаления фосфатов как способ улучшения качества очистки сточных вод //Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – №. 1 (47). – С. 46-50.
8. Шинкарук Н. А., Ницкая С. Г. Очистка сточных вод от фенола: технологии и перспективы //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2024. – Т. 16. – №. 3. – С. 182-189.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

AUTOMATION OF THE OIL STORAGE PROCESS SAFETY SYSTEM

T.D. Larionov

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino,
Russia

ABSTRACT

Objective: To develop a software package for automating the safety system of an oil storage process.

Problem: Manual monitoring of oil levels in tanks is associated with increased risks (falls, explosions, fires). There is a need to implement modern IT solutions to improve industrial safety.

Solution: A software product has been developed that allows:

- Visualization of tank farm operations.
- Calculation of pressure and temperature indicators.
- Monitoring hydrocarbon levels.
- Limiting parameter changes within hazardous ranges.

Implementation Results:

- Reduction in the risk of an adverse event by 49.5%.
- Reduction in individual and collective risk.

Keywords: technological process, safety, oil storage, automating, software product

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ НЕФТИ

Т.Д. Ларионов

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
г. Княгинино, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель исследования: предложить программный комплекс для автоматизации системы безопасности технологического процесса хранения нефти.

Проблема: ручной контроль уровня нефти в резервуарах связан с повышенными рисками (падения, взрывы, пожары). Существует необходимость внедрения современных IT-решений для повышения промышленной безопасности.

Решение: разработан программный продукт, который позволяет:

- Визуализировать работу резервуарного парка.
- Рассчитывать показатели давления и температуры.
- Контролировать уровень углеводородов.
- Ограничивать изменение параметров в опасных диапазонах.

Результаты внедрения:

- Снижение риска наступления неблагоприятного события на 49,5%.
- Снижение индивидуального и коллективного риска.

Ключевые слова: технологический процесс, безопасность, хранение нефти, автоматизация, программный продукт

В настоящее время проблема утилизации и хранения отходов нефти и газа становится всё более актуальной [4, 7-12, 15, 16].

Существующая во всем мире тенденция увеличения числа и размеров резервуарных конструкций и их парков приводит к повышению ответственности и опасности этих сооружений. Обеспечение их надежной и безопасной эксплуатации является актуальной проблемой [3, 13, 14]. Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, в частности резервуары вертикальные стальные (РВС), должны соответствовать требованиям технологической, технической, физико-химической и экологической безопасности, быть пожаровзрывобезопасными.

Использование IT-технологии при подготовке специалистов нефтегазовой отрасли в настоящее время имеет тенденцию к возрастанию [1, 2, 5, 6]. При этом отмечается низкий уровень контроля в сфере охраны труда, защиты природной среды и ликвидации аварий.

Очевидно, что при обучении инженеров по промышленной безопасности и охране окружающей среды также необходимо увеличивать использование новых информационных технологий. Пути повышения промышленной безопасности товарных парков (диагностика, анализ рисков, мониторинг технического состояния, оценка взрывоопасности резервуаров) наряду с уменьшением потерь углеводородов от испарения и снижением отложений нефти при хранении являются основными направлениями развития резервуаростроения, которое требует современных инновационных решений.

Исходя из этого было предложено внедрить программный комплекс для определения показателей взрывоопасности резервуара и визуализации процесса работы товарного парка.

Предполагается, что применяемый программный комплекс позволит наиболее безопасней производить различные технологические операции в резервуарном парке.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Предложить программный комплекс для визуализации процесса работы резервуарного парка;
2. Оценить риск после внедрения предлагаемых мероприятий;
3. Сделать выводы.

В настоящее время на предприятии измерения уровня жидкости нефти производится вручную, с помощью автоматических рулеток. Данный технологический процесс сопровождается следующими видами опасностей представленных в таблице 1.

Таблица 1

Основные опасности при измерении уровня жидкости нефти вручную

Скользкие, обледенелые, за жиренные, мокрые опорные поверхности	Падение при спотыкании или подскользывании, при передвижении по скользким поверхностям или мокрым полам	Использование противоскользящих напольных покрытий, использование противоскользящих покрытий для малых слоев грязи, использование незакрепленных покрытий с сопротивлением скольжению на обратной стороне (например, ковров, решеток и другое)
Перепад высот, отсутствие ограждения на высоте свыше 5 м	Падение с высоты или из-за перепада высот на поверхности	Заполнение материалом углублений, отверстий, в которые можно попасть при падении (например, с помощью разделительных защитных устройств), Защита опасных мест (использование неподвижных металлических листов, пластин)
Химические реакции веществ, приводящие к пожару и взрыву	Травмы, ожоги вследствие пожара или взрыва	Замена опасной работы (процедуры) менее опасной; механизация и автоматизация процесса

Разработан программный продукт (ПП) для определения показателей взрывоопасности резервуара и визуализации процесса работы РП (рисунок 1).

Разработка предоставляет следующие возможности: расчет показателей давления и температуры; контроль уровня углеводородов в резервуарах, используемых для постоянного выполнения технологических операций, длительного хранения, смещения и отстаивания.

The image shows a software application with two windows. The 'Главное окно' (Main window) contains two buttons: 'Основа' (Base) and 'Расчеты' (Calculations). The 'Расчеты' window is active and contains the following input fields:

Резервуар		Вещество	
Радиус, мм:	5215	Молярная масса, г/моль	94
Высота, мм:	8940	Плотность при температуре приема, кг/м³	1040
Парк		Плотность в н. у., кг/м³	1070
Длина, м:	70	Температура плавления, °C	40.9
Ширина, м:	46	Температура вспышки в закрытом тигле, °C	79
Количество резервуаров:	4	Температура кипения, °C	181.84
Диаметр труб, м:	1.2	Температура при приеме, °C	60

At the bottom of the 'Расчеты' window is a button labeled 'Рассчитать' (Calculate).

Рисунок 1 – Программный продукт (ПП) для определения показателей взрывоопасности резервуара

Для исключения аварийных ситуаций поля заполняют корректными данными: радиус (натуральные числа, в миллиметрах); высота (натуральные числа, в миллиметрах); длина (натуральные числа, в метрах); ширина (натуральные числа, в метрах); количество резервуаров (натуральные числа, количество штук); диаметр труб (положительные рациональные числа, в метрах); молярная масса (положительные рациональные числа, в грамм на моль); температура при приеме (рациональные числа, в градусах цельсия); температура плавления (рациональные числа, в градусах цельсия); температура вспышки (рациональные числа, в градусах цельсия); температура кипения (рациональные числа, в градусах Цельсия); плотность при температуре приема (положительные рациональные числа, в килограмм на кубический метр). Рациональные числа записывают в виде десятичной дроби и целая часть в данном случае, отделяется точкой, а не запятой.

Процесс заполнения резервуаров заканчивается автоматически при наполнении, или его можно остановить заранее кнопкой «Остановка заполнения». После этого можно начинать управлять значениями температуры и давления с помощью дисков, которые зависят друг от друга (рисунок 2).

