



## Ежемесячный научный журнал Том 1 №69 / 2021

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

**Чукмаев Александр Иванович**

<https://orcid.org/0000-0002-4271-0305>

Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права. Астана, Казахстан

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

#### **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

#### **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

#### **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

#### **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

#### **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и

безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

#### **Садовская Валентина Степановна**

AuthorID: 427133

Доктор педагогических наук, профессор, Заслуженный работник культуры РФ, академик Международной академии Высшей школы, почетный профессор Европейского Института PR (Париж), член Европейского издательского и экспертного совета IEERP.

#### **Ремизов Вячеслав Александрович**

AuthorID: 560445

Доктор культурологии, кандидат философских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, академик Международной Академии информатизации, член Союза писателей РФ, лауреат государственной литературной премии им. Мамина-Сибиряка.

#### **Измайлова Марина Алексеевна**

AuthorID: 330964

Доктор экономических наук, профессор Департамента корпоративных финансов и корпоративного управления Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

#### **Гайдар Карина Марленовна**

AuthorID: 293512

Доктор психологических наук, доцент. Член Российского психологического общества.

**Слободчиков Илья Михайлович**

AuthorID: 573434

Профессор, доктор психологических наук, кандидат педагогических наук. Член-корреспондент Российской академии естественных наук.

**Подольская Татьяна Афанасьевна**

AuthorID: 410791

Профессор факультета психологии Гуманитарно-прогностического института. Доктор психологических наук. Профессор.

**Пряжникова Елена Юрьевна**

AuthorID: 416259

Преподаватель, профессор кафедры теории и практика управления факультета государственного и муниципального управления, профессор кафедры психологии и педагогики дистанционного обучения факультета дистанционного обучения ФБОУ ВО МГППУ

**Набойченко Евгения Сергеевна**

AuthorID: 391572

Доктор психологических наук, кандидат педагогических наук, профессор. Главный внештатный специалист по медицинской психологии Министерства здравоохранения Свердловской области.

**Козлова Наталья Владимировна**

AuthorID: 193376

Профессор на кафедре гражданского права юридического факультета МГУ

**Крушельницкая Ольга Борисовна**

AuthorID: 357563

кандидат психологических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретических основ социальной психологии. Московский государственный областной университет.

**Артамонова Алла Анатольевна**

AuthorID: 681244

кандидат психологических наук, Российский государственный социальный университет, филиал Российского государственного социального университета в г. Тольятти.

**Таранова Ольга Владимировна**

AuthorID: 1065577

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский гуманитарный институт, Департамент гуманитарного образования студентов инженерно-технических направлений, Кафедра управление персоналом и психологии (Екатеринбург)

**Ряшина Вера Викторовна**

AuthorID: 425693

Институт изучения детства, семьи и воспитания РАО, лаборатория профессионального развития педагогов (Москва)

**Гусова Альбина Дударбековна**

AuthorID: 596021

Заведующая кафедрой психологии. Доцент кафедры психологии, кандидат психологических наук Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, психолого-педагогический факультет (Владикавказ).

**Минаев Валерий Владимирович**

AuthorID: 493205

Российский государственный гуманитарный университет, кафедра мировой политики и международных отношений (общеевропейская) (Москва), доктор экономических наук

**Попков Сергей Юрьевич**

AuthorID: 750081

Всероссийский научно-исследовательский институт труда, Научно-исследовательский институт труда и социального страхования (Москва), доктор экономических наук

**Тимофеев Станислав Владимирович**

AuthorID: 450767

Российский государственный гуманитарный университет, юридический факультет, кафедра финансового права (Москва), доктор юридических наук

**Васильев Кирилл Андреевич**

AuthorID: 1095059

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-строительный институт (Санкт-Петербург), кандидат экономических наук

**Солянкина Любовь Николаевна**

AuthorID: 652471

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), кандидат экономических наук

**Карпенко Юрий Дмитриевич**

AuthorID: 338912

Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью ФМБА, Лаборатория экологической оценки отходов (Москва), доктор биологических наук.

**Малаховский Владимир Владимирович**

AuthorID: 666188

Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Факультеты, Факультет послевузовского профессионального образования врачей, кафедра нелекарственных методов терапии и клинической физиологии (Москва), доктор медицинских наук.

**Ильясов Олег Рашитович**

AuthorID: 331592

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра техносферной безопасности (Екатеринбург), доктор биологических наук

**Косс Виктор Викторович**

AuthorID: 563195

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма, НИИ спортивной медицины (Москва), кандидат медицинских наук.

**Калинина Марина Анатольевна**

AuthorID: 666558

Научный центр психического здоровья, Отдел по изучению психической патологии раннего детского возраста (Москва), кандидат медицинских наук.

**Сырочкина Мария Александровна**

AuthorID: 772151

Пфайзер, вакцины медицинский отдел (Екатеринбург), кандидат медицинских наук

**Шукшина Людмила Викторовна**

AuthorID: 484309

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Головной вуз: РЭУ им. Г.В. Плеханова, Центр гуманитарной подготовки, Кафедра психологии (Москва), доктор философских наук

**Оленев Святослав Михайлович**

AuthorID: 400037

Московская государственная академия хореографии, кафедра гуманитарных, социально-экономических дисциплин и

менеджмента исполнительских искусств (Москва), доктор философских наук.

**Терентий Ливиу Михайлович**

AuthorID: 449829

Московская международная академия, ректорат (Москва), доктор филологических наук

**Шкаренков Павел Петрович**

AuthorID: 482473

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), доктор исторических наук

**Шалагина Елена Владимировна**

AuthorID: 476878

Уральский государственный педагогический университет, кафедра теоретической и прикладной социологии (Екатеринбург), кандидат социологических наук

**Франц Светлана Викторовна**

AuthorID: 462855

Московская государственная академия хореографии, научно-методический отдел (Москва), кандидат философских наук

**Франц Валерия Андреевна**

AuthorID: 767545

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт государственного управления и предпринимательства (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Глазунов Николай Геннадьевич**

AuthorID: 297931

Самарский государственный социально-педагогический университет, кафедра философии, истории и теории мировой культуры (Москва), кандидат философских наук

**Романова Илона Евгеньевна**

AuthorID: 422218

Гуманитарный университет, факультет социальной психологии (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Ответственный редактор**  
Чукмаев Александр Иванович  
Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права.  
(Астана, Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая,  
д. 44, к. 1, литера А

**Адрес электронной почты:** [info@national-science.ru](mailto:info@national-science.ru)

**Адрес веб-сайта:** <http://national-science.ru/>

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 620144, г. Екатеринбург,  
улица Народной Воли, 2, оф. 44

**Художник:** Венерская Виктория Александровна

**Верстка:** Коржев Арсений Петрович

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.

# СОДЕРЖАНИЕ

## АРХИТЕКТУРА

*Дмитриева А.О.*

«ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ» КАК ВАЖНАЯ  
СОСТАВЛЯЮЩАЯ АРХИТЕКТУРЫ «ФАБРИК  
БУДУЩЕГО».....6

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Савилов П.Н.*

МЕХАНИЗМЫ ЛЕЧЕБНОГО ДЕЙСТВИЯ  
ГИПЕРБАРИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА НА  
ГАЗООБМЕННУЮ ФУНКЦИЮ ЛЁГКИХ ПРИ SARS-Co-  
2-АССОЦИИРОВАННОЙ ПНЕВМОНИИ..... 10

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Nguyen Thanh Duong,*

*Nguyen Trung Kien, Nguyen Phu Vinh*  
MATHEMATICAL MODELS FOR THE MATERIAL SUPPLY  
MANAGEMENT BASED ON THE INTEGRATED  
LOGISTICS SUPPORT APPROACH .....22

*Ананьев М.С.,*

*Закревская Л.В., Николаева К.А.*  
ПЛАСТИФИЦИРОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО КВАРЦА  
ПОСРЕДСТВОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ.  
.....30

*Мельников С.М., Хабиров Т.Р.*

СРЕДСТВО ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПРОПАГАНДЫ ..27

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Алейдаров С.М.*

АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ  
НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА .....36

# АРХИТЕКТУРА

## «ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ» КАК ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АРХИТЕКТУРЫ «ФАБРИК БУДУЩЕГО»\*

*Дмитриева Алёна Олеговна*  
старший преподаватель кафедры  
«Архитектура промышленных сооружений»  
Московский архитектурный институт  
(государственная академия)  
г. Москва

## AWARENESS AS AN IMPORTANT COMPONENT OF THE ARCHITECTURE OF THE FACTORIES OF THE FUTURE\*\*

*Dmitrieva Alena*  
senior tutor of the Department  
"Architecture of industrial structures"  
Moscow architectural Institute  
(state Academy)  
Moscow

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2021.1.69.459

### АННОТАЦИЯ

В статье дано определение «фабрики будущего» как современной концепции организации производства и нового типа промышленной архитектуры. Раскрыто понятие «осведомленности» – важного свойства архитектурной среды новейших производственных объектов. Перечислены и описаны основные приемы ее формирования. Приведены примеры производственных предприятий, в архитектурных решениях которых реализовано это свойство. Сделан вывод о положительном влиянии «осведомленности» на функционирование высокотехнологичных предприятий и «фабрик будущего».

### ABSTRACT

The article defines the Factory of the Future as a modern organizational concept of production and as a new type of industrial architecture. The concept of awareness as an important property of the architectural environment of the newest production facilities is disclosed. The main methods of its formation are listed and described. Examples of manufacturing facilities implementing awareness in its architecture are given. The conclusions about the positive impact of the awareness on the functioning of high-tech production facilities and Factories of the Future are made.

**Ключевые слова:** современная промышленная архитектура; «фабрика будущего»; «осведомленность» архитектурной среды; гуманизация производственной среды; коммуникативность; четвертая промышленная революция.

**Key words:** contemporary industrial architecture; Factory of the Future; awareness of the architectural environment; humanization of the production environment; communication; Fourth Industrial Revolution.

Уже сегодня можно наблюдать как в связи со стремительным скачком научно-технического прогресса (Четвертая промышленная революция), диджитализацией и кастомизацией всех сфер человеческой жизни происходят значительные трансформации и в области материального производства. Это касается не только изменений в производственно-технологических процессах, но и формирования нового представления о производственной отрасли как о своеобразной форме предоставления услуг. В рамках этого представления появляются «фабрики будущего» («умные фабрики», Factories of the Future, Smart Factories) – системы комплексных инновационных и технологичных решений, реализующие разработку, тестирование и производство продукции нового поколения, позволяющие в

режиме реального времени реагировать на все технологические и экономические изменения [4].

С точки зрения архитектуры промышленных зданий и сооружений «фабрики будущего» это новый тип производственных объектов. Архитектурные решения таких предприятий основаны на максимальном соответствии организационной концепции «умная фабрика», с одновременным обеспечением высокого качества и гуманизации промышленной архитектуры, экологической безопасности, ресурсоэффективности и социальной дружелюбности. Помимо функциональной диверсификации и объемно-планировочных решений, обеспечивающих гибкость и изменяемость архитектурно-строительной структуры, отличительной чертой «фабрик

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-312-90011.

\*\* The reported study was funded by RFBR, project № 19-312-90011

будущего» является формирование производственной среды поддерживающей креативность, информированность и коммуникативность сотрудников.

Свойство производственной среды, формирующее информированность всех сотрудников предприятия (от членов руководящего состава до рядового рабочего) обо всех новациях в отделах тестирования и разработки новой продукции и на производстве, обеспечивающее их вовлеченность в производственный процесс, а также креативность решений и свободу идей обозначается термином «осведомленность» (awareness). «Осведомленность» архитектурных решений предполагает, что при проектировании рабочих пространств и других функциональных зон, помимо решения утилитарных задач, в приоритете находится создание условий для формирования и поддержания связей и коммуникаций.

Первым это понятие для характеристики архитектурной среды ввел немецкий архитектор Гюнтер Хенн (Gunter Henn) в конце 1990-х годов [6]. «Осведомленность» была реализована в ряде объектов научно-исследовательского, промышленного, офисного и мультифункционального назначения, спроектированных в мастерской G. Henn Architekten. Повышенная коммуникативность и информативность архитектурной среды также прослеживаются в проектах других архитектурных бюро, специализирующихся на промышленной архитектуре, например, Barkow Leibinger Architects, ATP Architekten, RMA Architekten, Bond Bryan Architects.

«Осведомленность» тесно связана с концепцией «бережливого производства» – стратегией управления промышленным предприятием, основанной на стремлении к постоянному и всестороннему устранению потерь [1], а также с современными тенденциями к демократизации производственной среды.

Одним из принципов «бережливого производства» является человеко-ориентированность производственной деятельности. Суть этого принципа заключается в создании мотивированности, стимуляции творческой активности, вовлеченности сотрудников в управление предприятием, а также учете индивидуальных способностей всех сотрудников [7, P.115]. При реализации этого принципа улучшаются рабочие коммуникации, повышается оперативность, у работников создается ощущение причастности к общему делу и заинтересованность в успешном функционировании предприятия.

Демократизация организации предусматривает коллективные обсуждения и решения некоторых вопросов, связанных с управлением предприятием, а также предоставление частичной автономности отдельным рабочим коллективам. Объемно-

функционально-планировочные решения, направленные на демократизацию производственной среды, в целом, соответствуют архитектурным приемам, создающим «осведомленность».

Архитектурные решения, реализующие «осведомленность», также способствуют осуществлению концепции «обучения длиною в жизнь» (lifelong learning). Сегодня новые профессии, связанные с передовыми научно-техническими достижениями, возникают практически ежедневно. Модернизация производственного оборудования на «фабриках будущего» и других инновационных производствах происходит в среднем раз в три-пять лет [4, С.171], что ведет к необходимости для сотрудников не только переобучаться работе с новыми машинами, но и осваивать новые концепции и принципы производства будущего. При этом «фабрикам будущего» выгодно принимать участие в формировании и подготовке необходимых им рабочих кадров. Из всех форм «непрерывного образования» «осведомленность» архитектуры в первую очередь способствует активизации неформализованного обучения, ключевым фактором которого является среда с благоприятными условиями для межличностных коммуникаций [11, P.172-174].

В рамках исследования основных принципов формирования архитектуры «фабрик будущего» был собран и проанализирован материал по 80-ти современным производственным предприятиям и по 20-ти промышленным объектам ретроспективного анализа, которые по тем или иным характеристикам соответствуют определению «фабрика будущего». Различные архитектурные приемы обеспечения «осведомленности» были зафиксированы более чем у половины изучаемых объектов-представителей. Было выделено несколько направлений создания осведомленности.

Компактность объемно-планировочных решений заключается в сокращении расстояний между основными функциональными зонами – непосредственном приближении друг к другу научно-исследовательских, производственных и административно-офисных подразделений. Этот прием осуществляется при помощи увеличения этажности и сплошной планировки производственных объектов – размещения «под одной крышей» всех частей предприятия, которые традиционно располагались в обособленных корпусах-зданиях [3, С.10,57].

Например, на «инновационной фабрике» мехатронных систем «Виттенштайн» (Wittenstein) (Henn Architekten, Германия, 2014) зоны производства, исследований и разработок, маркетинга и продаж, а также административно-офисные помещения сконцентрированы в одном объеме настолько компактно, что весь путь от первичных исследований до выпуска серийной продукции проходит в границах 30-метрового радиуса. Подобная «осведомленность»

архитектуры при помощи компактизации обеспечивает 30%-ное сокращение сроков выполнения всех производственных задач.