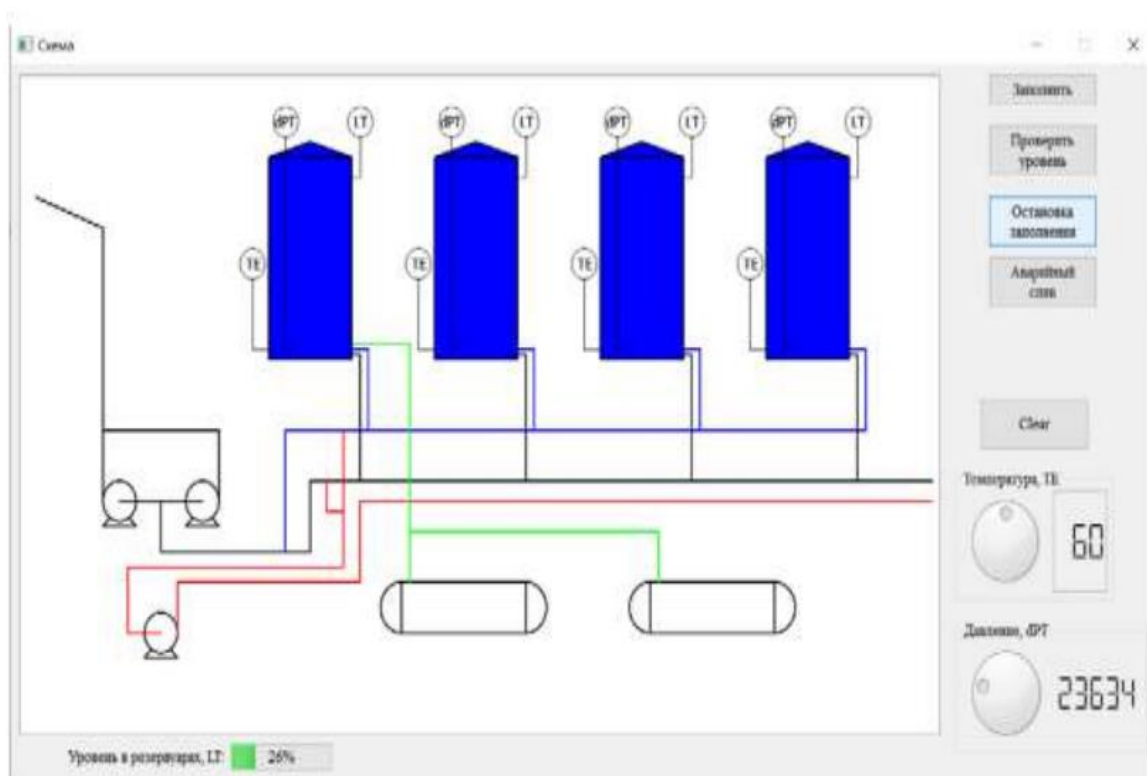


Рисунок 2 – Процесс заполнения резервуарного парка

Взрывобезопасность обеспечивается тем, что значения температуры и давления можно изменять только в безопасном диапазоне, поэтому при предельных значениях формируется предупреждающее сообщение. Был оценён риск до и после внедрения предлагаемого программного комплекса. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценка до и после внедрения ПО

Риск	До	После	Эффективность применения
Риск наступления неблагоприятного события, год ⁻¹	$3,29 \cdot 10^{-6}$	$1,66 \cdot 10^{-6}$	49,5 %
Индивидуальный риск, год ⁻¹	$3,02 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-6}$	
Коллективный риск, год ⁻¹	$2,42 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аношкин Д.В., Васильев А.В. Непрерывный мониторинг производственного шума и вибрации в рамках автоматизированной системы

- управления охраной труда. Безопасность труда в промышленности. 2011. № 12. С. 69-72.
2. Васильев А.В. Повышение безопасности жизнедеятельности информационно-программными методами. Автотракторное электрооборудование. 2004. № 11. С. 34-37.
 3. Васильев А.В., Аношкин Д.В. Человеческий фактор как причина аварийности и травматизма на производстве и его анализ на основе принципов системного подхода к обеспечению безопасности. Безопасность труда в промышленности. 2010. № 11. С. 22-25.
 4. Васильев А.В., Пименов А.А. Особенности экологического мониторинга нефтесодержащих отходов. Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 4. С. 15.
 5. Кириев А.Р., Басенгулова Р.М. Новая программа расчета степени коррозии резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции «Шаховские чтения», Томск: Издательство ТПУ, 2019. С. 247-248.
 6. Кириев А.Р., Назаренко А.В. Новая автоматизированная система контроля параметров товарного парка. Сборник трудов международной научно-учебно-практической конференции «Информационные технологии-2019», Томск: Изд-во ТПУ, 2019. С. 44-49.
 7. Неретин Д.А., Пименов А.А., Васильев А.В. Исследование отходов одоранта на примере ООО «Газпром Трансгаз Самара». В сборнике: Проблемы экологии городского округа Тольятти и пути их решения. Сборник докладов конференции с участием предприятий, учреждений, организаций городского округа Тольятти. 2015. С. 248-249.
 8. Неретин Д.А., Пименов А.А., Васильев А.В. Применение методов озонирования при утилизации отходов одоранта. Экология и промышленность России, 2016 г. №10, с. 21-23.
 9. Неретин Д.А., Пименов А.А., Васильев А.В. Утилизация выведенных из эксплуатации емкостей хранения одоранта природного газа. Безопасность жизнедеятельности. 2017. №7 (199). С. 47-49.
 10. Неретин Д.А., Пименов А.А., Васильев А.В. Разработка технологии утилизации отходов одоранта газа. В сборнике: XV Всероссийская конференция "Химия и инженерная экология" с международным участием. Сборник докладов. Казань, 2015. С. 57-61.
 11. Пименов А.А., Васильев А.В. Особенности использования нецелевых продуктов нефтепереработки для повышения качества дорожных битумов. Журнал экологии и промышленной безопасности. 2016. № 2 (66). С. 59-62.
 12. Соболев А.А., Васильев А.В. Особенности классификации и утилизации отходов в виде сыпучих материалов. В сборнике трудов пятого международного экологического конгресса (седьмой международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ELPIT-2015. Научный редактор Васильев А.В. с. 245-253.

13. Тугунов П.И., Новосёлов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Казань, 2002.
14. Vasilyev A.V. Method and approaches to the estimation of ecological risks of urban territories. *Safety of Technogenic Environment*. 2014. № 6. pp. 43-46.
15. Vasilyev A.V. Classification and reduction of negative impact of waste of oil-gas industry. *Proc. of World Heritage and Degradation. Smart Design, Planning and Technologies Le Vie Dei Mercanti. XIV Forum Internazionale di Studi*. 2016. Pp. 101-107.
16. Vasilyev A.V., Pimenov A.A. Approaches to estimation of resources potential of waste of chemical and oil-gas industry. *XIV Forum Internazionale di Studi World Heritage and Degradation. Smart Design, Planning and Technologies Le Vie dei Mercanti*. 2016. Pp. 108-112.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

BIODEGRADATION IS THE KEY TO A CLEAN ENVIRONMENT

A.Z. Mindubaev

Federal research center «Kazan scientific center of RAS», Kazan, Russia

ABSTRACT

Every year more and more toxic wastes enter the environment and the task of their neutralization becomes more significant. Accordingly, methods of their detoxification are being developed and improved. Currently, one of the most important and most intensively developing methods is biodegradation.

Key words: biodegradation, environmental protection, pollutants, metabolism

БИОДЕГРАДАЦИЯ – ЗАЛОГ ЧИСТОТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.З. Миндубаев

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр
РАН», г. Казань, Россия

АННОТАЦИЯ

С каждым годом в окружающую среду поступает все больше токсичных отходов, и задача их обезвреживания становится более значимой. Соответственно, разрабатываются и совершенствуются методы их детоксикации. В настоящее время одним из важнейших и наиболее интенсивно развивающихся методов является биodeградация.

Ключевые слова: биodeградация, защита окружающей среды, поллютанты, метаболизм

С каждым годом проблема бытовых и промышленных отходов, складирования мусора, становится все острее. Тем более, что современный бытовой мусор состоит, преимущественно, из искусственных полимерных материалов, которые разлагаются в окружающей среде с большим трудом. Одним из набирающих популярность методов обезвреживания созданных человеком искусственных соединений, является биodeградация. Как следует

из самого названия, это метод превращения неприродных веществ в природные при помощи специализированных культур бактерий или грибов [1].

Мы не должны забывать о том, что большинство ядовитых и вредных для окружающей среды промышленных отходов являются органическими веществами. То есть, состоят из тех же элементов, что и живые организмы – углерода, водорода, кислорода, азота. Реже они включают серу, фосфор, галогены и металлы. То есть, содержат все «кирпичики жизни». Задача микробов, осуществляющих биodeградацию, заключается в том, чтобы эти «кирпичики» перетасовать в правильном порядке, и построить из них молекулы, входящие в их собственный состав – аминокислоты и белки, сахара, липиды, нуклеиновые кислоты, витамины и бесчисленные вторичные метаболиты.

То есть, биodeградация – это, фактически, включение биогенных элементов, входящих в состав полимеров и нефтепродуктов, в природный круговорот. В состав биосферы. Причем, наиболее безвредным способом, который использует сама природа – при помощи ферментов, продуцируемых микробными клетками. Эти катализаторы работают в природных условиях, им не требуются жесткие физические и химические воздействия – высокие температуры, давления, сильные окислители, кислоты и щелочи. То есть, биodeградация, в целом, является наиболее экологически безвредным методом восстановления как загрязненных природных объектов, так и сточных вод предприятий.

Важно понимать, что биodeградацию изобрели не люди. Она возникла на заре жизни. Едва возникнув, микробы моментально освоили экологическую нишу редуцентов, разлагающих мертвую органику, образующуюся в результате гибели других форм жизни. Появлялись новые вещества – вслед за этим в процессе эволюции возникали новые виды микробов, способные этими веществами питаться.

Поскольку смена поколений у одноклеточных очень быстрая, а разнообразие метаболических путей у них намного больше, чем у высших форм жизни, то в сочетании это позволяет микробам сравнительно быстро адаптироваться питаться любыми соединениями.

Как результат, микроорганизмы обезвреживают практически любые вещества, разнообразного строения и состава. Загрязнители окружающей среды всех классов опасности, включая самый высокий. Промышленные методы биodeградации в той или иной степени применимы ко всем отходам, даже неорганическим, таким, как бетон и металлы. Этот вид биodeградации именуется «биокоррозией». А некоторые экзотические формы жизни «научились», наоборот, соли некоторых металлов восстанавливать до металлического состояния [2].

Существует правило: ни один вид микроорганизмов не способен осуществлять деструкцию бесконечного разнообразия веществ. Каждый вид имеет свою специализацию на разложении одного загрязнителя или ряда

близких по свойствам и строению. Потому, что никакой геном не способен кодировать беспредельное число ферментов. Реже микроб способен разлагать широкий спектр веществ, его ферменты справляются со многими соединениями, но эффективность биodeградации все равно различается, у микроба свои предпочтения. Только микробное сообщество, которое по-научному называется консорцией, способно по-настоящему эффективно разлагать сложные смеси разнообразных веществ. Есть вещества, которые разлагаются исключительно такими консорциями – например, очень стойкий инсектицид ДДТ [3].

Конкретных примеров биodeградации очень много, и в рамках одной статьи о всех рассказать невозможно. Тем не менее, некоторые чрезвычайно интересные. Например, бактерия, способная использовать в качестве источников углерода и азота исключительно алкалоид кофеин, содержащийся в чае и кофе [4]. Такие метаболические пути, в которых низкомолекулярные вещества включаются в состав биологических молекул целиком, выполняя роль синтонов – строительных блоков, из которых формируются более сложные биологические молекулы (рис. 1). То есть, биodeградация позволяет не просто обезвредить токсичные загрязнители, но и включить их в состав полезных продуктов, вплоть до пищевых. И ведь все это – не пустое теоретизирование, а пример реально действующих проектов, на которые выделяют гранты.

В конце концов, бывает и так, что вещества, считавшиеся не встречающимися в природе ксенобиотиками, оказывались на самом деле природными. И таких примеров становится все больше. Диатомовая водоросль ницшия вырабатывает вещества, совершенно не ассоциирующиеся с живой природой – бромциан, йодциан, 1,2-дихлорэтан, предположительно, также хлорциан [7]. Морские красные водоросли *Asparagopsis armata* продуцируют четыреххлористый углерод (тетрахлорметан) [8]. Интересно, что в качестве продуктов химического синтеза все три соединения известны очень давно и даже нашли применение на практике. Бромцианом биохимики иммобилизуют белки, а дихлорэтан и тетрахлорметан известны как эффективные органические растворители, очень ядовитые, кстати. Но никто не предполагал, что они являются метаболитами водорослей. Их обнаружение в природном источнике стало настоящей сенсацией!

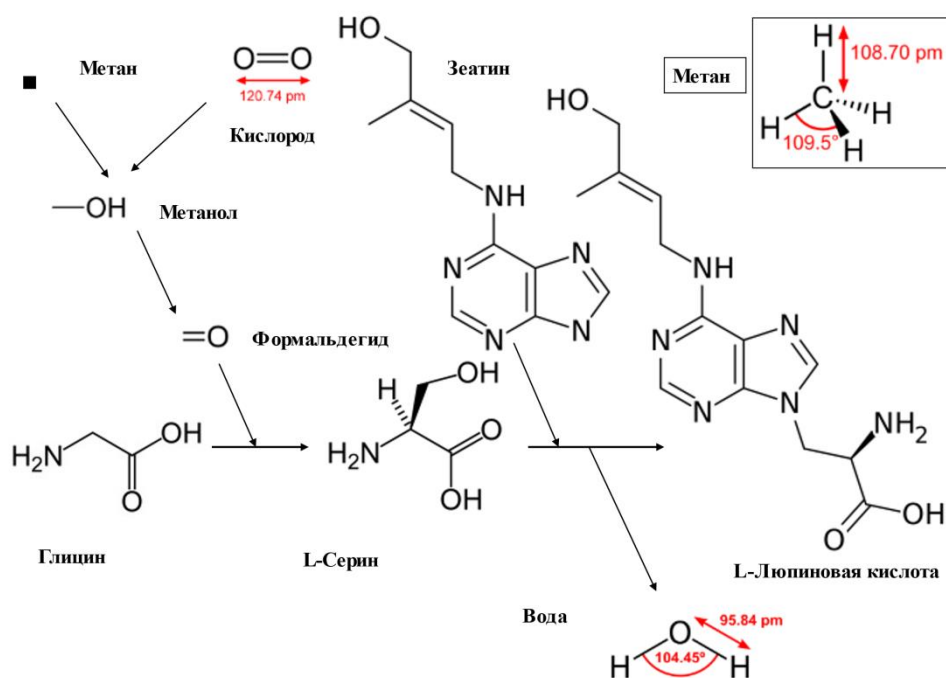


Рисунок 1 - Включение формальдегида в состав аминокислот, осуществляемый представителями метилотрофных микроорганизмов – один из самых изящных примеров биodeградации. На примере биосинтеза люпиновой кислоты – одного из цитокининов, стимулятора роста растений. Рисунок А.З. Миндубаева, по [5, 6].