Функционально-планировочные решения, предполагающие выстраивание основных помещений и зон вокруг «объема-ядра» или вдоль циркуляционной оси, увеличивают протяженность границ между различными функциональными зонами, создавая потенциал для роста визуальных контактов и коммуникативности. Кроме того, потенциал «осведомленности» повышается с уменьшением общей площади объекта. Так, чем больше площадь объекта, тем затруднительнее осуществлять надежные коммуникации между основными функциональными зонами и их подразделениями, и наоборот, чем площадь объекта меньше, тем коммуникации плотнее и эффективнее.

На заводе по сборке автомобилей «Шкода» (Skoda) (Henn Architekten, Чехия, 1996) сборочный конвейер (зона производства) расположен вокруг административно-офисных помещений и отделов разработки. Благодаря этому, между двумя основными функциональными зонами создается максимально протяженная граница, что способствует улучшению обмена информацией и «осведомленности» [6, Р.94-99].

В связи с актуальной тенденцией к гуманизации производственной среды на современных предприятиях происходит увеличение социально-рекреационных зон, которые также способствуют формированию «осведомленности» [10, Р.225]. В состав бытовых помещений, комнат приема пищи или столовых, вводятся различные зоны для отдыха, неформального общения и занятий спортом. В ряде исследуемых объектов присутствуют составляющие социальной инфраструктуры, доступные как для работников предприятия, так и для его посетителей. Формирование таких зон «свободного доступа» способствует информированности и привлечению новых партнеров, потенциальных клиентов и сотрудников [2, С.15-16].

Формирование повышенной коммуникативности создается при помощи:

- «центров притяжения» – эргономичных и привлекательных пространств, ежедневно посещаемых большинством сотрудников компании, но не связанных с приложением труда; в качестве таких мест выступают социально-рекреационные зоны, рассмотренные выше;

- «осевых» и «ядровых» коммуникационных пространств, организуемых на границе нескольких функциональных зон [2, С.9], где может быть реализован специальный прием «пересечения потоков» – умышленное объединение / частичное соединение / пересечение путей перемещения внутри предприятия сотрудников, занятых в разных отделах.

В качестве примера можно привести фабрику сотовых телефонов «Моторола» (Motorola) (Sh.

Robson, Англия, 1998), где «коммуникативная улица», расположенная между тремя сборочными цехами с одной стороны и санитарно-бытовыми и офисными помещениями с другой, – организационная и композиционная ось комплекса – служит пространством для общения и укрепления корпоративного духа [8, Р.134-135].

«Осведомленность» в пределах одной функциональной зоны создается в открытых пространствах свободной планировки, обладающих хорошими акустическими свойствами (в первую очередь, шумопоглощением). В подобных зальных помещениях для комфортного и бесконфликтного сосуществования групповой и индивидуальной форм деятельности может быть организовано чередование закрытых и открытых участков [2, С.9], например, при помощи мобильных и / или светопрозрачных перегородок, не доходящих до отметки потолка помещения. Необходимо отметить, что формирование таких пространств, которые обеспечивают возможность и командной работы и индивидуальной деятельности, является более рациональной [9, Р.18].

Кроме того, определены локальные средства, при помощи которых может быть создана «осведомленность» архитектурной среды:

- мосты-галереи и смотровые площадки – архитектурные элементы, расположенные над уровнем рабочей зоны, которые обеспечивают информативный и безопасный обзор производственного пространства и происходящих в нем процессов;

- смотровые окна и витрины, создающие визуальные связи как между разными отделами или функциональными зонами внутри объекта, так и между интерьерами и внешней средой.

Примером может служить «умная фабрика ТРАМФ» (TRUMPF) (Barkow & Leibinger Architects, США, 2017) (производство лазерных станков), которая одновременно выполняет производственные и демонстрационно-выставочные функции. Один из фасадов производственно-выставочного зала представляет собой витрину, которая позволяет снаружи демонстрировать агрегаты, расположенные в цехе. В отметке нижнего пояса конструкций покрытия производственного зала (металлические фермы пролетом 45 м) спроектирован мост-галерея, проходящий через всё помещение. Двигаясь по мосту из одного конца цеха в другой, можно подробно осмотреть все высокотехнологичные станки в действии.

Высокая «осведомленность» архитектурной среды на производственном предприятии, в первую очередь, приводит к повышению производительности труда. Кроме того, создаются благоприятная психологическая обстановка, мотивированность и сплоченность всего коллектива, которые помогают легче и быстрее адаптироваться к трансформациям, связанным с внешними факторами. Установление прочных и эффективных, часто неформальных, связей между



различными подразделениями и отдельными сотрудниками на предприятии, способствует возникновению свежих нетривиальных идей по разработке и / или модернизации выпускаемой продукции, а также помогает находить инновационные решения выхода из «тупиковых», кризисных ситуаций. В перспективе, в связи со сложнопрогнозируемым и скачкообразным развитием научно-технического прогресса, это качество архитектуры «фабрик будущего» будет становиться все более актуальным.

#### Список литературы

1. Бережливое производство [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое\\_производство](https://ru.wikipedia.org/wiki/Бережливое_производство). (дата обращения: 12.07.2021).
2. Вартапетова, А. Е. Архитектурно-планировочные принципы организации офисных объектов : автореф. дис. ... канд. арх. / А. Е. Вартапетова. – М., 2010. – 33 с.
3. Крылов, В. В. Архитектурная типология промышленных зданий : учебное пособие / В. В. Крылов, Российская Федерация М-во образования и науки, ФГБОУ ВПО Тюменский гос. архитектурно-строит. ун-т, ин-т архитектуры и дизайна, Каф. архитектуры и дизайна. – Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та., 2014. – 159 с.
4. Проскурин А.Г. Современные принципы построения промышленных зданий / А.Г. Проскурин // Вестник ОГУ. – 2011. – № 9 (128). – С. 170-177.
5. Фабрики будущего [Электронный ресурс]: URL: <https://technet-nti.ru/article/fabriki-buducshego>. (дата обращения: 12.07.2021).
6. Allen, TH. J. The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology / TH. J. Allen G. W. Henn. – Oxford (UK): Butterworth–Heinemann, 2006. – 136 p.
7. Carpi, R. Performance management: Why keeping score is so important, and so hard/ R. Carpi, J. Douglas, Fr. Gascon // The great re-make: Manufacturing for modern times. – 2017. – USA: McKinsey&Company. - P.
8. Darley, G. Factory/ G. Darley. – London : Reaktion Books, 2003. – P. 134.
9. The future of work in technology : How technology leaders can reimagine technology work, the workforce, and the workplace / Kh. Kark, B. Briggs, A. Terzioglu, M. Puranik. – UK : Deloitte Press, 2019. – 32 p.
10. “We Are Not Concerned With Corporate Identity, But With Quality” – a Discussion With Frank Barkow and Regine Leibinger / F. Kaltenbach // Detail. – 2015. – № 3. – P. 222-227.
11. Wiendahl H.-P. Handbook Factory Planning and Design / H.-P. Wiendahl, J. Reichardt, P. Nyhuis. – Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2015. – 502 p.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

## МЕХАНИЗМЫ ЛЕЧЕБНОГО ДЕЙСТВИЯ ГИПЕРБАРИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА НА ГАЗООБМЕННУЮ ФУНКЦИЮ ЛЁГКИХ ПРИ SARS-CO-2-АССОЦИИРОВАННОЙ ПНЕВМОНИИ

*Савилов П.Н.*

*Доктор медицинских наук, профессор,  
врач анестезиолог-реаниматолог,  
Тамбовская центральная районная больница,  
Тамбовская область, Россия*

## MECHANISMS OF THE THERAPEUTIC EFFECT OF HYPERBARIC OXYGEN ON THE GAS EXCHANGE FUNCTION OF THE LUNGS IN SARS-CO-2-ASSOCIATED PNEUMONIA

*Savilov P.N.*

*Doctor of Medical Sciences, Professor,  
Anesthesiologist-resuscitator Tambov Central District Hospital,  
Tambov Region, Russia*

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2021.1.69.458

### РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются некоторые механизмы терапевтического эффекта гипербарической оксигенации при COVID-19: влияние гипербарического кислорода на сократительную способность эндотелиоцитов легочных капилляров, тромбогенный и артромбогенный потенциал легочных сосудов.

### ABSTRACT

The article discusses some mechanisms of the therapeutic effect of hyperbaric oxygenation in COVID-19: the effect of hyperbaric oxygen on the contractility of endotheliocytes of pulmonary capillaries, thrombogenic and arthrombogenic potential of pulmonary vessels.

**Keywords:** hyperoxia, lungs, SARS - Co-2 - associated pneumonia, treatment

В 2020 году независимо от сообщения с китайских врачей о первом успешном применении гипербарической оксигенации (ГБО) в больнице Уханьского речного пароходства у пяти больных с тяжёлой дыхательной недостаточностью, вызванной развитием SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии, была опубликована первая теоретическая работа, обосновывающая целесообразность включения гипербарического кислорода в лечение SARS-Co-2-инфицированных пациентов [1,2]. В дальнейшем стали появляться новые статьи, о применении ГБО при данной патологии [3-12]. Однако в них механизм лечебного действия гипербарической кислородной терапии при данной патологии либо не подвергался глубокому анализу, либо трактовался с позиции заместительного действия гипербарического кислорода. Если в основе первого лежит отсутствие, в силу определённых причин, экспериментальных данных о влиянии гипербарического кислорода (ГБО<sub>2</sub>) на ведущие звенья в патогенезе SARS-Co-2- ассоциированной пневмонии, то в основе второго лежит стереотипное мышление об антигипоксическом действии ГБО, под которым авторы понимали устранение гипербарическим кислородом гипоксии [3-12]. Между тем оно отмечается только во время сеанса, когда сверхнасыщение плазмы кислородом плазмы крови делает на время «ненужными» эритроциты. Поэтому речь в этом случае должна идти о заместительном эффекте ГБО [13], а такие показатели как сатурация крови (S<sub>O<sub>2</sub></sub>) и напряжение

кислорода (P<sub>O<sub>2</sub></sub>) в оценке эффективности ГБО-терапии не должны рассматриваться в отрыве от других клинко-физиологических и биохимических показателей. В настоящее время накоплено достаточное количество данных о том, что прекращение сеанса ГБО может приводить к реставрации, имеющейся в предгипероксическом периоде гипоксии и (или) гипоксемии [14,15,16], которая не влияет на лечебный эффект ГБО<sub>2</sub> [17,18,19]. Исходя из выше изложенного, невольно возникает вопрос: что определяет гипероксический саногенез при ГБО SARS-Co-2-инфицированных пациентов?

Прежде чем отвечать на данный вопрос разберёмся в термине гипероксический саногенез. Понятие «саногенез» выражает комплекс механизмов выздоровления/оздоровления организма при любой нозологической форме заболевания [13]. С точки зрения клинициста-практика, гипероксический саногенез- это совокупность механизмов, которые повышают саногенный потенциал как здорового, так и больного организма в результате его сверхнасыщения кислородом. Поскольку ГБО<sub>2</sub> это естественный эволюционный адаптоген [13], то с этих позиций он является универсальным фактором, способным корректировать адаптационную ауторегуляцию жизненных процессов здорового и больного организма.

Если мы обратимся к данным О.А. Левиной с соавт. [18], то увидим, что сразу после первого сеанса ГБО у больных SARS-Co-2-

ассоциированной пневмонией, имеющих по компьютерной томографии (КТ) поражение лёгких 3-4 степени,  $S_{O_2}$  находилась в пределах 99%, т.е. в условиях ГБО, устранялась гипоксемия, которая отмечена в предгипероксическом периоде. Ко второму сеансу ГБО величина  $S_{O_2}$  достоверно превышала аналогичный показатель на момент первого сеанса ГБО, но была ниже нормы (рис.1), т.е. после первого сеанса ГБО имела место реставрация гипоксемии. Гипоксемия в

предгипероксическом периоде отмечалась до 7-го сеанса ГБО (табл.1). Анализ результатов, полученных О.А. Левиной с соавт. (табл.1), позволяет говорить о некоторых биологических эффектах ГБО<sub>2</sub>, которые проявляются в процессе курсового применения ГБО (1,4-1,6 АТА, 40-650 мин) у больных SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией с поражением лёгких 3-4 степени под данным КТ.

Таблица 1.

**Насыщение крови кислородом при применении курса гипербарической оксигенации у больных SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией тяжёлой степени (22 пациента) [18].**

Время исследования	Номер сеанса			
	1	2	3	4
До ГБО	90 [88;92,8]	92,5* [87,8;96,3]	92,5* [90;95,8]	94* [90;96,5]
После ГБО	99# [97,3;100]	99 [94,8;100]	99 [97;100]	99 [97;100]
Время исследования	Номер сеанса			
	5	6	7	8
До ГБО	94,5* [92;96,3]	93,5* [93;97]	95* [93;95,5]	95,5* [94,5;96,3]
После ГБО	99 [97,3;100]	99,5 [98,8;100]	99 [98,5;99,5]	100 [99,8;100]

Примечание: \*- статистически значимое отличие от исходного показателя в группе (критерий Вилкоксона,  $p < 0,05$ ); # - статистически значимое отличие между показателем «до» и «после» (t- критерий Стьюдента,  $p < 0,05$ ). По оси абсцисс - номер сеанса ГБО, по оси ординат- сатурация крови в %. [18]

Во-первых, это отсутствие гипоксемии у больных после извлечения из барокамеры не зависимо от величины  $S_{O_2}$  на момент оксигенации и количества сеансов ГБО. Мы уже говорили, что в процессе сеанса ГБО ликвидация гипоксемии определяется законом Генри. Но как объяснить её отсутствие в первые минуты после извлечения больного из барокамеры, когда закон Генри уже не действует. Общеизвестно, что в процессе декомпрессии, проводимой в конце сеанса перед извлечением больного из барокамеры, происходит десатурация, которая сопровождается снижением напряжения кислорода ( $P_{O_2}$ ) в крови и тканях до исходной величины или даже ниже. Но в исследованиях О.И. Левиной с соавт. (табл.1), у оксигенированных пациентов с SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией величина  $S_{O_2}$  после каждого сеанса находилась в пределах 99-100%. Как объяснить данное явление?

Утверждение о депонировании некоторого количества кислорода в тканях оксигенированного организма, на что указывают некоторые авторы [20], мы считаем не корректным. Дело в том, что депонирование в биологических системах есть организованный процесс длительного хранения биологического вещества (например, депонирование гликогена в гепатоцитах). Между тем насыщение биологических жидкостей кислородом во время сеанса ГБО есть исключительно результат физического (гипербарического) воздействия на организм, прекращение которого приводит к десатурации и снижению повышенного в условиях ГБО  $P_{O_2}$ . Увеличение данного показателя по сравнению с предгипероксическим состоянием является результатом либо устранением факторов

вызывавших его снижение, либо снижением потребления кислорода клетками конкретного органа или ткани.