Биodeградация применяется на практике. Можно долго говорить про очистные сооружения предприятий (рис. 2) и обширные коллекции микроорганизмов. Про передовые научные исследования, направленные на создание более эффективных микробов деструкторов, с привлечением инструментов геной и белковой инженерии. Целую индустрию патентования и защиты прав интеллектуальной собственности в этой отрасли. Наконец, сегодня биodeградация становится прибыльным бизнесом [9].



Рисунок 2 – Первичные отстойники для очистки сточных вод на очистных сооружениях химических предприятий – искусственные водоемы, в которых живут и эволюционируют микроорганизмы – деструкторы загрязнителей (по материалам сайта <https://ekoton-service.ru>)

Рассмотрим собственные исследования автора в области биodeградации. До них считалось аксиомой, что белый фосфор является биоцидом и живые организмы не способны его обезвредить. Это вещество имеет наивысший класс опасности и даже применяется в военных целях. Мы впервые продемонстрировали, что грибы и бактерии могут превращать белый фосфор в фосфаты – фактически, в подкормки, без которых невозможна жизнедеятельность [10]! Достаточно вспомнить о том, что многие метаболиты вступают в превращения только в фосфорилированном виде. ДНК и РНК – молекулы, кодирующие наследственную информацию – также включают в себя фосфат в виде органического эфира. И вот, эти биогенные фосфаты образуются грибами из белого фосфора! Невероятно! Но, тем не менее, факт. И этот факт впервые установлен нами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meckenstock R.U., Elsner M., Griebler C., Lueders T., Stumpp C., Aamand J., Agathos S.N., Albrechtsen H.-J., Bastiaens L., Bjerg P.L., Boon N., Dejonghe W., Huang W.E., Schmidt S.I., Smolders E., Sørensen S.R., Springael D., van Breukelen B.M. Biodegradation: updating the concepts of control for microbial cleanup in contaminated aquifers // *Environmental Science & Technology*. 2015. Vol.49. Issue 12. P.7073–7081. DOI: 10.1021/acs.est.5b00715
2. Pardhe B.D., Lee M.J., Lee J.H., Do H., Oh T.-J. Biochemical and structural basis of mercuric reductase, *GbsMerA*, from *Gelidibacter salicanalis* PAMC21136 / // *Scientific Reports*. 2023. Vol.13. No.17854. P. DOI: 10.1038/s41598-023-44968-w
3. Pan X., Xu T., Xu H., Fang H., Yu Y. Characterization and genome functional analysis of the DDT-degrading bacterium *Ochrobactrum* sp. DDT-2 / // *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 592. P.593–599. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.03.052
4. Summers R.M. Metabolism, enzymology, and genetic characterization of caffeine degradation by *Pseudomonas putida* CBB5 // PhD diss. University of Iowa. 2011. 184p.
5. Fernandes H.S., Ramos M.J., Cerqueira N.M.F.S.A. Catalytic Mechanism of the Serine Hydroxymethyltransferase: A Computational ONIOM QM/MM Study // *ACS Catal.* - 2018. - Vol.8. - No.11. - P.10096-10110. DOI: [10.1021/acscatal.8b02321](https://doi.org/10.1021/acscatal.8b02321)

6. Entsch B., Parker C.W., Letham D.S. An enzyme from lupin seeds forming alanine derivatives of cytokinins // *Phytochemistry*. 1983. Vol. 22. No.2. P.375-381. DOI: [10.1016/0031-9422\(83\)83008-8](https://doi.org/10.1016/0031-9422(83)83008-8)
7. Vanelslander B., Paul C., Grueneberg J., Prince E.K., Gillard J., Sabbe K., Pohnert G., Vyverman W. Daily bursts of biogenic cyanogen bromide (BrCN) control biofilm formation around a marine benthic diatom // *PNAS*. 2012. Vol. 109. No.7. P. 2412-2417. DOI: 10.1073/pnas.1108062109
8. Kladi M., Vagias C., Roussis V. Volatile halogenated metabolites from marine red algae // *Phytochemistry Reviews*. 2004. Vol.3. No.3. P.337-366. DOI: 10.1007/s11101-004-4155-9
9. Saraswat S. Patent Analysis on Bioremediation of Environmental Pollutants // *J Bioremed Biodeg*. 2014. Vol. 5. No. 6. 251-256. DOI: [10.4172/2155-6199.1000251](https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000251)
10. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Bedeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G., Akosah Y.A. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of First Class Hazard / // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2021. Vol. 66. No. 8. P.1239-1244. DOI: 10.1134/S0036023621080155



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

THE QUESTIONS OF ECOLOGICAL SAFETY OF OBJECTS OF URBAN DEVELOPMENT IN CONDITIONS OF FLOODING (ON THE EXAMPLE OF CITY DISTRICT SAMARA)

V.S. Muftaeva, D.I. Vasilyeva
Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

ABSTRACT

This article discusses the problems of ensuring the comprehensive safety and reliability of the bases and foundations of buildings and structures in the event of flooding by groundwater and man-made water. Using the example of the city of Samara, the article examines the natural and anthropogenic factors that contribute to the spread of flooding. It analyzes the causes and consequences of flooding, as well as the main methods of protecting the bases and foundations.

Keywords: flooding territories, ecological safety, monitoring, engineering-geological zoning

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ В УСЛОВИЯХ ПОДТОПЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА САМАРА)

В.С. Муфтаева, Д.И. Васильева
Самарский государственный технический университет, г. Самара,
Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются проблемы обеспечения безопасности и надежности оснований и фундаментов зданий и сооружений при подтоплении грунтовыми и техногенными водами. Анализируются причины и последствия подтоплений, а также рассматриваются методы защиты оснований и фундаментов.

Ключевые слова: подтопленные территории, экологическая безопасность, мониторинг, инженерно-геологическое районирование

Образование и расширение площадей подтопленных территорий является одной из самых актуальных проблем многих городов, в том числе и города Самара. Данная статья направлена на изучение причин возникновения подтопления и изучение существующих технологий, направленных на уменьшение негативного влияния грунтовых и техногенных вод.

При повышении уровня грунтовых вод, происходит изменение физико-механических свойств грунта, что может привести к деформациям основания. Поэтому подтопленные территории нуждаются в разработке и реализации проектов инженерной защиты и водопонижения как общего, так и локального (для отдельных зданий и сооружений) характера, а также в организации геотехнического мониторинга [8, 9].

В рамках геотехнического мониторинга изучается состояние грунтовых, природных и техногенных условий, исследуется уровень подземных вод, их химический состав и температура, величины напора в водоносных горизонтах, на территории как строительной площадки, так и на прилегающих участках.

Подтопленными являются территории, на которых уровень грунтовых вод поднимается выше допустимой минимальной глубины залегания грунтовых вод для конкретного типа застройки. Минимальная глубина залегания грунтовых вод представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые глубины залегания грунтовых вод на городских территориях

Застройка	Глубина, м
Здания с подвалами	0,5 – 1 м от пола подвала
Здания без подвалов	0,5 м от подошвы фундамента
Стадионы	0,5 – 1 м
Овощехранилища	4,5 м
Древесные насаждения (парки)	1 – 2 м

Городской округ Самара расположен на территории надпойменных террас и водораздела реки Волга и реки Самара. На низких надпойменных террасах подтопление происходит из-за геоморфологических факторов. Кроме того, сооружение каскада водохранилищ на р.Волге привело к постепенному повышению уровня грунтовых вод [10].

Засыпка овражно-балочной сети при планировке и застройке территории привела к исчезновению естественных дренажей, по которым грунтовые воды могли быстро стекать. Все факторы, в сочетании с постоянными утечками из водонесущих коммуникаций приводят к значительному распространению явления подтопления в г.о. Самара.

Широкое распространение просадочных грунтов (лессовидных суглинков) на территории города при подтоплении приводит к развитию просадочности и возникновению деформаций зданий и сооружений.

При строительстве на потенциально подтопляемых территориях следует использовать системы предупреждения о поднятии уровня грунтовых вод и возможном подтоплении, применять для защиты фундаментов гидроизоляцию, а также разрабатывать систему дренажей для общего понижения уровня грунтовых вод.

Данные системы направлены на регуляцию уровня фильтрационного потока на защищаемой территории и не должны вызывать неблагоприятных последствий в виде деформаций зданий из-за осадки грунтов при осушении и др. В случае, если системы общего водопонижения и приводят в требуемому эффекту, следует для отдельных сооружений или небольших групп разрабатывать системы локальных дренажных устройств.

При планировании использования земельных участков в городе следует проводить инженерно-геологическое районирование. Инженерно-геологическое районирование - порайонное деление областей строительства на основе отличительных условий геологии, гидрогеологии и климата. Основной целью инженерно-геологического районирования является обеспечение безопасности и экономической эффективности строительства объектов на территории, а также минимизация рисков возможных геологических процессов и явлений [11].

При проведении инженерно-геологического районирования, принято использовать следующие действия: изучение уже имеющейся информации (геоморфологические и геологические карты, данные о климате, гидрология и другие доступные источники); проведение полевых работ (бурение скважин, исследование грунтов, измерение гидрогеологических параметров и т.п.); анализ полученных данных; разработка карты с зонами, имеющими схожие характеристики. Масштаб карт зависит от целей и задач, которые стоят перед проектировщиком; использование результатов для дальнейшей оценки рисков каждой из зон.

Таким образом, на территории г.о. Самара процессы подтопления развиваются в результате совокупного действия природных и антропогенных факторов. Повышение уровня грунтовых вод ближе 3 м от дневной поверхности приводит к образованию подтопленных территорий, для которых характерно развитие негативных последствий в виде ухудшения физико-механических свойств грунтов, развития экзогенных геологических процессов, деформации оснований зданий и сооружений. На подтопленных территориях необходимы защитные мероприятия, направленные на защиту фундаментов гидроизоляционными материалами, мониторинг уровня грунтовых и техногенных вод, а также наличие карты инженерно-геологического районирования, с помощью которых инженер определит инженерно-геологические свойства территории и возможные изменения геологических факторов, что позволит вовремя произвести защиту территории от опасных геологических процессов при необходимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С. К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве, 1973, 47 с.
2. Симагин В. Г. Защита подземной части зданий и сооружений от воздействия грунтовых вод, 1983, 67 с.
3. Шубин М. А., Шубин А. М. Исследование процесса подтопления застроенных территорий и разработка защитных мероприятий, 2010, Вып 17(36), с 142 – 147.
4. Ананьев В. П. К вопросу подтопления застраиваемых территорий // Проектирование и строительство зданий и сооружений на лессовидных просадочных грунтах. Барнаул, 1980. С. 9-23.
5. Дегтярев Б. М., Дзекцнер Е. С. Защита оснований зданий и сооружений от воздействия подземных вод. М.: Стройиздат. 1985.
6. Васильева Д.И., Шиманчик И.П., Баранова М.Н. Обзор основных экзогенных геологических опасностей Самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Самара: СамГТУ, 2019. С. 394-403.
7. Васильева Д.И., Баранова М.Н., Мальцев А.В., Соколова С.В. Инженерно-геологические и петрографические особенности техногенных слоев на территории г. Самары // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10. № 4(41). С. 4-15.
8. СНиП 2.06-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления /Госстрой СССР, М.: ЦИТП. 1988. 20 с.
9. СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга».
10. Васильева, Д. И. Роль геоэкологических факторов при строительстве в г.о. Самара // Российская наука: актуальные исследования и разработки: Сб. научных статей. – Самара: СГЭУ, 2024. – с. 383-386.
11. Казакова И. Г., Слинко О. В. Проблема подтопления на территории России и возможные пути ее решения // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1993. №1.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

CLIMATE RISKS IN THE USE RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE ROAD TRANSPORT COMPLEX

V.A. Pastushkov, T.Yu. Grigorieva
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

ABSTRACT

The article provides a justification for the importance of climate risks in the use of renewable energy sources in energy systems. A relationship has been established between characteristics representing a combination of unfavorable climatic and weather factors and climatic risks for renewable energy systems. A method for calculating climate risks for wind turbines and solar panels forming local power systems in the road transport complex is presented.

Key words: road-transport complex, environmental protection, renewable energy sources, pollutants, climate risks

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

В.А. Пастушков, Т.Ю. Григорьева
Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье приведено обоснование значимости климатических рисков при использовании возобновляемых источников энергии в энергосистемах. Установлена связь между характеристиками, представляющими собой совокупность неблагоприятных климатических и погодных факторов, и климатическими рисками для энергосистем на возобновляемых источниках энергии. Представлена методика расчета климатических рисков для ветрогенераторов и солнечных панелей, образующих локальные энергосистемы в дорожно-транспортном комплексе.

Ключевые слова: дорожно-транспортный комплекс, защита окружающей среды, возобновляемые источники энергии, климатические риски

1. ВВЕДЕНИЕ

Климатическая повестка является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на развитие мировой экономики в настоящее время. Снижение выбросов парниковых газов (ПГ), в первую очередь CO₂, рассматривается в качестве основного направления в борьбе с изменением климата на Земле. Общеизвестно, что сокращение антропогенных выбросов ПГ можно достичь использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) при получении электрической и тепловой энергии в энергосистеме взамен сжигания невозобновляемых энергоресурсов. Однако при этом появляются новые виды рисков, связанных с нестабильностью выработки энергии ВИЭ [1].

Кроме того, на пути декарбонизации отдельных отраслей экономики возникают новые виды рисков и связанные с ними потери в результате действий государственного и частного секторов, направленных на сдерживание этих изменений, а не на адаптацию отраслей к изменению климата [2], других рисков природного или техногенного характера [3-6].

Следует отметить, что использование возобновляемых источников энергии сопряжено с климатическими рисками для самих объектов выработки электроэнергии. Климатические риски возникают от совокупности неблагоприятных климатических и погодных факторов, способных нарушить стабильность, эффективность и работоспособность энергосистемы на возобновляемых источниках энергии (объекты генерации, хранения и распределения энергии). Такие риски обусловлены как краткосрочными негативными метеорологическими явлениями, так и долгосрочными климатическими изменениями, связанными с человеческой деятельностью. Последствия реализации климатических рисков для ВИЭ могут проявляться в:

- снижении или полном прекращении выработки электроэнергии;
- повреждении или разрушении инфраструктуры, обеспечивающей работу энергосистемы на возобновляемых источниках энергии;
- увеличении эксплуатационных и инвестиционных затрат на обслуживание, страхование и восстановление ВИЭ;
- повышении требований к системам накопления и резервирования энергии из-за возможной нестабильной генерации;
- снижении инвестиционной привлекательности проектов, связанных с внедрением ВИЭ.