Обсуждая динамику  $S_{O_2}$  у пациентов SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией, следует отметить, что применяемые в настоящее время для её измерения пульсоксиметры основаны на методе двухполосной абсорбционной спектроскопии, разработанного Такуо Аоуаги [21]. Этот метод предполагает, что интенсивность поглощения света остальными тканями (кроме артериальной крови) является величиной постоянной, не изменяющейся у конкретного человека на протяжении времени исследования [21]. Сигнал пульсовой волны создаётся только пульсирующей артериальной кровью, затухая по мере наполнения микрососудов кровью во время систолы и увеличиваясь во время диастолы. Поскольку в конце систолы в микрососудах преобладает артериальная кровь, то считается, что пульсоксиметр регистрирует сатурацию именно артериальной крови [21]. Поэтому причиной сохранения  $S_{O_2}$  у оксигенированных SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией в пределах 99-100% (табл.1) в первые минуты после декомпрессии (сверхнасыщения кислородом организма уже нет) не является улучшение диффузионной способности лёгких. Это связано, с увеличением кровенаполнения периферических тканей в результате прекращения, эволюционно детерминированного [22], вазоконстрикторного влияния гипероксии на периферические сосуды большого круга кровообращения и развития в них кратковременной постгипероксической вазодилатации.

Во-вторых, курс ГБО, применённый О.А. Левиной с соавт. у больных с SARS- Co-2-

ассоциированной пневмонией выявил снижение степени гипоксемии (определяемой по величине  $SO_2$ ) в предгипероксическом периоде по мере увеличения количества сеансов ГБО от одного до шести (табл.1). Именно этот биологический эффект ГБО<sub>2</sub> указывает на постепенное улучшение диффузионной способности поражённых лёгких у больных с SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией в процессе увеличения количественной гипероксической нагрузки. Неслучайно по данным О.А. Левиной с соавт. 32% оксигенированных больных SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией отказывались от дополнительной кислородной терапии во время проведения курса ГБО, а у 41% оксигенированных больных SARS- Co-2- ассоциированной пневмонией наблюдался переход на спонтанное дыхание в течение 1-2 суток после завершения курса ГБО [18]. Каким же образом происходит улучшение функции внешнего дыхания и газообменной функции лёгких у больных SARS-

Co-2- ассоциированной пневмонией в процессе курсового применения ГБО?

Для ответа на этот вопрос вначале обратимся к особенностям строения альвеолярно-капиллярной мембраны (АКМ) и механизмам нарушения диффузионной способности лёгких при респираторном дистресс синдроме (РДС), который имеет место и при SARS- Co-2- ассоциированной пневмонии. Согласно современным исследованиям АКМ имеет две стороны: «тонкую» и «толстую» отдел [23]. Тонкая сторона практически лишена соединительной ткани, в результате чего эндотелиальная базальная мембрана «сливается» непосредственно с эпителиальной базальной мембраной (интерстиций практически здесь отсутствует), формируя очень тонкую стенку приспособленную только для диффузии газов (рис.1). Другая часть АКМ (рис.1), «толстый отдел», содержащая практически всю альвеолярную интерстициальную соединительную ткань, предназначена для обмена жидкостью между кровью и легочным интерстицием [23].

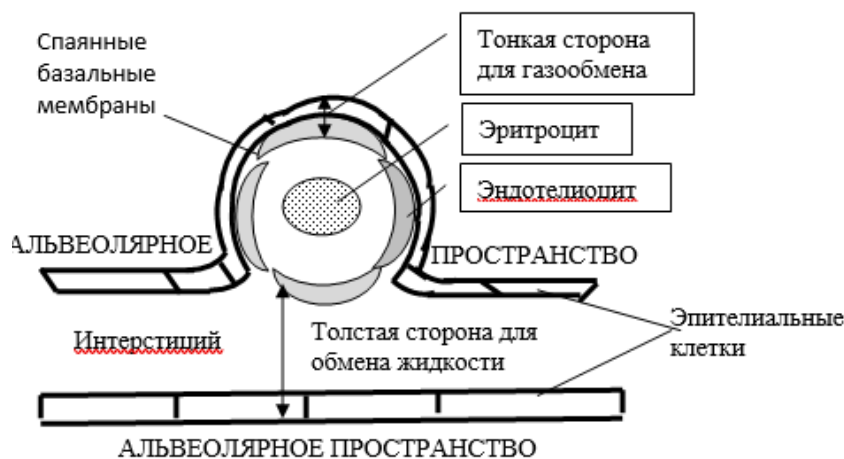


Рис.1. Функциональная анатомия альвеолярно-капиллярной мембраны. Жидкость входит в интерстициальное пространство с «толстой» стороны мембраны». Тонкая сторона мембраны идеально приспособлена для газообмена. По рисунку John Hansen-Flaschen (1997) [23].

Поскольку межклеточные контакты между альвеоцитами наиболее плотные, чем между эндотелиоцитами легочных капилляров, то в физиологических условиях растворимые соединения, по размерам больше мочевины, не выходят из альвеолярного интерстиция в полость альвеол. Отсутствие воды в пространствах альвеол здорового лёгкого при её обязательном присутствии в альвеолярном интерстиции связано с функционированием трёх компенсаторных механизмов: эффекта сита, феномена повышенного интерстициального гидростатического давления и резервных возможностей лёгочной лимфатической системы [23]. Анализ морфологических изменений легочной ткани, которые происходят в процессе развития SARS- Co-2- ассоциированной пневмонии [24], позволяет утверждать, что изменения в микроциркуляторном русле лёгочной ткани при

данной патологии будут тождественны тем, что были описаны при экспериментальном моделировании локального воспаления: а) сокращение эндотелиальных клеток; б) реорганизация их цитоскелета и контакта этих клеток; в) повреждение эндотелия с ретракцией, лизисом и отслойкой; г) отслойка эндотелия без лизиса [25]. Различие будет только в особенностях пусковых механизмов и характера развития воспалительного процесса в ткани при цитокиновом шторме или при его отсутствии [25,26,27].

Анализ клинических сообщений показавших высокую эффективность ГБО в лечении SARS-Co-2-ассоциированных пневмоний [3-12], позволяет говорить о саногенном вмешательстве ГБО<sub>2</sub> не только в процессы зарождения и развития как цитокинового шторма, но и конечный этап его

деятельности, проявляющийся нарушением функции внешнего дыхания и газообмена в лёгких. Накопленный за последние десятилетия огромный материал об успешном применении ГБО в различных отраслях медицины даёт основание полагать, что у больных SARS-Co-2-ассоциированной пневмонией следует ожидать прямое, опосредованное и рефлекторное влияние ГБО<sub>2</sub> на патологические, защитно-приспособительные и компенсаторные реакции, возникающие в организме, при данном виде патологии.

Согласно леоновскому учению гипероксическом саногенезе, в основе лечебных эффектов ГБО<sub>2</sub>, независимо от состояния организма на момент оксигенации, лежат адаптационно - метаболические, адаптационно-функциональные и адаптационно-морфогенетические механизмы, которые реализуются на разных уровнях структурно-функциональной организации организма [13]. Поэтому формируя наши представления о процессах, которые лежат в основе устранения ГБО<sub>2</sub> нарушений газообменной функции лёгких при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии вначале постараемся понять его влияние на структурно-функциональную единицу легочной ткани – ацинус, куда, как известно [28], помимо альвеол, входят капилляры кровеносных и лимфатических сосудов, экстрацеллюлярный матрикс (ЭЦМ), бронхиолы и нервные окончания.

Известно, что одними из первых мишеней повреждающего действия цитокинов становятся клетки сосудистого эпителия [25], сокращение которых увеличивает проницаемость капиллярной стенки для жидкости и плазменных белков (но не клеток крови) [23]. Развитие этого процесса у эндотелиоцитов толстого отдела АКМ приведёт к увеличению поступления воды и белков плазмы из крови в легочной интерстиций через увеличенные межклеточные щели на фоне нарушения функционирования в эндотелиоцитах везикулярных каналов ( образуются в результате временных слияний инвагинаций клеточных мембран и цитоплазматических везикул [23]) и везикулярного транцитоза. Что касается тонкого отдела АКМ, то здесь, из-за морфологических особенностей его строения (рис.1) следует ожидать в начале набухание эндотелиоцитов в результате увеличения проницаемости их плазматической мембраны, вызванного действием цитокинов. (Вначале этот процесс начнётся в альвеолитах, поражённых SARS). Поскольку внутриклеточная гипергидратация сопровождается нарушением

функций клеток, то её развитие в эндотелиоцитах легочных капилляров приведёт к снижению их антиадгезивных свойств. Как следствие, адгезия на них тромбоцитов, нейтрофилов и белков плазмы крови. В результате тонкий отдел АКМ в зоне воспаления превратится в толстый, что отразится на скорости диффузии газов через него. По мере прогрессирования патологического процесса в легочной ткани будет происходить повреждение обеих отделов АКМ с выходом как в экстравазальное пространство, так и в просвет альвеол форменных элементов крови, прежде всего нейтрофилов с формированием обширных инфильтратов [24].

Установлено, что применение ГБО<sub>2</sub> при сахарном диабете, трансплантации печени, и в качестве прекондиционирования тормозит образование провоспалительных цитокинов TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6 [29-33], которые, как известно [34], образуются помимо респираторных эпителиальных клеток и в легочных макрофагах. Поэтому есть все основания ожидать аналогичный эффект у оксигенированных больных с SARS-Co-2-ассоциированной пневмонией. В его основе будут лежать не только смещение соотношения про- и противовоспалительных цитокинов в сторону последних, в т.ч. через «трансформацию» про- противовоспалительные цитокины, но и увеличение пула клеток рефрактерных к стимуляторам цитокинового шторма.

Можно предположить, следующие механизмы гипероксического влияния на сократительную способность эндотелиальных клеток легочных капилляров при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии (рис.2): 1. Подавление ГБО<sub>2</sub> выработки провоспалительных цитокинов И-1 и фактора некроза опухолей (ФНО), которые, как известно [25], активируют образование тромбина и фибриногена, вызывающих сокращение эндотелиальных клеток капилляров; 2. Нарушения взаимодействия кальция с кальмодулином, что будет предотвращать реакцию эндотелиоцитов обоих отделов АКМ на стимуляцию их ретракции. 3. Нарушение под влиянием ГБО адгезии тромбина и фибриногена на поверхности эндотелиоцитов лёгочных капилляров в результате блокады адгезивных рецепторов эндотелиоцитов эндогенными метаболитами эволюционно запрограммированными на адаптивную реакцию организма в ответ на его сверхнасыщение кислородом (например, мочевиной) образование которой в лёгких повышается при терапевтических режимах ГБО [35,36]),

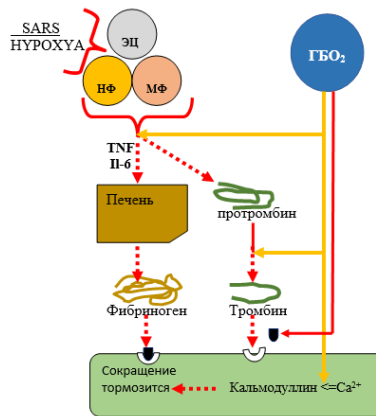


Рисунок 2 Схема предполагаемого механизма гипероксического влияния на сократительную способность эндотелиальных клеток легочных капилляров при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии ГБО<sub>2</sub>-гипербарический кислород, ЭЦ-эндотелиоциты, МФ-макрофаги, НФ-нейтрофилы. Красная сплошная стрелка-стимуляция процесса, красная прерывистая стрелка-торможение процесса, жёлтая стрелка ингибирующее влияние ГБО<sub>2</sub>, - эндогенный блокатор адгезивных рецепторов эндотелиоцитов легочных капилляров

Если учесть, способность ГБО вызывать в клетках ультраструктурные изменения, сопряжённые с купированием воспалительного процесса в органе [13], то есть все основания говорить о способности ГБО<sub>2</sub> как предотвращать, так и оказывать регулирующее влияние на возникающие при цитокиновом шторме изменения цитоскелета и межклеточных контактов альвеоцитов и эндотелиальных клеток обеих отделов АКМ. Конечным результатом этого будет предотвращение отслойки эндотелия от базальной мембраны и нормализация в ней диффузионных процессов.

Одним из морфологических признаков тяжёлого воспаления в легких, в том числе и при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии, является гибель альвеоцитов и эндотелиоцитов [24, 25]. Причина аутолиз клетки в результате повышения проницаемости мембран лизосом, что приводит к выходу из них лизосомальных ферментов в цитоплазму и самоперевариванию клетки. Между тем, ГБО в терапевтических режимах стимулирует накопление в легких как в норме [35], так и в условиях патологии [36], мочевины, которая является стабилизатором лизосомальных мембран [37], предотвращая выход лизосомальных ферментов в цитоплазму клетки. Следует отметить способность мочевины тормозить образование кислородных радикалов на железосодержащих белках [38]. С этих позиций можно утверждать, что аналогичные режимы ГБО будут оказывать ингибирующее влияние на аутолиз клеток легочной ткани при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии.

Известно, что SARS поражает альвеоциты II типа [39], ответственные за продукцию сурфактанта. Гибель этих клеток, равно как нарушение синтеза сурфактанта, приводит к спадению альвеолы, т.е. выключению её из газообмена. К этому приводит активация свободно-радикальных процессов и перекисного окисления

липидов (ПОЛ) в легочной ткани обнаруженное при респираторном дистресс-синдроме (APDS) [34], развивающимся в том числе и при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии [39].

К настоящему времени установлена способность ГБО предотвращать повышенную генерацию свободных радикалов (впервые описано В.А. Барсуковым в 1968 году [40]) и тормозить активацию ПОЛ в условиях патологии [41]. Кроме этого выявлена высокая устойчивость ферментного отдела антиоксидантной системы интактных лёгких к 18-ти дневной гипероксической нагрузке однократными сеансами ГБО в режиме 2 ата, 50 мин [36], которые применяются и при лечении SARS-Co-2-инфицированных больных [18]. Это позволяет утверждать торможение избыточного лизиса эндотелиоцитов АКМ у больных SARS-Co-2-ассоциированной пневмонией при ГБО-терапии. Данный лечебный эффект ГБО<sub>2</sub> может реализовываться несколькими путями: прямым и опосредованным (рис 3).

Прямое влияние ГБО<sub>2</sub> будет проявляться его влиянием на дыхательную цепь митохондрий, изменением потребления клетками кислорода в условиях гипероксии, которое, как установлено [13], находится в прямой зависимости от их функционального состояния на момент оксигенации. Поскольку в воспалённой ткани обнаруживаются клетки с различной степенью функциональной активности [25], то и скорость потребления кислорода ими будет различной: повышенной, пониженной, или рефрактерной. Исходя из этого в условиях ГБО будет меняться и скорость естественной утечки активных форм кислорода (АФК): тормозится повышенное, нормализоваться пониженное. Это естественно отразится на активности ферментов антиоксидантной системы, особенно супероксиддисмутазы (СОД) лёгких, которая выявила высокую лабильность при адаптации к гипероксической нагрузке [36,42].



Рисунок 3. Предполагаемые механизмы действия гипербарического кислорода на свободно-радикальные процессы и клеточные мембраны

АЦ- альвеолоциты, ДЦ- дыхательная цепь, ЭЦ- эндотелиоциты, ГБО<sub>2</sub> – гипербарический кислород. Красный цвет – стимуляция процесса, жёлтый цвет- торможение процесса, зелёный цвет- естественное течение процесса, черный цвет- отсутствие влияния на процесс, голубой цвет- регулирующее влияние на процесс.