Поэтому учет и прогнозирование таких рисков являются экономически эффективными, требуют разработки соответствующих методик их оценки.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Согласно существующим представлениям, климатические характеристики делятся на те, что способствуют повышению эффективности ВИЭ, и те, что сопряжены с рисками нарушения их работоспособности.

Так, скорость и направление ветра, количество солнечной инсоляции и др. требуется оценивать на стадии проектирования для понимания предполагаемого количества вырабатываемой электроэнергии. Для прогнозирования стабильной работы ВИЭ необходимо оценивать количество отложений на активных поверхностях солнечных батарей, количество бессолнечных дней и др.

Обычно под риском понимается произведение вероятности какого-то события (качественная оценка) и экономической оценки последствий реализации этого события (количественная оценка). В возобновляемой энергетике под риском понимают возможную потерю энергообеспечения, вызванную наступлением случайных неблагоприятных событий (отсутствие ветра, солнца и др.). Естественной реакцией на наличие такого риска в области возобновляемой энергетике является одновременное использование нескольких различных видов энергии. При этом комплексное применение различных ВИЭ не исключает совокупного наступления неблагоприятных событий.

Наиболее предпочтительными для использования ВИЭ являются регионы с возможностью бесперебойной выработки электроэнергии, независимо от типа источника энергии. Ибо даже при оптимальных климатических характеристиках возможно преобладание неблагоприятных климатических явлений, способствующих снижению эффективности работы ВИЭ и их полному или частичному отказу.

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Для учета климатических рисков на стадиях проектирования и эксплуатации ВИЭ, необходимо рассчитать вероятности наступления дней с неблагоприятными погодными условиями и вероятности нежелательных погодных событий, вызванных первопричинами (наступление дней с неблагоприятными погодными условиями).

Пример расчета вероятностей приведен для таких возобновляемых источников энергии как вертикальные ветрогенераторы и солнечные панели. Для расчетов выбраны наиболее часто повторяющиеся негативные климатические явления, способные влиять на эффективность и работоспособность ВИЭ.

Для расчета значений вероятностей неблагоприятных погодных условий требуются региональные климатические данные региона, где предполагается расположение ВИЭ. В зависимости от типа применяемого источника возобновляемой энергии перечень необходимых климатических

данных может варьироваться. Неблагоприятные климатические характеристики рассматривались для вертикальных ветрогенераторов и солнечных панелей.

На основании региональных статистических климатических данных рассчитываются вероятности наступления дней с неблагоприятными погодными условиями (p_n) для возобновляемых источников энергии (количество дней с гололедом (p_1), количество бессолнечных дней (p_2), зернистой изморозью (p_3), кристаллической изморозью (p_4), мокрым снегом (p_5), сложными отложениями (p_6), песчаными бурями (p_7)). Расчет вероятностей проводится по формуле:

$$p_n = \frac{k_n}{K}, \quad (1)$$

где k_n – количество дней с неблагоприятными погодными условиями (при расчетах принимается максимальное значение);

K – количество дней в году (принимается равным 365).

Рассчитав значения вероятностей наступления дней с неблагоприятными погодными условиями, можно приступить к расчету значений вероятностей совместных нежелательных событий (обледенение конструкции (f_1), нарастание отложений на элементах конструкции (f_2), запыление элементов конструкции (f_3) и др.), вызванных первопричинами. Для нахождения значений вероятностей выхода из строя элементов конструкции f_1 , f_2 и f_3 по различным причинам, требуется применить формулу включений-исключений для трех событий, которая будет иметь вид:

$$f_1 = p_1 + p_2 + p_3 - (p_1 \times p_2) - (p_1 \times p_3) - (p_2 \times p_3) + (p_1 \times p_2 \times p_3), \quad (2)$$

$$f_2 = p_4 + p_5 + p_6 - (p_4 \times p_5) - (p_4 \times p_6) - (p_5 \times p_6) + (p_4 \times p_5 \times p_6), \quad (3)$$

$$f_3 = p_7 + p_8 + p_9 - (p_7 \times p_8) - (p_7 \times p_9) - (p_8 \times p_9) + (p_7 \times p_8 \times p_9), \quad (4)$$

Таким образом, по результатам расчетов, имея значения вероятностей нежелательных событий f_1 , f_2 и f_3 можно рассчитать значения вероятностей выхода из строя каждого из возобновляемых источников энергии. Для нахождения значений вероятностей отказа ветрогенератора (F_w) и солнечной панели (F_s) ветрогенератора и солнечной панели необходимо рассматривать причины их отказа как совместные события. Тогда формула для нахождения вероятностей отказа будет иметь вид:

$$F_w = (f_1 + f_2) - (f_1 \times f_2), \quad (5)$$

$$F_s = (f_2 + f_3) - (f_2 \times f_3), \quad (6)$$

Для нахождения вероятности отказа всей энергосистемы на возобновляемых источниках энергии (F) необходимо сложить вероятности выхода из строя элементов конструкции различных источников энергии, ветрогенератора (F_w) и солнечной панели (F_s). Формула будет иметь вид:

$$F = F_w + F_s, \quad (7)$$

Для нахождения величины вероятности отказа на всем сроке службы энергосистемы на ВИЭ, необходимо имеющуюся вероятность отказа умножить на предполагаемое количество лет работы системы:

$$F_f = F \times n, \quad (8)$$

где n – количество лет работы системы ВИЭ.

Результаты расчета следует представлять в виде дерева отказов для неблагоприятных погодных условий, влияющих на работоспособность и эффективность ВИЭ. Общеизвестно, что дерево отказов - это метод анализа рисков, использующийся для выявления и оценки причин возникновения нежелательных событий. При построении в качестве целевого события выбирается нежелательное событие (выход из строя элементов энергосистемы на ВИЭ из-за негативных климатических явлений). Начиная с целевого события, строится дерево, разветвляющееся на более мелкие события (первопричины), способные привести к его наступлению. При построении, для связывания событий используются логические операторы “И” и “ИЛИ”. Затем проводится анализ событий для определения их последовательности, которые обязательно должны произойти для наступления целевого события, а также вероятности возникновения целевого события.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Климатические риски устойчивому функционированию энергосистем на основе возобновляемых источников энергии необходимо учитывать в процессе проектирования, размещения и эксплуатации объектов альтернативной энергетики для адаптации энергетического сектора к изменениям климата. Правильная и корректная оценка влияния климатических рисков позволит минимизировать необоснованные экономические затраты, а также повысить надежность функционирования ВИЭ, чувствительных к воздействию климатических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобородов С. С., Гашо Е. Г., Ненашев А. В. Возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества [Электронный ресурс]. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2021. – 151 с. – URL: <https://publishing.intelgr.com/archive/VIE-i-vodorod-v-energositeme.pdf>.
2. Трофименко Ю.В. Проблемы декарбонизации автомобильного транспорта в Российской Федерации // «Транспорт Российской Федерации». № 6 (103) 2022. – с. 24-28.
3. Якубович А.Н., Трофименко Ю.В., Якубович И.А. Моделирование и оценка природных и техногенных рисков в автотранспортном комплексе. – МАДИ, Москва, 2018. – 232 с.
4. Капский Д.В., Филиппова Н.А., Трофименко Ю.В., Богданович С.В., Буртыль Ю.В. Оценка воздействия изменения климата и климатических рисков в транспортных системах. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Техполиграфцентр". Москва, 2023. – 248 с.
5. Trofimenko Yu.V., Grigoreva T.Yu., Chekanov A.Yu. APPLICATION OF RISK MODELING TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF MOTOR TRANSPORT DECARBONIZATION. Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2023. Т. 6. № 1. С. 494-499.
6. Трофименко Ю.В., Якубович А.Н. Методы оценки рисков и мер по адаптации объектов транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям в криолитозоне. МАДИ, Москва, 2022. – 162 с.



TENTH INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONGRESS ELPIT-2025

24-27 September 2025, Samara-Togliatti, Russia

ENVIRONMENTAL RISKS ASSOCIATED WITH THE IMPACT OF MUNICIPAL WASTEWATER INTO A RECREATIONAL WATER BODY (VYCHEGDA RIVER BASIN)

T.V. Shevkunova¹, E.N. Patova²

¹Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

²Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

ABSTRACT

The paper examines environmental risks caused by increasing anthropogenic load on a floodplain lake used for discharging poorly treated municipal wastewater. A study of the hydrochemical characteristics and phytoplankton communities showed increased concentrations of organic pollutants and biogenic elements in the water body. This is due to the insufficient efficiency of the treatment facilities. Chronic pollution of the lake leads to the emergence of regular mass "blooming" of toxic species of cyanobacteria and poses a threat to public health and pollution of the Vychegda River basin.

Keywords: safety, failure rate, reliability, failure, forecasting, resource, complicated technical system, aging, exploitation

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ПОСТУПЛЕНИЕМ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В РЕКРЕАЦИОННЫЙ ВОДОЕМ (БАССЕЙН Р. ВЫЧЕГДА)

Т.В. Шевкунова¹, Е.Н. Патова²

¹Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия

²Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются экологические риски, обусловленные возрастанием антропогенной нагрузки на пойменный рекреационный водоем, используемый для сброса малоочищенных коммунально-бытовых стоков. На основе изучения гидрохимических характеристик и сообществ фитопланктона установлены повышенные концентрации органических загрязнителей и биогенных элементов, связанных с недостаточной

эффективностью работы очистных сооружений. Хроническое загрязнение водоема приводит к возникновению регулярного массового «цветения» токсичных видов цианобактерий, создает угрозу здоровью населения и загрязнения русла р. Вычегды.

Ключевые слова: безопасность, интенсивность отказов, надежность, отказ, прогнозирование, ресурс, сложная техническая система, старение, эксплуатация

1. ВВЕДЕНИЕ

Воздействие человека в условиях урбанизации оказывает значительную нагрузку на природные экосистемы, в частности, приводит к ухудшению качества поверхностных вод, деградации биоты, ухудшению качества жизни людей (Слуковский, 2018). В современных условиях определение экологических рисков приобретает стратегическое значение для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития территорий. Идентификация рисков основана не только на анализе вероятности возникновения опасных факторов, но и на всесторонней оценке потенциальной угрозы для всех компонентов экосистем водоемов, обусловленных воздействием антропогенных факторов, среди которых преобладающими являются выбросы вредных веществ со сточными водами от промышленных предприятий и коммунально-бытового хозяйства (Степанова, 2008; Бельская, Сугак, 2014; Штебнер, 2022).

Река Вычегда служит основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Сыктывкара и других населенных пунктов Республики Коми, однако её экологическое состояние систематически ухудшается под влиянием городской инфраструктуры. Постоянные поступления канализационных стоков и стоков с сельскохозяйственных объектов приводят к хроническому загрязнению водного объекта, сопровождающемуся длительным превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) широкого спектра химических загрязнителей (Государственный доклад..., 2023). Тенденция к возрастающей динамике загрязнения обусловлена, прежде всего, недостаточной производственной мощностью действующих очистных сооружений, а также слабым контролем над сбросами сточных вод. В результате не обеспечивается необходимый санитарно-гигиенический режим в пределах зоны санитарной охраны водозаборного участка данного водотока. Одним из источников загрязнения р. Вычегда в окрестностях г. Сыктывкара является пойменное озеро, используемое для сброса коммунально-бытовых стоков объемом до 547,5 тыс.м³/год с очистных сооружений поселка городского типа Краснозатонский (Решение..., 2023).

Целью работы было оценить экологические риски для пойменного озера, испытывающего хроническое загрязнение мало очищенных коммунально-бытовых стоков и рекреационные нагрузки.

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Объект исследования – пойменное озеро Выльты (61°41'05 с.ш. 50°58'54 в.д.), расположено в черте городской застройки. Озеро малое, представляет собой старицу реки Вычегда длиной 3,08 км, максимальной шириной 0,35 км и средней шириной 0,34 км, площадью 0,88 км². Средняя глубина озера 3 м, максимальная – 6,5 м. Озеро используется для сброса коммунально-бытовых стоков с очистных сооружений, а также для рекреации, ловли рыбы и как порт для малых судов. В летний и зимний период в озере регулярно наблюдается массовая гибель рыб.

В 2024-2025 гг. выполнен отбор проб для гидрохимического анализа и пробы фитопланктона на трех станциях в разные периоды сезона (ноябрь-сентябрь). При отборе проб выполнено измерение температуры воды, водородный показатель и удельная электропроводность с помощью TDS/EC/pH&TempMultiparameter (Китай).

Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 59024 «Вода. Общие требования к отбору проб». Исследованы следующие показатели: цветность, содержание растворенного кислорода, концентрации железа, ионов аммония, нитратов, нитритов, ортофосфатов, сульфатов, жесткость, сухой остаток, БПК₅, ХПК и др.

Отбор проб воды для исследования фитопланктона объемом 50 л осуществляли из поверхностных горизонтов, концентрировали пробу с помощью планктонной сети (мельничный газ №77) (Методика..., 1975). Изучали живые и фиксированные раствором формальдегида (4%) пробы.

Для определения цианобактерий и водорослей использовали световой микроскоп Nikon Eclipse80i (Япония) и электронный микроскоп MIRA-3 TESCAN (Чехия). Используемые методы анализа проб воды и фитопланктона описаны нами ранее (Патова и др., 2022 а, б).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрохимические показатели. Значения водородного показателя в водах озера находятся в диапазоне 7,50-8,52, что характерно для природных водных объектов, в которых повышенная щёлочность обусловлена естественным геохимическим фоном — в частности, высоким содержанием гидрокарбонатов. Дополнительный вклад в сдвиг pH в щелочную область может вносить поступление коммунально-бытовых и поверхностных стоков, содержащих моющие средства и продукты жизнедеятельности. Исследования показали, что на всех исследуемых станциях значения электропроводности остаются относительно стабильными — в пределах 63–162 мкСм, что подтверждено низким уровнем минерализации, колеблющимся в диапазоне

31–149 мг/дм³. В ионном балансе преобладают гидрокарбонат-ионы (85–109 мг/дм³) и ионы кальция (14,5–20,5 мг/дм³). Содержание хлорид анионов находится в интервале от 5,0–10,3 мг/дм³, сульфат анионов в 4,8–13,5 мг/дм³, значения жесткости от 1,35 до 1,5⁰Ж. Результаты указывают на отсутствие выраженных источников минерального загрязнения в зоне наблюдений. В изученных образцах наблюдается значительное увеличение показателя цветности воды (39–78 градусов) связанное, как с повышенным содержанием железа (до 3,4 мг/дм³), так и с высокой концентрацией органических загрязнений. К числу основных антропогенных индикаторов загрязнения исследуемого водного объекта сточными водами относятся перманганатная окисляемость – 16,8–23 мг/дм³, химическое потребление кислорода – 48–57 мг/дм³ и биологическое потребление кислорода (БПК₅) – 4,23– 20,1 мгО₂/дм³, в период исследований отмечено превышение ПДК для всех этих показателей в 1,5–2 и раза и более. На высокую степень эвтрофикации исследуемого водоема указывают также высокие концентрации содержания основных биогенных элементов – азота и фосфора. Аммонийный азота отмечен в диапазоне 0,2–1,2 мг/дм³, фосфаты – 0,05–0,125 мг/дм³.