В цитозоле эндотелиоцитов лёгочных капилляров и пневмоцитов регулятором образования АФК при гипероксии могут выступать мочевины и мочевая кислота. Неслучайно, эти компоненты неферментного звена антиоксидантной системы лёгких реагировали в эксперименте на увеличение гипероксической нагрузки лечебными режимами ГБО [35], применяемыми у пациентов с SARS- Co-2-ассоциированной пневмонией [18]. Кроме этого выявлена способность ГБО тормозить перекисное окисление липидов и активировать антиоксидантную систему в легочной ткани при геморрагическом шоке [43].

Опосредованный эффект ГБО будет реализовываться через изменение метаболизма в альвеоцитах глутаминового и глутатионового циклов. Первый поставляет субстрат для синтеза глутатиона, во втором происходит нейтрализация перекиси водорода. Предотвращение в гипероксических условиях избыточного образования клетками поражённого органа активных форм кислорода и гидроперекисей, является одним из условий торможения ПОЛ [13]. Как следствие повышение устойчивости плазматических мембран к действию повреждающих факторов и быстрое восстановление их повреждённых участков в процессе внутриклеточной регенерации. Этому будет способствовать и изменение в процессе гипероксического воздействия содержания в них фосфолипидов. В эксперименте установлено, что применений ГБО при геморрагическом шоке стимулирует накопление в легочной ткани фосфатидилинозита и сфингомиелина [43],

обеспечивающих, как известно, "жесткость" клеточных мембран.

Одним из ведущих звеньев в патогенез нарушения газообменной функции лёгких при ARDS, развивающимся на фоне SARS- Co-2-ассоциированной пневмонии является нарушение микроциркуляции в легких в результате развития тромботической микроангиопатии и тромбоза [44]. Установлено, что повышение концентрации провоспалительных цитокинов IL-1α, IL-6, TNF-α в крови вызывает экспрессию на эндотелии, моноцитах и макрофагах тканевого тромбопластина -триггера коагуляции [39]. При этом из эндотелия высвобождается фактор фон Виллебранда, приводящий к адгезии и агрегации тромбоцитов на стенках сосудов. Экспрессия тканевого тромбопластина способствует переходу фактора VII в VIIa, что приводит к активации фактора X. Одновременно из активированных тромбоцитов высвобождается фактор Va, образующий комплекс с белком Xa, который трансформирует протромбин в тромбин [39]. Провоспалительные цитокины вызывают снижение в крови эндогенных антикоагулянтов – ингибитора внешнего пути тканевого фактора, антитромбина III и активированного протеина С [44,45]. Взаимодействие эндотелиоцитов, тромбоцитов, моноцитов, макрофагов, лимфоцитов и лейкоцитов при "цитокиновом шторме" повышает экспрессию тканевого фактора и усиливает коагуляцию [45].

Между тем, позитивные результаты, полученные при лечении SARS-Co-2-ассоциированных пневмоний методом ГБО [3-12, 46], позволяют говорить о возможности ГБО<sub>2</sub>

устранять (предотвращать) патологическое тромбообразование в микроциркуляторном русле лёгких. До настоящего времени накоплено незначительное количество работ о влиянии ГБО на отдельные звенья гемостаза. Однако подмечено, что способность ГБО<sub>2</sub> стимулировать или подавлять тромбообразование зависит от состояния гемостаза на момент оксигенации [47,48,49]. Например, применение ГБО на фоне гиперкоагуляции приводило к нормализации коагулограммы [49,50]. Исходя из этого постараемся разобраться в некоторых механизмах лечебного действия ГБО<sub>2</sub> на тромботическую микроангиопатию в легочных капиллярах при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии. В данной работе мы затронем вопрос о гипероксическом влиянии на тромборезистентность легочных капилляров, которая детерминирована прежде всего функциональной активностью их эндотелия [51]. Установлено, что эндотелиальные клетки сосудов выделяют как тромбогенные (тромбопластин, фибронектин, фактор Виллебранда, тромбоксан A<sub>2</sub>, фактор активации тромбоцитов) и атромбогенные факторы (Протеины С и S, тромбомодулин, протеогликаны, гепарин). Рассмотрим один из возможных механизмов, гипероксического влияния на тромбогенную активность эндотелия легочных капилляров в условиях тромбогенной микроангиопатии, вызванной SARS-Co-2 (рис.4).

Обладая способностью тормозить выброс провоспалительных цитокинов [29-33], ГБО<sub>2</sub> будет предупреждать их повреждающее влияние

клеточную мембрану, запускающее синтез эндотелиоцитами тромбопластина, который в физиологических условиях в них образуется незначительно или не образуется вообще [52,53]. При этом не исключается ГБО-детерминированное торможение выхода образованного тромбопластина на поверхность эндотелиальной клетки с его последующим расщеплением на белковую и липидную фракции, которые, как известно [54,55], не обладают прокоагулянтной активностью.

Локализованный на клеточной мембране тромбопластин не только активирует гемокоагуляцию, но и связываясь с гепарином уменьшает его антикоагулянтную активность [56]. Между тем связывание мочевины с гепарином увеличивает антикоагулянтные свойства последнего [57]. ГБО в лечебных режимах вызывает увеличение содержания мочевины в крови и легочной ткани [35,36]. Нельзя исключить, что взаимодействуя с гепарином, мочевина препятствует его связыванию с тромбопластином, локализованным на эндотелии лёгочных капилляров (рис.4). Устраняя повреждающее действие цитокинов на клеточную мембрану и одновременно повышая её устойчивость к действию повреждающих факторов, ГБО<sub>2</sub> предотвращает повышенное образование тромбоксана A<sub>2</sub> в эндотелиоцитах. При этом не исключается его ингибирующее влияние на его выход из клеток с последующей внутриклеточной деградацией.

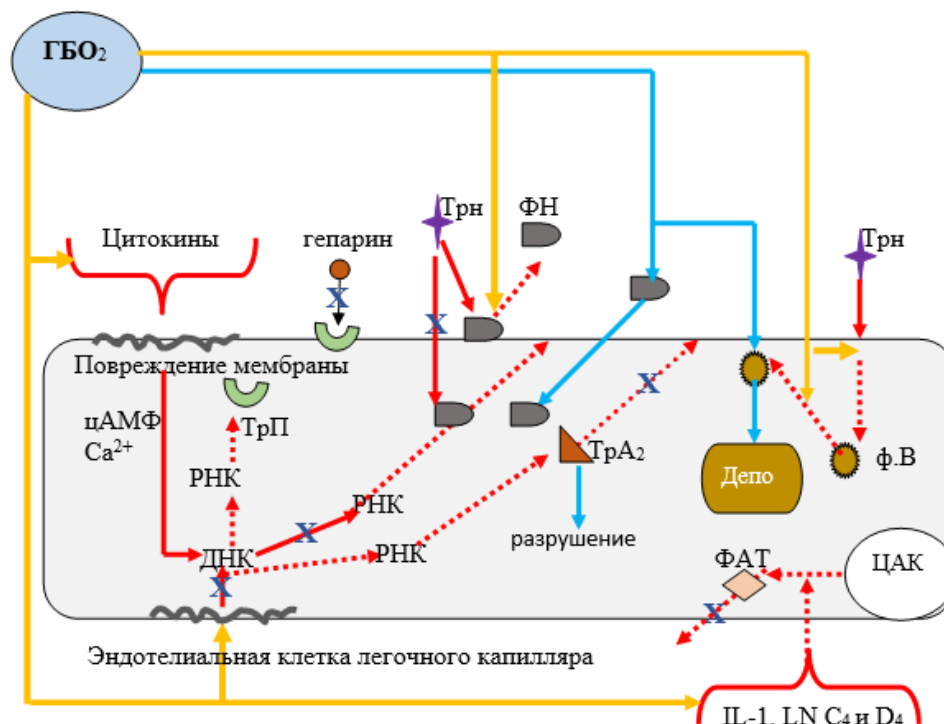


Рис.4. Предполагаемые механизмы гипероксического влияния на тромбогенную активность сосудистой стенки лёгочных капилляров при гиперкоагуляции, вызванной инфицированием SARS-Co-2

ГБО<sub>2</sub>-гипербарический кислород, ТрА<sub>2</sub>- тромбоксан A<sub>2</sub>, ТрП- тромбопластин, Трн-тромбин,

ФН- фибронектин, ф.В- фактор Вилебранда, ФАТ- фактор активации тромбоцитов, ЦАК- цикл



арахидоновой кислоты. Красная сплошная стрелка-стимуляция, красная прерывистая стрелка-торможение, голубая стрелка -стимулирующее влияние ГБО<sub>2</sub>, жёлтая стрелка -ингибирующее влияние ГБО<sub>2</sub> – ингибирование процесса, X- ГБО<sub>2</sub>-детерминированное нарушение

Основными источниками фибронектина плазмы является эндотелий сосудов и гепатоциты. Повреждение стенки капилляров является одним из сигналов к активации образования эндотелиоцитами фибронектина. Тромбин стимулирует выделение фибронектина эндотелиальными клеткам, не влияя на его синтез в них [58]. Связываясь с гликопротеином III на поверхности активированных тромбоцитов, фибронектин способствует их быстрой агрегации и адгезии. Для нормального хода свёртывания крови фибронектин не является необходимым фактором, но при активации гемокоагуляции он вовлекается в процесс формирования сгустка, образуя ковалентную связь с  $\alpha$ -цепью фибрина [51]. Можно предполагать, что ГБО<sub>2</sub> предупреждая повреждение клеточной мембраны цитокинами будет снижать влияние тромбина на выход фибронектина из клетки. В свою очередь восстановление клеточной мембраны приведёт к прекращению сигналов от её повреждённых участков, провоцирующих стимуляцию образования фибронектина. Нельзя исключить, что изменение pH крови, имеющее место в условиях ГБО [59], окажет ингибирующее влияние на диссоциацию поверхностного фибронектина (рис.4). Не исключается стимулирующее влияние ГБО на поступление фибронектина из крови в эндотелий капилляров (рис.4), что обнаружено в физиологических условиях [60].

Известно, что провоспалительные цитокины стимулируют синтез фактора активации тромбоцитов (ФАТ) [61], который при отсутствии стимуляции эндотелиоциты не образуют или образуют в очень малом количестве [51]. Можно предположить, что в указанных нами условиях, ГБО<sub>2</sub> будет устранять этот явление, а также тормозить выход уже образованного ФАТ в кровотока (рис.4). Аналогичное влияние ГБО<sub>2</sub> может оказывать на образование ФАТ в других клетках легочной ткани, вовлекаемых в воспалительный процесс (тучные клетки, нейтрофилы, альвеолярные макрофаги).

Одним из главных факторов, определяющих адгезию тромбоцитов к сосудистой стенке капилляра является фактор Виллибранда, который синтезируется и накапливается в эндотелиальных клетках в составе телец Weibel-Palade. На уровень фактора Виллибранда в эндотелиоцитах могут влиять как сигналы поступающие из других клеток [62], так и тромбин, который, вызывая метилирование фосфатилэтанолamina и вход  $Ca^{2+}$  в клетку, стимулирует его секрецию [51]. Можно полагать, что ГБО<sub>2</sub>, изменяя сродство рецепторов к эндотелиоцитам легочных капилляров к тромбину, так и регулируя вход  $Ca^{2+}$  в клетки будет тормозить секрецию фактора Виллибранда

эндотелиальными клетками в кровотока, одновременно стимулируя его депонирование внутри них. Это по принципу обратной связи приведёт к временному прекращению образования данного вещества.

Помимо тромбогенных, в сосудистом эндотелии образуются факторы, которые ингибируют свертывание крови, активируют фибринолиз, тормозят агрегацию и адгезию тромбоцитов. Эти факторы формируют атромбогенный потенциал сосудов, которых обеспечивает кровотока в микроциркуляторном русле. Снижение этого потенциала, в результате повреждения сосудистого эндотелия на фоне гиперкоагуляции – прямой путь к тромбогенной микроангиопатии, тромбозам капиллярного русла и нарушению функции органов, что имеет место при тяжелом течении COVID-19 [39].

Важная роль в формировании атромбогенных свойств сосудов отводится системе протеин С-тромбомодулин-протеин S. Протеин С (PrC)-витамин К-зависимый белок, образующийся в печени. Антикоагулянтные свойства проявляет только активированная форма (A-PrC). Естественным активатором PrC является тромбин, но для быстрой активации необходимо наличие мембранного белка эндотелиальных клеток-тромбомодулина, который интегрирован в состав клеточной мембраны эндотелия [51]. Протеолитическая активность A-PrC значительно усиливается в присутствии другого витамин К-зависимого белка – протеина S (PrS), который помимо гепатоцитов и эндотелиоцитов содержится в  $\alpha$ -гранулах тромбоцитов [51]. Взаимодействие PrC, тромбина, тромбомодулина и PrS происходит на клеточной мембране эндотелиальной клетки. Повреждение её при цитокиновом шторме непременно отразится на коагуляционном потенциале крови и тромборезистентности сосудов. В частности установлено снижение содержания PrC в крови при ARDS [51]. Способность ГБО устранять нарушения белкосинтетической функции печени, вызванные гипоксией [13], которая развивается и при тяжелом течении COVID-19 [3-12], даёт основание предполагать стимуляцию ГБО<sub>2</sub> образования PrC в печени пациентов с SARS-Co-2-ассоциированной пневмонией (рис.5). При этом не исключается спонтанная активация находящегося в плазме PrC, происходящее при участии тромбина и  $Ca^{2+}$ . (Данная реакция происходила *in vitro* в естественных условиях, но медленно [63]). Однако основной процесс будет проходить на мембране эндотелиоцитов с участием тромбомодулина. Можно полагать, что ГБО<sub>2</sub> будет не только стимулировать его синтез в эндотелиоцитах, но и восстанавливать участки его связывания на повреждённой цитокинами их мембране. Подавляя образование IL-1 [3], ГБО будет восстанавливать, нарушаемое данным цитокином [63], выделение тромбомодулина из эндотелиальных клеток. Если учесть, способность ГБО<sub>2</sub> вызывать конформационные изменения белковых молекул

[13,64], нельзя исключить аналогичные изменения в молекуле тромбомодулина, восстанавливающее его средство к тромбину, которое может нарушаться при патологии [51]. Связывание тромбомодулина с тромбином ингибирует прокоагулянтные свойства последнего, повышая

тем самым антикоагулянтный потенциал крови. Между тем при взаимодействия тромбомодулина с тромбином в последнем происходят конформационные изменения, превращая тромбин в активатор ПрС [51].

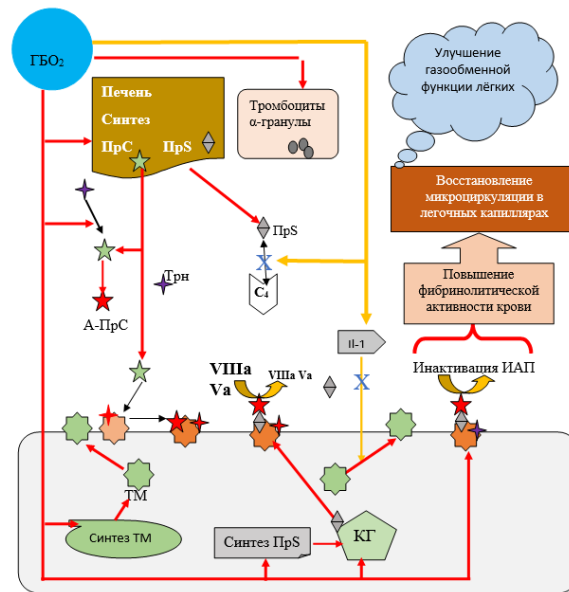


Рисунок 5. Предполагаемый механизм регулирующего влияния ГБО<sub>2</sub> на атромбогенные свойства эндотелия легочных капилляров в системе протеин С-тромбомодулин-протеин S при гиперкоагуляции, вызванной инфицированием SARS-Co-2

*A-прС-- активная форма протеина С, ИАП- ингибитора активатора плазминогена, КГ- комплекс Гольджи, ПрS- протеин S, ТМ- тромбомодулин, Трн- тромбин. Красный цвет- стимуляция процесса, жёлтый цвет – ингибирование процесса, X- ГБО-детерминированное нарушение*

Известно, что антикоагулянтное действие А-ПрС усиливается ПрS [51]. Можно предположить, что применение ГБО при тяжёлом течении SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии стимулирует синтез и секрецию ПрS в кровь из печени, а также его синтез и накопление α-гранулами тромбоцитов (рис.5). Одновременно снижается связывание ПрS с белком С<sub>4</sub> системы комплемента. Образующийся таким образом в крови пул свободной формы ПрS и его запас в тромбоцитах создают условия для длительного сохранения повышенного антикоагулянтного потенциала крови в постгипероксическом периоде. Стимулируя образование ПрS в эндотелиоцитах, ГБО<sub>2</sub> создаёт условия для восполнения его запасов с комплексе Гольджи, а также восстанавливает его депонирование на периферии клеток (рис.5), нарушаемое при длительной активации коагуляционного гемостаза [51]. Установлено, что увеличивая связывание А-ПрС с мембраной эндотелиоцита, ПрS создаёт условия для протеолитической инактивации факторов свёртывания Va и VIIIa [65]. Можно полагать, что ГБО не только восстанавливает этот процесс, нарушенный при тяжёлом течении SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии, но и стимулирует его за счёт увеличения ПрS как рецептора на поверхности эндотелия лёгочных капилляров. Стимулируя включение в клеточные мембраны

тромбомодулина и ПрS на фоне увеличения концентрации в крови ПрС, ГБО<sub>2</sub> будет повышать профибринолитический потенциал крови при SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии. Это связано со способностью А-ПрС инактивировать ингибитора активатора плазминогена, образующегося в эндотелии [66].

Таким образом, анализируя причины улучшения оксигенации крови у больных с тяжёлым течением SARS-Co-2-ассоциированной пневмонии в процессе курсового применения ГБО мы постарались обосновать лишь несколько возможных механизмов лечебного влияния гипербарического кислорода на газообменную функцию лёгких при данной патологии. Мы настаиваем на том, что эта истина, которую нужно безоговорочно принять, но надеемся, что наши робкие попытки объяснить механизмы лечебного влияния гипербарического кислорода на ведущие звенья в патогенезе дыхательной недостаточности при COVID-19 подвигнут наших коллег к исследованиям в этом направлении.

### Литература

1.Savilov P.N. On the possibilities of hyperbaric oxygen therapy in the treatment of SARS-CoV-2 - infected patients Znanstvena misel journal 2020;2(42):55-60. ISSN 3124-1123

2. Savilov P.N. On the possibilities of using hyperbaric oxygenation in the treatment of SARS-CoV-2 -infected patients Danish Scientific Journal 2020;1(36):43-50. ISSN 3375-2389
3. Paganini M, Bosco G, Perozzo FAG, Kohlscheen E, Sonda R, Bassetto F, et al. The role of hyperbaric oxygen treatment for COVID-19: a Review. In: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. New York: Springer; 2020. PMID: 32696443 <https://doi.org/10.1007/5584-2020-568>
4. Harch PG. Hyperbaric oxygen treatment of novel coronavirus (COVID19) respiratory failure. *Med Gas Res.* 2020;10(2):61–62. PMID: 32541128 <https://doi.org/10.4103/2045-9912.282177>
5. Zhong X, Tao X, Tang Y, Chen R. The outcomes of hyperbaric oxygen therapy to retrieve hypoxemia of severe novel coronavirus pneumonia: first case report. *Zhonghua Hanghai Yixue yu Gaoqiya Yixue* Zazhi. 2020. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1009-6906.2020.00016>
6. Guo D, Pan S, Wang MM, Guo Y. Hyperbaric oxygen therapy may be effective to improve hypoxemia in patients with severe COVID-2019 pneumonia: two case reports. *Undersea Hyperb Med.* 2020;47(2):181–187. PMID: 32574433 16
7. Thibodeaux K, Speyrer Z, Raza A, Yaakov R, Serena TE. Hyperbaric oxygen therapy in preventing mechanical ventilation in COVID-19 patients: a retrospective case series. *J Wound Care.* 2020;29(Sup5a): S4–S8. PMID: 32412891 <https://doi.org/10.12968/jowc.2020.29.Sup5a.S4>
8. Hyperbaric Oxygen as an Adjuvant Treatment for Patients With Covid19 Severe Hypoxemia. Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04477954> [Accessed Jul 15, 2020].
9. Hyperbaric Oxygen Therapy Effect in COVID-19 RCT (HBOTCOVID19). Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04358926> [Accessed Jul 15, 2020].
10. Management by Hyperbaric Oxygen Therapy of Patients With Hypoxaemic Pneumonia With SARS-CoV-2 (COVID-19). Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04344431> [Accessed Jul 15, 2020].
11. Safety and Efficacy of Hyperbaric Oxygen for ARDS in Patients With COVID19. Available at: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04327505> [Accessed Jul 15, 2020].
12. Levina O. A., Shabanov A. K., Evseev A. K., Kutrovskaya N. Yu., Kulabukhov V. V., Klychnikova E. V., Goroncharovskaya I. V., Shakotko A. P., Petrikov S. S. Hyperbaric oxygenation in the treatment of patients with COVID-19 Proceedings of the XXII All-Russian Conference with International Participation "Life support in critical conditions" November 13-14, 2020 Moscow-M.2020: 61. [in Rus]
13. Leonov A. N. Hyperoxia. Adaptation. Sanogenesis-Voronezh:VSMA 2006 ICBN 5-91132-003-7 [in Rus]
14. Savilov P.N. Hepatic blood flow and oxygen tension in different types of liver damage and hyperoxia Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal 2020;64(2):54-62 DOI: 10.25557/0031-2991.02.54-62[in Rus]
15. Yakovlev V. N. Savilov P. N. Oxygen regime and ammonia exchange in the sensorimotor cortex of cats during blood loss and hyperbaric oxygenation *General Reanimatology* 2020;16(2):64-76.DOI:10.15360/1813-9779-2020-2-64-76 [in Rus]
16. Malyutin V. E., Leonov A. N. Influence of hyperbaric oxygenation on regional blood flow, oxygen tension, and some detoxification reactions in the liver in the early postterminal period in: The collection of proceedings of the Voronezh Medical Institute "Diagnostics and treatment of diseases of internal organs" Voronezh, 1992:120-126 [in Rus]
17. Efremova O. Yu. Hyperbaric and normobaric oxygen therapy of pathology of pregnant women. I. Normobaric oxygen therapy in the complex treatment of fetoplacental insufficiency, accompanied by the threat of premature birth *Derectory in hyperbaric biology and medicine* 2003;11(1-4):54-557. [in Rus]
18. Levina O. A., Evseev A. K., Shabanov A. K., Petrikov S. S., Kulabukhov V. V., Kosolapov D. A., Kutrovskaya N. Yu., Goroncharovskaya I. V., Parugaev K. A., Slobodenyuk D. S. Safety of hyperbaric oxygenation in the treatment of COVID-19 N. V. Sklifosovsky Journal «Neotlozhnaya medicinskaya pomoshch'» 2020; 9(3):314-320. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-3> [in Rus]
19. Savilov P. N., Yakovlev V. N., Leonov A. N. The role of hyperbaric oxygenation in the mechanisms of ammonia detoxification during liver resection against the background of chronic hepatitis *Anesthesiology and Reanimatology* 1994;6:31-34. ISSN 0201-7563[in Rus]
20. Teplov V. M., Razumny N. V., Povzun A. S., Batotsyrenov B. V., Logunov K. V., Rusakevich K. I. Possibilities of using hyperbaric oxygenation in emergency medicine and resuscitation. Educational and methodical manual. Saint Petersburg, 2019 [in Rus]
21. Zislin B. S., Chistyakov A.V. Monitoring of respiration and hemodynamics in critical conditions Yekaterinburg: JSC " Triton-EletkronicS», 2006 ISBN 5-88664-260-9.
22. Савилов П.Н. Гипероксическая дилатация лёгочных сосудов Бюллетень гипербарической биологии и медицины - 2004;12(1-4):45-85.
23. Hansen-Flaschen J. Кардиогенный и некардиогенный отёк лёгких in *Pulmonary pathophysiology* (Ed. M.A. Grippi), Пер с англ. М.;БИНОМ, Невский диалект, 2000:209-222 ISBN 5-7940-0002-3
24. Патологическая анатомия COVID-19 (ред. О.В. Заратьянц ) М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2020.
25. Пальцев М.А. Иванов А.А. Межклеточные взаимодействия М.: Медицина. 1995 ISBN5-225-02178-6
26. Henderson L.A., Conna S.W., Schulert G.S. et al. On the alert for cytokine storm: immunopathology in COVID-19. *Arthritis. Reumatol.*2020. doc 10.1002/art.41285
27. Mehta D., Mc Auley D.F., Brown M. et. Al. COVID-19: consider cytokine storm syndromes and

immunosuppression *Lancet* 2020;439(10229):1033-4  
doi:10.1016/s0140-6736(20)30628-0

28. Гриппи М.А. Структура воздухоносных путей и паренхимы лёгких in *Pulmonary pathophysiology* (Ed. M.A. Grippi), Пер с англ. М.:БИНОМ, Невский диалект, 2000:209-222 ISBN 5-7940-0002-3

29. Qi Z., Gao C.J., Wang Y.B., Ma X.M., Zhao L., Liu F.J., Liu X.H., Sun X.J., Wang X.J. Effects of hyperbaric oxygen preconditioning on ischemia reperfusion inflammation and skin flap survival. *Chin Med J (Engl)*. 2013; 126 (20): 3904–3909. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20121165. PMID: 24157154

30. Muralidharan V., Christophi C. Hyperbaric oxygen therapy and liver transplantation. *HPB (Oxford)*. 2007; 9 (3): 174–182. DOI: 10.1080/13651820601175926. PMID: 18333218.

31. Memar M.Y., Yekani M. Alizadeh N., Baghi H.B. Hyperbaric oxygen therapy: Antimicrobial mechanisms and clinical application for fections. *Biomed Pharmacother*. 2019; 109: 440–447. DOI: 10.1016/j.biopha.2018.10.142. PMID: 30399579 n- 18

32. Benkő R., Miklós Z., Ágoston V.A., Ihonvien K., Répás C., Csépanyi-Kömi R., Kerék M., Béres N.J., Horváth E.M. Hyperbaric Oxygen Therapy Dampens Inflammatory Cytokine Production and Does Not Worsen the Cardiac Function and Oxidative State of Diabetic Rats. *Antioxidants (Basel)*. 2019; 8 (12): 607. DOI: 10.3390/antiox8120607. PMID: 31801203

33. Rossignol D.A., Rossignol L.W., James S.J., Melnyk S., Mumper E. The effects of hyperbaric oxygen therapy on oxidative stress, inflammation, and symptoms in children with autism: an open-label pilot study. *BMC Pediatr*. 2007; 7: 36. DOI: 10.1186/1471-2431-7-36. PMID: 18005455.

34. *Pulmonary vascular physiology and pathophysiology* (Ed. E.K. Weir, J.T. Reeves) N.Y.-Basel: Marcel Dekker, inc.1988 ISBN 5225-00569-1

35. Savilov P.N., Molchanov D.V. The Effect of Hyperbaric Oxygenation on the Circulation of Urea in Rats Following Experimental Partial Hepatectomy. *General Reanimatology* 2018 , 14(3):52-62. DOI:10.15360/1813-9779-2018-4-52-63/

36. Яковлев Н.В. Влияние гипербарической оксигенации в клинически применяемых режимах на перекисное окисление липидов и антиоксидантную активность лёгких здорового организма Дисс. канд мед наук, Воронежская государственная медицинская академия Воронеж,2004

37. Гершенович З.С., Кричевская А.А., Лукаш А.И. Мочевина в живых организмах / 3- Ростов н/Д. : Изд-во РГУ, 1970.

38. Кричевская А.А., Лукаш А.И., Внуков В.В., Дудкин С.И. Железосодержащие белки плазмы крови и протеолитическая активность в сыворотки крови при гипербарической оксигенации и защитном действии мочевины Биологические науки 1986;9:30 – 36.

39. Kuznik B.I., Khavinson V.Kh., Linkva N.S. COVID-19: Impact on immunity, hemostasis and

possible methods of Correction *Успехи физиологических наук* 2020;51:4:51-63.

40. Барсуков В.А. Некоторые особенности свободно-радикальных процессов и тканевого дыхания в головном мозге и печени белых крыс при гипербарической оксигенации *Электроника и химия в кардиологии*, Воронеж:ВГМИ, 1968:184-189.

41. Клокова В.М. Сравнительная характеристика митохондриального и микросомального аскорбатзависимого и ферментативного перекисления липидов в мозге и миокарде крыс при гипербарической оксигенации *Механизмы гипербарической оксигенации* (ред А.Н. Леонов) Воронеж:Коммуна, 1986:34-37.

42. Булгакова Я.В., Савилов П.Н., Яковлев В.Н., Дорохов Е.В. Активность супероксиддисмутазы в филогенетически разных отделах головного мозга крыс при многократных сеансах гипербарической оксигенации *Журнал эволюционной биохимии и физиологии* 2019;55(5):76-78. DOI:10.1134/S00444529190500012.

43. Карпова А.В. Влияние гипербарической оксигенации на процессы перекисного окисления липидов и антиоксидантную активность легких в условиях острой кровопотери Дисс ...канд мед наук Воронежская медицинская академия Воронеж,1998.

44. Liu P.P., Blet A., Smyth D., Li H. The science underlying COVID-19: implications for the cardiovascular system *Circulation*. 2020. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.047549>

44. Barnes B.J., Adrover J.M., Baxter-Stoltzfus A., et al. Targeting potential drivers of COVID-19: neutrophil extracellular traps // *J. Exp. Med*. 2020. V. 217. № 6. pii:e20200652.

<https://doi.org/10.1084/jem.20200652>

45. Henry B.M., Vikse J., Benoit S., et al. Hyperinflammation and derangement of renin-angiotensin-aldosterone system in COVID-19: a novel hypothesis for clinically suspected hypercoagulopathy and microvascular immunothrombosis // *Clin. Chim. Acta*. 2020. V. 507. P. 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.04.027>

46. Петриков С.С., Евсеев А.К., Левина О.А., Шабанов А.К., Кулабухов В.В., Кутровская Н.Ю., Боровкова Н.В., Клычкова Е.В., Горончаровская И.В., Тазина Е.В., Попугаев К.А., Косолапов Д.А., Слободенюк Д.С. Гипербарическая оксигенация в терапии пациентов с COVID *Общая реаниматология* 2020;16(6):4-18. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2020-6-4-18>.