Фитопланктон. К настоящему времени в фитопланктоне выявлено 108 видов водорослей из 9 отделов (Cyanobacteria–20, Euglenophyta–7, Dynophyta–1, Cryptophyta–1, Xanthophyta–2, Bacillariophyta–44, Chrysophyta–5, Chlorophyta– 25, Charophyta–3). Численность водорослей в летний период была отмечена в диапазоне 4,5–11,5 тыс. клеток/мл, биомасса – 1,7–2,8 мг/л. В фитопланктонных сообществах озера в летний период преобладают по численности цианобактерии (77–97%) и диатомовые водоросли (45–70%), в зимний период золотистые (45–55%) и зеленые водоросли (35–40%). В августе 2024 г. было отмечено «цветение» воды, вызванное массовым развитием цианобактерий из родов *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Dolychospermum*, *Woronichinia*. «Цветение» цианобактерий индицирует органическое загрязнение вод, а также обнаруженные виды относят к потенциально токсичным, способным синтезировать различные группы токсинов (Поляк, Сухаревич, 2017), представляющие опасность не только для обитателей водоемов, но и для людей. Необходимо отметить, что в последние годы «цветение» токсичных видов цианобактерий в данном озере отмечается регулярно, и приводит к массовым заморам рыб.

Индекс сапробности, рассчитанный по индикаторным видам фитопланктона для обследованного озера в разные периоды сезона, был в диапазоне 1,65–2,5, что указывает на альфа- бета-мезосапробную зону самоочищения вод озера.

Проведенные исследования показали, что в озере Выльты отмечены высокие концентрации органических загрязнений в водной среде. Регулярно наблюдается массовое развитие токсичных видов цианобактерий, что является признаком системной антропогенной нагрузки на водоём. По эколого-санитарным и токсикологическим показателям (Оксиюк и др., 1993; Шитиков и др., 2003) воды обследованного озера отнесены: к 4 классу

качества воды (4а - умеренно загрязненная), что отражают и гидробиологические показатели – состав и структура сообществ фитопланктона. Экологические риски для данного водоема связаны с усилением процессов эвтрофикации, что создаёт угрозу деградации внутренней экосистемы озера, негативному влиянию на здоровье населения, активно использующего данный водоем для любительского рыболовства и в рекреационных целях. Также данный водоем является источником поступления загрязняющих веществ и токсичных видов цианобактерий в р. Вычегда - основной источник питьевого водоснабжения значительной части Республики Коми. Необходима разработка комплексных мер для снижения антропогенной нагрузки на данный водоем, включая модернизацию инфраструктуры очистных сооружений, а также усиление контроля за сбросами в водоем и организация регулярного мониторинга за состоянием данного водного объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бельская Е. Н., Сугак Е. В. Оценка экологических рисков // Решетневские чтения. 2014. №18. С. 345-346.
2. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М., 2013. 60 с.
3. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2023 году»: гос. доклад / Минприроды Республики Коми [и др.] ; под общ. ред. ФГБОУ ВО «УдГУ». электронная версия. Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2024. 162 с.
4. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Москва: Изд-во Наука, 1975. 240 с.
5. Оксийок О. П., Жукинский В. Н., Брагинский П. Н., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
6. Патова Е. Н., Стенина А. С., Шабалина Ю. Н. Фитопланктонные сообщества реки Вычегда в зоне поступления очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства //Сиб. экол. журн. 2021а. Т. 28. С. 746-756.
7. Патова Е. Н., Кондратенок Б.М., Сивков М.Д., Костова С.Н. Качество вод реки Вычегда в условиях поступления очищенных сточных вод целлюлозно-бумажного производства //Сиб. экол. журн. 2021б. Т. 28. С. 696-714.
8. Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Токсичные цианобактерии: распространение, регуляция синтеза токсинов, способы их деструкции //Вода: химия и экология. 2017. №. 11-12. С. 125-139.
9. Решение Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 27 марта 2023 г. № 121 «О предоставлении водного объекта в пользование» // Официальный сайт МУП «Жилкомуслуги». 2023. URL: <https://mupgku11.ru> (дата обращения: 21.08.2025).

10. Слуковский З. И. Микроэлементный состав донных отложений малых озер как индикатор возникновения экологических рисков в условиях урбанизированной среды (Республика Карелия) // ВХР. 2018. №6. С.70-82.
11. Степанова Н.Ю. Оценка экологического риска для устойчивого функционирования Куйбышевского водохранилища как водоема многоцелевого назначения // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2008. №4. С.201-208.
12. Чепелов С. А. Оценка экологического риска загрязнения водных объектов // Вестник ВГТУ. 2018. №1 (34). С. 109-114
13. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
14. Штебнер С. В. Оценка экологических рисков // Бюллетень науки и практики. 2022. №11. С. 419-422.

Научное издание

ELPIT 2025

Volume 2 Том 2

PROCEEDINGS OF SCIENTIFIC SYMPOSIA

**«PHYSICS-CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF NEW ECOLOGICALLY SAFE
FUNCTIONAL MATERIALS»;**

**«PROBLEMS AND INNOVATIVE DECISIONS IN THE FIELD OF ENGINEERING
PROVISION OF ECOLOGICAL AND INDUSTRIAL SAFETY OF URBAN
TERRITORIES»;
«URBAN ECOLOGY»**

СБОРНИК ТРУДОВ НАУЧНЫХ СИМПОЗИУМОВ

**«ФИЗИКО-ХИМИЯ И ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»;**

**«ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ»;
«УРБОЭКОЛОГИЯ»**

**десятого международного экологического конгресса (двенадцатой
Международной научно-технической конференции) "Экология
и безопасность жизнедеятельности промышленно-
транспортных комплексов ELPIT 2025"**

Россия, Самарская область, гг. Самара, Тольятти,
24-27 сентября 2025 г.

**EDITOR: DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCE, PROFESSOR
ANDREY VASILYEV**

**НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР: Д.Т.Н., ПРОФЕССОР А.В.
ВАСИЛЬЕВ**

Подписано в печать 15.12.2025 г.

Формат 60х84 1/8. Бумага офсетная. Печать оперативная.

Усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ №.

Отпечатано в типографии АНО «Издательство СНЦ». 443001, Самарская область, г.
Самара, Студенческий пер., 3А. Тел.: (846) 242-37-07

E-mail: sncran@mail.ru