47. Екимов В.В. Влияние гипербарической оксигенации на структурно-функциональное состояние тромбоцитов при синдроме диссеминированного внутрисосудистого свёртывания крови *Механизмы гипербарической оксигенации* ( ред. А.Н. Леонов) Воронеж, 1986:123-125 [ in Russ].

48. Сивоплясов А.Т. Система гемостаза при травматической болезни и гипербарической

оксигенации Механизмы гипербарической оксигенации ( ред. А.Н. Леонов) Воронеж, 1986:47-53 [ in Russ].

49. Савилов П.Н., Иванина М.С. Гипербарический кислород в коррекции нарушений гемостаза при экспериментальном перитоните Гипербарическая физиология и медицина. 1996;4:22.

50. Савилов П.Н., Иванина М.С. Коррекция гипербарическим кислородом нарушения гемостаза при краевой резекции печени в эксперименте Гипербарическая физиология и медицина. 1996;4:24.

51. Петрищев Н.Н. Тромборезистентность сосудов С-Пб:АНТ-М,1994.

52. Zaugg H. Thromboplastic activity of human arterial walls and its interactions with the plasmatic coagulation system //J. Clin. Chem. And Clin. Biochem.1980;18:545-549.

53. Johnson U.L.H., Lyberg T., Galdel K.S., Prydz H. Platelets stimulate thromboplastin synthesis in human endothelial cells Thromb. Haemost. 1983;49:69-72.

54. Зубаиров Д.М., Андрушко И.А., Кузнецов В.Н., Мухутдинова Ф.И. О циркуляции тканевого тромбопластина в крови Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова 1984;70(6):814-817.

55. Lyberg T. Intracellular signal mechanisms in induction of thromboplastin synthesis Hemostasis 1984;14:393-399.

56. Бышевский А.Ш., Терсенов О.А., Мухачёва М.А. О роли циркулирующего в крови фактора III в регуляции её агрегатного состояния Тезисы Всесоюзной конференции «Актуальные проблемы гемостаза в клинической практике М.1987:141.

57. Кудряшёв Б.А., Ляпина Л.А. Комплекс гепарин-мочевина и его физико-химические свойства Вопросы медицинской химии. 1975;21(2):165 - 168.

58. Galdal K.S., Evensen S.A., Nilsen E. The effect of thrombin on fibronectin in cultured human endothelial cells Tromb. Res. 1985;37:583-593.

59. Яковлев В.Н. Метаболические реакции адаптации головного мозга при гипербарической оксигенации острой кровопотери Дисс... доктора мед. наук. Воронежский медицинский институт. Воронеж, 1985.

60. Tore G., Rolf S. Plasma fibronectin contributes to fibronectin in Tissues Acta Chir. Scand. 1985;151:143-149.

61. Whatley R.E., Zimmerman G.A., Meityre T.M. et al. Production platelet-activating factor by endothelial cells Seminars in Thrombosis and Hemostasis 1987;13:445-453.

62. Groot P.G., Sixma J.J. Role of von Willebrand factor in the vessel wall Seminars in Thrombosis and Hemostasis 1987;13 (4):416-424.

63. Esman N.L., Esman C.N. Protein C and the endothelium Seminars in Thrombosis and Hemostasis 1988;14:210-215.

64. Дьячкова С.Я. Иммунобиологические эффекты гипероксии. адаптация. механизмы. закономерности Воронеж: ИП Рагузин А.В. ISBN 978-5-9908543-1-4

65. Walker F.J. Interaction of protein S with membranes Seminars in Thrombosis and Hemostasis 1988;14:215-221.

66. Burdick M.D., Schaub R.Q. Human protheine C induced anticoagulation and increased fibrinolytic activity in the cat Tromb. Res. 1987;45:413-419.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## MATHEMATICAL MODELS FOR THE MATERIAL SUPPLY MANAGEMENT BASED ON THE INTEGRATED LOGISTICS SUPPORT APPROACH

*Nguyen Thanh Duong,*

*Le Quy Don Technical University*

*Hanoi, Vietnam*

*Nguyen Trung Kien, Nguyen Phu Vinh*

*Le Quy Don Technical University*

*Hanoi, Vietnam*

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2021.1.69.457](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2021.1.69.457)

### ABSTRACT

Integrated Logistics Support (ILS) is disciplined and unified management including activities in product life cycle management to create a product maintenance system (MS) to support the product throughout its intended life cycle at an acceptable cost. Along with information models combining product descriptions such as breakdowns, fault trees and methods of restorations, etc., mathematical models considered effective tools to get optimal results are proposed. The paper will present mathematical models, which play important roles in assessing and estimating material demand (spare parts), for the material supply management. These models are applied, in different levels of the ILS system, to the direct calculation of the material demands for scheduled and unscheduled maintenance

**Keywords:** spare parts demand, unscheduled maintenance, scheduled maintenance, mathematical models.

### Introduction

Integrated Logistics Support (ILS) is disciplined approach that influences the product design and develops the Support Solution to optimize supportability and Through Life Finance; it delivers the Initial Support Package and ensures continued optimization of the Support Solution in light of product modifications and changes in operational use and requirements [5, p.3]. Practically, ILS activities create a product maintenance system (MS) which can be considered as a multi-level system with the organizational hierarchy (e.g. operational level, intermediate level, depot level, etc.) and material supply management hierarchy (e.g. stock for operational level, intermediate level; stock for a specific location, city, region. etc.). The ILS purpose is minimizing product life cycle cost meanwhile still achieving a high level of availability. To this end, the general task is to seek solutions to the issues such as how many organizational levels are needed, what and where to do the work, which restoration methods are employed, etc. These levels, methods, and scopes of work all require material supply planning which involves the following decisions:

- assessment of the spare parts and material demand for scheduled and unscheduled maintenance for a certain period of operation;
- estimation of the nomenclature and volume of spare parts/ materials for the initial period of operation;
- determination of the nomenclature and volume of spare parts and materials for the current periods of operation in accordance with the accepted structure of the maintenance system;
- description of delivery procedures and sources of items;
- recommendation on storage and transport capacities with their distribution at maintenance levels;
- recommendation on the use of various methods for the identification of items.

This paper aims to analyze and apply mathematical models to material supply management which helps to reach ILS system goals: higher level of availability and less cost.

### THE PROPOSED MODELS

#### A. Notation

First, the following notations are adopted herein:

$\tau_y$  - mean operating time per year, in units of measurement of elapsed time.

$N$  - number of final products.

$T^{ini}$  - duration of initial maintenance period, months.

$T^{life}$  - time limit (intended life cycle time of the final product), years.

$Z$  - the total number of product logistic breakdown (PLB) elements (including parts located in different zones or performing different functions in one system) where parts of the same type are used.

#### B. Calculation of spare parts (material) demand for scheduled and unscheduled maintenance

Spare parts and material demand for scheduled maintenance is calculated on the basis of the maintenance plan describing maintenance work and conditions which the final product performs under.

Spare parts and material demand for unscheduled maintenance is determined on the basis of the probability of failures in the period of operation. It is expected that the number of unscheduled removals in the time  $T$  is equal to the number of confirmed failures in this period.

M1 and M2 allow estimating spare parts demand for unscheduled maintenance with an acceptable accuracy. M3 is recommended for a multi-level material support management system for unscheduled maintenance. M4 is for scheduled maintenance.

In multi-level systems such calculations should be performed for each maintenance system level, accounting for the scope of maintenance work

performed at this level and the methods chosen for failed parts restoration.

1) M1. Calculation of the spare parts/material demand for unscheduled maintenance without risk considerations

The number of unscheduled removals per year is formulated based on the notation mentioned above as follows:

$$A_i^{un-rem} = N \cdot \tau_y \cdot \sum_{j=1}^Z \lambda_i \cdot n_{ij} \quad (1)$$

The following formulas can be used (the nearest larger integer is taken as a result) to obtain a rough

estimation of the spare parts demand for unscheduled removals (without any stock).

$$A_i^{un-ini} = A_i^{un-rem} \cdot \frac{T^{ini}}{12}$$

$$A_i^{un-rem-n} = A_i^{un-rem} \cdot \frac{T_i^{orders}}{12}$$

$$A_i^{un-rem-r} = A_i^{un-rem} \cdot \frac{T_i^{overhaul}}{12}$$

$$A_i^{un-min} = A_i^{un-rem} \cdot \frac{T_i^{del}}{12} \quad (2)$$

Where:

$A_i^{un-ini}$  - initial stock volume of *i*-th PLB elements for unscheduled removals.

$A_i^{un-rem-n}$  - stock volume of repairable PLB elements for unscheduled removals.

$A_i^{un-rem-r}$  - stock volume of non-repairable PLB elements for unscheduled removals.

$A_i^{un-min}$  - minimum stock level of *i*-th PLB elements for unscheduled removals.

2) M2. Calculation of spare parts demand for unscheduled maintenance with the risk level

considerations (risk of the lack of necessary spare parts):

The calculation of the number of spare parts for unscheduled maintenance in a certain period of time is based on an estimate of the number of failures probability (1, 2, 3,...,b) for this period [1, 2]. Supposing that the failure flow is the simplest (Poisson), the probability P(b) of failures of the *i*-th product for the T period is calculated by the formula:

$$P(b) = \frac{\mu^b}{b!} e^{-\mu}$$

Where:  $\mu$  - the average number of failures for a period of time T (months) is calculated as:

$$\mu = N \cdot n_{ij} \cdot \lambda_i \cdot \frac{T \cdot \tau_y}{12} \quad (3)$$

The accumulative probability of 0 to b failures for a given period is determined by the formula:

$$\sum_{k=0}^b P(b) = \sum_{k=0}^b \frac{\mu^k}{k!} e^{-\mu} \quad (4)$$

The acceptable risk level of the lack of the required spare parts at the time when they are needed is set by the product designer for each type of PLB element and is defined during the Logistics Support Analysis (LSA) process. This level depends on the

permissible operating time with such a failure. Designate the acceptable risk level for the *j*-th type of PLB elements as  $R_j$ , the required number of spare parts can be found by solving the following inequality for b:

$$1 - R_i \leq \sum_{k=0}^b \frac{\mu^k}{k!} e^{-\mu} \quad (5)$$

The decision of this inequality allows obtaining the volume of the initial stock ( $A_i^{un-ini}$ ), the volume of

stock for normal exploitation ( $A_i^{un-rem-n}$ ,  $A_i^{un-rem-r}$ ) and the minimum stock level ( $A_i^{un-min}$ ) with the given level

of risk  $R_j$  by placing  $T^{ini}$ ,  $T_i^{orders}$ ,  $T_i^{overhaul}$  and  $T_i^{del}$  in (3) as T.

3) M3. Calculation of spare parts demand for unscheduled maintenance, based on the predefined availability level of spare parts system

The approach is based on the calculation of spare parts system availability level [3,4]. The availability level of spare parts system may be expressed as the probability of the fact that in the given moment all spare parts requirements are satisfied. It can be applicable for various inventory management models:

$$K_i^{sps} = 1 - \frac{(m_i \lambda_i T_i)^{A_i^{ini} + 1}}{(A_i^{ini} + 1)! \sum_{k=1}^{A_i^{ini} + 1} \frac{(m_i \lambda_i T_i)^k}{k!}} \quad (6)$$

where:

$m_i$  – number of  $i$ -th parts in exploitation

$T_i$  – average time of order fulfillment, i.e. mean time of new part delivery (for non-repairable) or time of repair/overhaul (for repairable parts)

$$K_i^{sps} = \frac{1}{m_i \lambda_i T_{\Pi i}} \sum_{l=0}^{A_i^{ini}} (1 - \sum_{k=0}^j \frac{(m_i \lambda_i T_{\Pi i})^k}{k!} e^{-m_i \lambda_i T_{\Pi i}}) \quad (7)$$

where  $T_{\Pi i}$  – is a periodicity of replenishment of  $i$ -th part.

$$K^{sps} = 1 - \frac{(m_i \lambda_i T)^{A_i^{min}}}{(m_i \lambda_i T_i)^{A_i^{min}} \frac{ini}{i} \frac{min m_i i_i}{i} \frac{A_i^{min}}{i}} \quad (8)$$

It is important to point out, in all three cases considered above the task boils down to the calculation of  $A_i^{ini}$  for desired value of  $K^{sps}$ .

4) M4. Calculation of the spare parts demand for scheduled maintenance

$$A_i^{sch-rem} = N \cdot \sum_{j=1}^Z n_{ij} \text{ROUND} \left( \frac{T^{life} \cdot \tau_y \cdot -1}{T_i^{prt-life-limit}} \right) \quad (9)$$

where ROUND is the result of rounding to the nearest integer.

- for continuous replenishment, when order to replenish the stock is generated just right after replacement (usage of stock);

- for periodical replenishment, when orders to replenish are generated after given time interval;

- for level-based replenishment, when orders are generated, when stock level decreases and reaches the predefined level.

For “continuous replenishment inventory model” the following formula for calculation of spare parts system availability level is used [4]:

$A_i^{ini}$  – initial stock volume.

For “periodical replenishment inventory model” the following formula is used [4]:

For “level based inventory model” and for conditions where threshold stock level  $A_i^{min}$  is less than initial stock  $A_i^{ini}$ , i.e. when  $2A_i^{min} + 2 \leq A_i^{ini}$  the following formula is used [4]:

The number of scheduled product removals during the product life time can be determined by the below formula:

Similarly, the number of scheduled product substitutions in the initial material support management period is:

$$A_i^{sch-rem-ini} = N \cdot \sum_{j=1}^Z n_{ij} \text{ROUND} \left( \frac{T^{ini} \cdot \tau_y \cdot -1}{T_i^{prt-life-limit}} \right) \quad (10)$$

The total number of part removals for the initial material support management period is calculated as the sum of such removals for scheduled and unscheduled maintenance.

The total number of part removals during product life time is the sum of scheduled and unscheduled removals:

$$A_i^{\Sigma} = A_i^{sch-rem} + A_i^{un-rem} \quad (11)$$



*C. An empirical application*

There are 10 helicopters with an average annual flight time of 2,000 hours. The period of initial exploitation is 12 months. The average time between orders is also 12 months. The spare parts demand is calculated for a period of 15 years.

The parts of the aircraft hydraulic system, whose characteristics are given in Table 1, can be considered as an application of the calculation of the spare parts demand for scheduled and unscheduled maintenance.

The source data for the elements are given:

- maintenance method;
- mean time between failures (MTBF);
- the possibility of using aircrafts as intended in case of element failure;
- the number of elements of this type in the hydraulic system;
- assigned time-limit (for elements operated by time-limit maintenance method);
- the possibility of maintenance (yes or no) and its duration;
- average delivery time.

Application of the models for calculation can be summarized in Table 2.

The calculation gives the following results (Table 3):

"Gear pump" is operated by the "time-limit maintenance method" and should be replaced every 12,000 hours (Table 1). The pump is a repairable part.

The overhaul duration is approximately the same as the delivery time of the new part and is equal to 3 months.

The calculation by the formula (9) gives 40 units for the scheduled maintenance for the entire fleet for a given period of time. The volume of the initial stock, calculated by the formula (10) gives 0 (based on rounding). The volume of the stock for unscheduled maintenance for a given risk level (0.1) will be 4 units for the entire fleet.

The non-repairable valve OK-10A is operated by 'on-condition maintenance' method. The calculated spare parts demand for unscheduled maintenance (calculated by the formula (1)) is 13 units. The initial stock for 12 months is 2 units. The minimum stock level is 1 unit.

Filter 8D2.966.017 is operated by the "time-limit maintenance method". According to formula (9), 300 units are required for the scheduled maintenance for the entire fleet; 19 units will be required for the fleet for the initial exploitation period (formula (10)). The demand for unscheduled maintenance for 15 years for the whole fleet will be 174 units. The minimum stock level, calculated on the basis of delivery time, will be 7 units.

The magnet crane HA-74M is operated by "on-condition maintenance method". The spare parts demand for unscheduled maintenance for the fleet for 15 years is 9 units. The initial stock for a period of 12 months is 2 units. Delivery lot (3-month delivery time, 12-month periodicity) is 2 units. The minimum stock level, based on the delivery time of the new product, is 1 unit.

Table 1

**Source data for calculating the spare parts demand**

Name	Maintenance method	MTBF	The possibility of flight with failure	Number on board	Assigned time limit, hours	Maintainability	Delivery time, months	Overhaul, months
Gear pump НПП-39М	By time-limit	4650	No	2	12000	Yes	-	3
Accumulator NA-01	On-condition	20000	No	3	30000	Yes	-	12
Non-return valve OK-10A	On-condition	94700	Yes	4	30000	No	3	-
Filter 8Д2.966.017	By time-limit	3450	No	2	2000	No	3	-
Micron filter ФГ-11БН	By time-limit	780	No	2	2000	No	3	-
Magnet crane ГА-74М	On-condition	72900	Yes	2	30000	No	3	-

Table 2

Formulas for calculating scheduled/unscheduled removals and the amount of initial reserve					
	The number of removals	The initial stock volume	Stock volume during normal exploitation		Minimum stock level
			Non-repairable parts	Repairable parts	
<b>Unscheduled removals</b>					
	$A_j^{un-rem}$	$A_j^{un-rem-ini}$	$A_j^{un-rem-n}$	$A_j^{un-rem-r}$	$A_j^{un-min}$
Out-of-repair products	Calculated by the formula (1), $T = T^{life}$ (aircraft life time)	Calculated by the formula (5), $T = T^{ini}$ (initial exploitation period) in formula (3)	Calculated by the formula (5), $T = T_i^{order}$ (average time between orders) in formula (3)		Calculated by the formula (5), $T = T^{del}$ (delivery duration) in formula (3)
Repairable products				Calculated by the formula (5), $T = T^{overhaul}$ (overhaul duration) in formula (3)	
<b>Scheduled removals</b>					
	$A_j^{sch-rem}$	$A_j^{sch-rem-ini}$			
Repairable and out-of-repair products	Calculated by the formula (9), $T = T^{life}$ (aircraft life time)	Calculated by the formula (10), $T = T^{ini}$ (initial exploitation period)			

Table 3

The spare parts demand and calculated material support management

Name	Scheduled removals	Unscheduled removals	Acceptable risk level	Working reserve	Min. reserve level	Initial reserve
Gear pump HIII-39M	40	-	0,1	4	-	0
Accumulator NA-01	-	-	0,1	5	-	-
Non-return valve OK-10A	-	13	0,1	2	1	2
Filter 8Д2.966.017	300	174	0,02	19	7	19
Micron filter ФГ-11БН	300	770	0,02	67	21	67
Magnet crane ГА-74М	-	9	0,1	2	1	2

### III. Conclusion and further research

Integrated Logistics Support, an advanced approach to dealing with systems' cost and level of availability, manages to synthesize MS. Maintenance system, in turn, require spare parts/material supplying planning to achieve ILS goals. The paper has proposed mathematical models, which can be applied in different levels of ILS systems, for calculating spare parts/material supply for scheduled and unscheduled maintenance with and without considering the risk of lacking the required spare parts, and based on the availability level of the spare parts system. For scheduled maintenance (e.g. time limit maintenance method), consideration of the risk is not necessary because the time when there is a need for specific spare parts is known. By contrast, it is crucial to examine the risk of lacking the required spare parts for unscheduled maintenance (e.g. on-condition maintenance). Besides, in the real world, there is always an acceptable availability level of spare parts systems. Therefore,

defining an availability level of a spare part system in advance for calculating the number of spare parts for initial period and stock is a feasible approach to both reducing cost and maintaining a level of system availability.

The choice of the parameters of an inventory system (spare part system) such as the number of layers, inventory models for scheduled and unscheduled maintenance, size of stock etc., may be considered as the general optimization task, where optimization criteria are cost and the availability level of products. This task will be formalized and solved in the next stage of the research.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work is financially supported by the National program KC-4.0.

#### Literature:

1. "Reliability, Spares and Other Considerations"// Ed Welch, Available:

<http://www.slideshare.net/EdWelch/reliability-spare-parts-and-other-considerations>. Accessed May, 2, 2019.

2. "Technologies of integrated logistic support for machine building products"// Sudov E.V., Levin A.I., Petrov A.V., Chubarova E.V., Moscow: Publishing house "InformBurou", 2006, pp. 232.

3. "Methods of organisation of calculations and optimisation of spare parts stock for complex technical

systems"// Shura-Bura A.E., Topolsky M.V.. Moscow: Znanie, pp.114, , 1981.

4. "Estimation of reliability of systems, using spare parts"// Cherkesov G.N. SPb.: BHV Peterburg, pp. 480, 2012.

5. Def-Stan 00-600// UK Ministry of Defense, 2011.

УДК 614.8

## СРЕДСТВО ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПРОПАГАНДЫ

*Мельников Сергей Михайлович*

*Преподаватель кафедры тактики и аварийно-спасательных работ  
Дальневосточной пожарно-спасательной академии –  
филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России,*

*Владивосток, Россия*

*Хабиров Тимур Ринатович*

*Старший преподаватель кафедры тактики и аварийно-спасательных работ  
Дальневосточной пожарно-спасательной академии –  
филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России,*

*Владивосток, Россия*

## A MEANS OF FIRE PREVENTION PROPAGANDA

*Sergey M. Melnikov*

*Lecturer Far East Fire Rescue Academy –  
a branch of the St. Petersburg University  
of State Fire Service of EMERCOM of Russia*

*Timur R. Khabirov*

*Senior Lecturer Far East Fire Rescue Academy –  
a branch of the St. Petersburg University  
of State Fire Service of EMERCOM of Russia*

## АННОТАЦИЯ

Социальные сети в современном мире являются неотъемлемой частью нашей жизни. В настоящее время все большую популярность набирает профилактика пожаров в различных социальных сетях, где сотрудники системы МЧС России занимаются непосредственной противопожарной пропагандой. Целью исследования данной темы является доказательство того, что размещение информации по профилактике является эффективным средством по борьбе с образованием новых случаев непредвиденных пожаров. В статье показаны результаты проведенного анкетирования среди различных слоёв населения на предмет влияния социальных сетей в сфере противопожарной пропаганды. Данное исследование способно составить более полную картину такого социального явления, как восприятие гражданами профилактических мероприятий, связанных с пожарами, а его результаты будут интересны не только тем, кто связан с службой в МЧС России, а также тем, кто является активным пользователем различных социальных сетей.

## ANNOTATION

Social networks in the modern world are an integral part of our life. Currently, fire prevention is gaining more and more popularity in various social networks, where employees of the EMERCOM of Russia are engaged in direct fire prevention propaganda. The purpose of the study of this topic is to prove that the placement of information on prevention is an effective means to combat the formation of new cases of unforeseen fires. The article shows the results of a survey conducted among various segments of the population on the influence of social networks in the field of fire prevention propaganda. This study is able to form a more complete picture of such a social phenomenon as the perception of citizens of preventive measures related to fires, and its results will be interesting not only to those who are connected with the service in the Ministry of Emergency Situations of Russia, but also to those who are active users of various social networks.

**Ключевые слова:** социальные сети, МЧС России, профилактика пожаров, противопожарная пропаганда.

**Keywords:** social networks, EMERCOM of Russia, fire prevention, fire prevention propaganda.

В современном мире достаточно непросто найти человека, который бы не был знаком с понятием «социальные сети». В теории, такая сеть

является способом сближения людей на единой Интернет-платформе, которая позволяет любому пользователю делиться информацией, а также

производить обмен ею с другими людьми. Именно способы взаимодействия пользователей по обмену какого-либо контента создают различие социальных сетей от других Интернет-ресурсов. Отличительным признаком также выступает немалый уровень взаимодействия, при котором скорость использования информации и коммуникации не проигрывает общению вне этой сети.

Различные сведения могут выступать как информационные рассылки от какого-либо объединения в том числе и МЧС (на которое возложены важные функции), в котором может состоять активный пользователь социальной сети, так и от человека к человеку, что и определяет скорость этой самой рассылки. Не менее важной среди них является и та, о которой в мирное время вспоминают нечасто: пропаганда основ безопасности жизнедеятельности. Со стороны психологии, человек, активно пользующийся виртуальным миром, определяет свой личный сайт как нечто неприкосновенное, так как различные социальные сети позволяют по своему усмотрению определять круг общения и сообщества, в которых пользователь хочет состоять. Согласно такой потребности индивида в проявлении своей личности, проявление его доверия социальными сетями к получаемой информации значительно выше, чем к той, которую он мог бы получать из других сообществ, которые он не выбирает самостоятельно, например, различные источники средств массовой информации.

В современном мире социальные сети достаточно часто взаимодействуют с средствами массовой информации, где исполняют роль «распределителя» уже готового контента. Кроме функции направления и распределения, социальные сети также выступают информационным агентством, где готовят для СМИ данные, благодаря которым обычно готовятся новости и контент с проанализированной информацией.

Например, достаточно вспомнить как в новостных передачах редакторы различных

телеканалов любят вставлять различные видео и картинки с социальных сетей, таких как Youtube (который получил статус социальной сети относительно недавно) и Instagram.

Конечно известно, что такое значительное медиа-средство имеет свою уникальную особенность и имеет возможность быть использованным для публикации материалов противопожарной пропаганды. В наше время средствами пожарной профилактики обычно являются различные инструктажи, проведение открытых уроков в учебных заведениях [7]. Но в последнее время структура МЧС России все чаще стало обращаться к использованию различных Интернет-площадок, на которых с легкостью может размещать необходимую информацию, а также быть уверенным в том, что она дойдет до некоторого количества читателей того, или иного ресурса.

Авторами в очной форме и по социальным сетям был проведен социологический опрос среди 430 курсантов, обучающихся в Дальневосточной пожарно-спасательной академии МЧС России и Дальневосточном юридическом институте МВД России в возрастной категории от 18 до 22 лет, где участникам был задан такой ряд вопросов:

1. Как часто вы видите правила пожарной безопасности в социальных сетях?
2. С помощью каких Интернет-ресурсов Вы узнаете актуальные информацию о пожарах, правилах пожарной безопасности?
3. Подписаны ли Вы на информационные ресурсы в социальных сетях о пожарах в вашем городе?

Согласно результатам анкетирования по первому вопросу стало известно, что 62% из всех опрошенных нередко встречаются на просторах социальных сетей сведения о правилах пожарной безопасности, что говорит об активной деятельности сотрудников, занимающейся пожарной

Таблица 1.

**Ответы на вопросы анкетирования профилактики.**

Вопросы	Варианты ответов		
	Часто	Не очень часто	Редко
Как часто вы видите правила пожарной безопасности в социальных сетях	219(51%)	133 (31%)	78(18%)

Отвечая на второй вопрос большинство участников, а именно 74%, отдали свой голос в пользу социальных сетей и лишь 26% узнают актуальную информацию, связанную с

противопожарной пропагандой, из приложения МЧС России, а также из других новостных источников.

Таблица 2.

**Ответы на вопросы анкетирования**

Вопросы	Варианты ответов				
	В Контакте	Твиттер	Фейсбук	Инстаграмм	Другие
С помощью каких Интернет-ресурсов Вы узнаете актуальные информацию о пожарах, правилах пожарной безопасности	56(13%)	51(12%)	60(14%)	82(19%)	181(42%)

Третьим вопросом было выявлено, что далеко не все опрошенные являются участниками информационных сообществ, где публикуются новости о произошедших чрезвычайных ситуациях в их городе, что говорит о необходимости упорной

работы с населением, связанной с повышением заинтересованности в ознакомлении с ошибками граждан, которые повлекли за собой различные трагедии и материальные ущербы.

Таблица 3.

**Ответы на вопросы анкетирования**

Вопросы	Варианты ответов	
	Да, подписан	Нет, не подписан
Подписаны ли Вы на информационные ресурсы в социальных сетях о пожарах в вашем городе	262(61%)	168(39%)

Таким образом, на основании вышеприведенной информации можно сделать вывод о том, что достаточно значительное количество участников опроса имеют представление о пожарной профилактике, а также встречаются правила пожарной безопасности и актуальную информацию и произошедших чрезвычайных ситуациях в социальных сетях, ведение и контроль которых осуществляют власти городского формирования, либо Главные Управления различных субъектов МЧС России [2].

Нельзя забывать, что возраст активных пользователей Интернет-ресурсов все больше продолжает варьироваться. В повседневной жизни мы все чаще можем наблюдать личные страницы в социальных сетях как детей, так и пожилых людей. Именно поэтому сотрудники МЧС России, отвечающие за пожарную профилактику и размещение контента по противопожарной пропаганде в сети «Интернет», разрабатывают новые стенды с актуальной информацией по пожарной безопасности в таком формате, чтобы все пользователи социальных сетей, вне зависимости от возраста, могли визуально представлять и запоминать инструкцию, а также алгоритм действий в случае пожара или другой чрезвычайной ситуации [6].

Одно из самых главных требований по ведению социальных сетей такой структуры как МЧС России является предоставление актуальной и корректной информации [8]. Размещение именно таких данных позволяет препятствовать возникновению непредвиденных ситуаций, которые мог спровоцировать человек из-за незнания элементарной информации. У модераторов и руководителей нет права на ошибку, ведь у МЧС России существует достаточное количество официальных сообществ в социальных сетях, регулярно добавляющие всю необходимую и

проверенную информацию по противопожарной пропаганде, которой так доверяет основная часть населения. Именно поэтому такое требование так важно, ведь речь идет уже о жизни и здоровье людей [9].

Расширительно толкуемые результаты наших исследований свидетельствуют о том, что социальные сети действительно являются немаловажной частью современного общества, а их влияние на бытовую жизнь в сфере пожарной безопасности указывает нам на то, что есть возможность оказывать действие на население с помощью опубликования актуальной информации в области пожарной профилактики [10].

Необходимо отметить, что размещение различных публикаций по противопожарной пропаганде, является эффективным способом воздействия на людей, с помощью которых значительно уменьшается риск возникновения непредвиденных пожаров и чрезвычайных ситуаций. Все это осуществляется на основе онлайн-платформ, что еще раз доказывает ценность социальных сетей как инструмента выполнения задач по пожарной профилактике [4].

Данное исследование является хорошей отправной точкой для обсуждения и дальнейших исследований.

**Список литературы**

1. Консультант плюс: [Эл. ресурс] // Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности». [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/)
2. Консультант плюс: [Эл. ресурс] // Федеральный закон от 30.12.2015 № 448-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ по вопросам обеспечения пожарной безопасности, подготовки населения в области

гражданской обороны и защиты от ЧС». [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_191501/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191501/)

3. Губанова Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Социальные сети. Модели информационного влияния, управления и противоборства. - М.: МЦНМО, ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 218 с. [https://www.studmed.ru/view/gubanov-da-novikov-da-chhartishvili-ag-socialnye-seti-modeli-informacionnogo-vliyaniya-upravleniya-i-protivoborstva\\_965fa4add6d.html](https://www.studmed.ru/view/gubanov-da-novikov-da-chhartishvili-ag-socialnye-seti-modeli-informacionnogo-vliyaniya-upravleniya-i-protivoborstva_965fa4add6d.html)

4. Хрущева Л. Б., Церковная К. А. Социальные сети: положительные и отрицательные стороны присутствия социальных сетей в современной жизни // Облачные и инновационные технологии в сервисе и образовании. - Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Печать-Сервис-XXI век", 2017. - С. 42-45.

5. Калач А. В., Зенин Ю. Н. Развитие пропаганды противопожарной безопасности в современном медиапространстве // Актуальные проблемы права и правоприменительной деятельности на современном этапе. - Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью "Издательский Дом - Юг", 2014. - С. 464-466. [http://id-yug.com/images/id-yug/Book\\_id-yug/357.pdf](http://id-yug.com/images/id-yug/Book_id-yug/357.pdf)

6. Кришталь Д. А. Противопожарная пропаганда: основные направления и характеристики // Современные технологии

обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации. - 2014. - №1 (5). - С. 279-282. <https://cyberleninka.ru/article/n/protivopozharnaya-propaganda-osnovnye-napravleniya-i-harakteristiki/viewer>

7. Электронный журнал «Против пожара» [Эл. ресурс] // Типология пожаров.

8. <https://www.sostav.ru/publication/kak-spateli-i-pozharnye-ispolzuyut-sotsialnye-seti-23623.html> [Эл. ресурс] (Дата обращения 18.06.2021)

9. МЧС: [Эл. ресурс] // Сводка ЧС и происшествий (Дата обращения 21.06.2021).

10. Сборник научных трудов I Международной научной конференции "Конвергентные когнитивно-информационные технологии" и XI Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии и ИТ-образование". Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН; под редакцией В.А. Сухомлина. 2016 «Принципы информационного управления противопожарной пропагандой в социальных сетях», Е.В. Потапов. <http://it-edu.oit.cmc.msu.ru/index.php/convergent/convergent-2016>

УДК 691.666.97

## ПЛАСТИФИЦИРОВАНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО КВАРЦА ПОСРЕДСТВОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ.

*Ананьев М.С., к.т.н. Закревская Л.В., Николаева К.А.*

*Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.*

*DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2021.1.69.456*

### АННОТАЦИЯ

Для обеспечения гравитационного течения системы применен способ немеханического дезагрегирования минеральных частиц с целью получения высокопрочных бетонов на реакционно-порошковой связке и с минимальными В/Т и В/Ц отношениями. Технология пластифицирования высоконаполненных кварцево-водных суспензий заключается в перезарядке поверхности кварца и включает следующие операции: рассеивание смеси на фракции (0,163 мм; 0,315 мм), добавление пластификатора, перемешивание и формовка смеси. Оценка реотехнологических свойств водно-кальциевых, водно-кварцевых и водно-кальцево-кварцевых суспензий, характеризующиеся распылом смеси от 64,5 мм до 29,5 мм.

**Ключевые слова:** Перезарядка, водно-кальциевый, водно-кварцево-кварцевый, реотехнология, реакционно-порошковый цемент, реологически активный, высоконаполненная смесь.

### Введение

Из числа пластично-вязких свойств тестообразной массы строительных материалов особое значение в практике имеет пластичность, т.е. способность материала деформироваться без разрыва сплошности под влиянием внешнего механического воздействия и сохранять полученную форму, когда действие внешней силы прекращено. Общие причины, обуславливающие пластичность цементного теста, тесно связаны с механическими свойствами тонких слоёв воды,

находящихся между твёрдыми дисперсными частицами.

Тонкие слои воды, прилегающие к поверхности твёрдого тела или заключённые между двумя тонкими поверхностями, отличаются от состояния воды в «массе». Тончайший слой воды, прилегающий к твёрдому телу, неподвижен, обладает упругостью формы и по некоторым свойствам приближается к твёрдому телу. Такие плёнки могут обладать достаточной прочностью, чтобы противостоять давлению или срезающему усилию, в несколько граммов на 1 м<sup>2</sup> [1].

Основной причиной образования тонких слоёв воды, обладающих свойствами полутвёрдого тела, служат силы молекулярного притяжения.

Под влияние этих сил молекулы воды закономерно ориентируются, образуя цепи в несколько тысяч молекул, направленные по толщине плёнки. Действия поверхностных сил распространяется на расстояние примерно до 50000 – 70000 Å, постепенно ослабевая. Таким образом, толщина слоя связанной воды выражается десятками долями микрона. Но если в воде имеются мельчайшие пылинки и другие загрязнения, они создают свои очаги воздействия на прилежащие слои жидкости. Поэтому практически слои связанной воды могут иметь значительно большую толщину.

Наряду с влиянием твёрдой поверхности на ориентацию молекул жидкости причиной появления у воды свойств полутвёрдого тела служит её скрытокристаллическая структура, которая подтверждается теорией английских учёных Бернала и Фаулера (на основании рентгеновских исследований). Дифракционная картина рентгеновских лучей показывает, что молекулы воды стремятся к тетраэдрическому расположению. По аналогии со строением минерала «тридимит» эта структура воды называется тридимитной. [2]

Таким образом, в вязущем тесте каждая частица цемента, является центром гидросферы, образованный тонким слоем воды, находящейся в состоянии, промежуточном между собственно жидким и собственно твёрдым. Такая полутвёрдая (связанная) вода замерзает при температурах значительно ниже 0 °С, она не является растворителем, трудно испаряется, обладает большей плотностью и очень трудно отпрессовывается благодаря наличию сил притяжения к твердой поверхности, измеряемых тысячами атмосфер.

Полутвёрдые водные оболочки выполняют двойную функцию: служат как бы связующим веществом и вместе с тем – смазкой. Эти оболочки придают суспензии устойчивость, т.е. данная паста способна в определённой мере сопротивляться деформациям, не нарушая своей сплошности и не утрачивая формы. Одновременно полутвёрдые оболочки обладают и смазочными свойствами, облегчая скольжение твёрдых частиц [1].

Следовательно, основной и важнейшей причиной, от которой зависит и которой обуславливается способность вязущих материалов образовывать с водой пластичное тесто, надо считать наличие промежуточной (между твёрдыми частицами и водой) фазы, составленной полутвёрдыми водными оболочками.

Изыскание новых и совершенствование старых способов, позволяющих управлять пластично – вязкими свойствами, т.е. изменять их в нужном направлении, является одной из наиболее актуальных задач физико – химии и технологии строительных материалов.

На практике большое значение имеет получение высокой пластичности без увеличения водосодержания смесей. Это достигается, в частности, с помощью соответственно подобранных поверхностно-активных веществ (органических пластификаторов), интенсивных вибрационных воздействий, изменения температуры и других факторов.

Вместе с тем, структурно – механические свойства дисперсных систем зависят от химической природы веществ, входящих в данную систему, степени развития структуры, концентрации системы, прежде всего, водотвёрдого отношения, от взаимодействия диспергированного вещества с дисперсионной средой, от температуры смеси и т.д.

Значение кинетики нарастания структурно-механических свойств строительных материалов в процессе их твердения и возможность управления этим процессом позволяет выбирать оптимальные режимы твердения, уменьшая деструктивные процессы и деформации, получать заданную структуру изделий.

Как известно, кварцевые порошки почти не поддаются пластифицированию (не разжижаются) в водно-минеральных суспензиях в присутствии всех, известных нам, типов современных пластификаторов [7,8].

Современные строительные системы на основе гидравлических и воздушных вязущих, применяемые в покрытиях промышленных и декоративных полов, высококачественных ремонтных составах для бетонных поверхностей, рецептурах архитектурных бетонов и т.д., в составе матрицы I уровня, представленной на рис. 1 включают тонкомолотые горные породы [9].

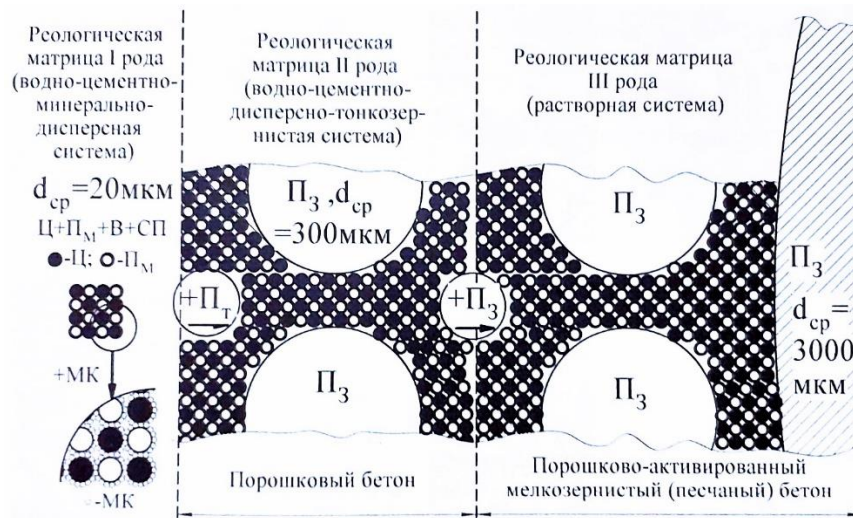


Рис. 1 Топологическая структура порошково-активированного бетона нового поколения (щебень условно не показан). Матрица I-го уровня.

Такая комбинация позволяет сократить количество используемого в системе цемента, без потери прочности [5]. Снижение расхода основного вяжущего, так же позитивно отражается и на других свойствах материала, таких как: аутогенная и воздушная усадки, ползучесть, коррозионная стойкость, истираемость и модуль упругости.

Многие производители сухих строительных смесей и высокотехнологичных бетонов в свои составы для этих целей включают микрокальциты, молотые известняки и доломиты. Иногда это действительно оправдано снижением количества воды затворения (некоторые карбонаты кальция неплохо разжижаются под действием суперпластификаторов (СП)), но, к сожалению, применение такого рода добавки приводит к снижению твердости, истираемости и

устойчивости к кислотам конечного продукта. Поэтому приоритетным тонкодисперсным наполнителем остается кварц. Его твердость по шкале Мооса на 3-5 уровней выше, чем у перечисленных ранее минералов.

В работах [3,4] д.т.н. Калашникова В.И. показана возможность пластифицирования высоконаполненных кварцево-водных суспензий за счет добавления небольшого количества гидратной извести. Профессор объясняет это тем, что поверхность кварцевых частиц имеет моноотрицательный заряд, а все выпускаемые пластификаторы анионно-заряженные «концы», соответственно они просто не могут синергировать связь. Для этого им нужен «посредник», которым может выступить положительный ион  $\text{Ca}^{2+}$  (рис. 2).

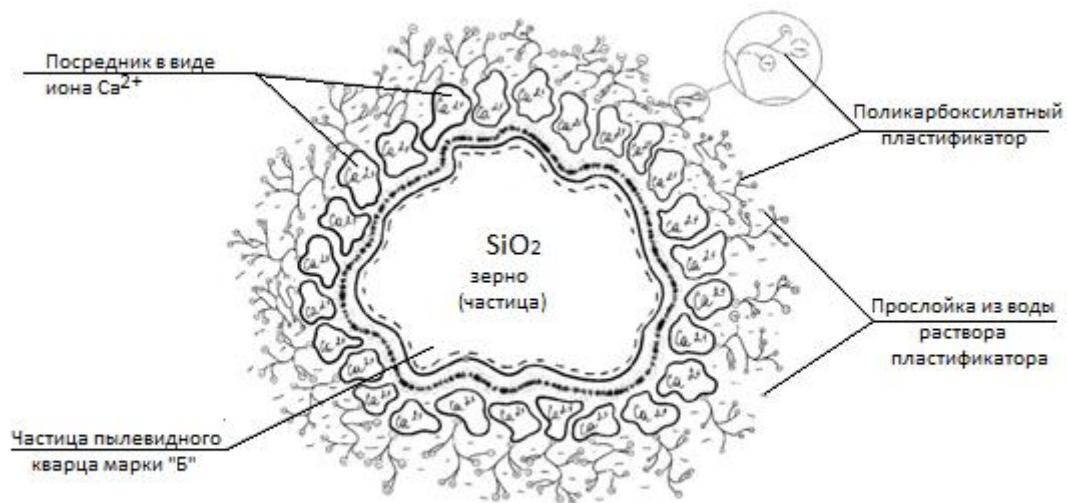


Рис.2. Роль ионов кальция при пластифицировании высоконаполненных кварцево-водных суспензий



### Методика и исходные материалы

Нами установлено, что выпускаемая сегодня сухая гидратная известь слабо снабжает раствор ионами  $\text{Ca}^{2+}$  (табл.1). Поэтому было решено использовать 10% свежеприготовленный раствор от гашения извести после затухания

изотермических процессов. В таблице 1 приведена оценка реотехнологических свойств кварцево-водной суспензии в присутствии сухой гидратной извести Угрешского месторождения и отечественного поликарбокстлатного суперпластификатора.

Таблица 1.

«Реотехнологических свойства кварцево-водной суспензии в присутствии сухой гидратной извести Угрешского месторождения и отечественного поликарбокстлатного суперпластификатора».

№ п/п	Концентр. пл-ра. % (отечественный поликарбокстлатный пластификатор)	m, г (масса пылевидного кварца марки «Б», Люберецкий ГОК)	В/Т (водотвердое отношение)	m <sub>пл.</sub> , г (масса пластификатора по сухому)	V <sub>в</sub> , мл (объем воды)	m <sub>Ca(OH)<sub>2</sub></sub> , г (масса сухой гидратной извести Угрешского месторождения)	Реотехнологический показатель (распływ, мм)
1	1,5	20	0,21	0,3	4,2	0	распływ <b>29,5мм</b> ; нетиксостабилен (капля не втягивается)
2	1,5	20	0,215	0,3	4,3	0	распływ <b>59,5мм</b> ; тиксостабилен (капля втягивается)
3	1,5	20	0,21	0,3	4,2	0,002	распływ <b>64,1мм</b> ; тиксостабилен (капля втягивается)
4.	1,5	20	0,2	0,3	4,0	0,002	распływ <b>32,4мм</b> ; нетиксостабилен (капля не втягивается)
5	1,5	20	0,19	0,3	3,8	0,002	<b>не течет</b>

Для чистоты эксперимента был выполнен обжиг микрокальцита при  $T=1200^{\circ}\text{C}$ . Гашение  $\text{CaO}$  осуществлено в соотношении 1:10 с водой. После фильтрации суспензии оценили содержание оставшейся в ней твердой фазы  $\text{Ca(OH)}_2$ . Для этого выпаривали состав в течении 24 часов при  $T= 50^{\circ}\text{C}$  и получили сухой остаток 7% от массы раствора. Потери можно отнести к коагулянтам, образовавшимся во время гидратации обожженной извести с водой.

Оценку реотехнологических свойств водно-кальциево-кварцевой суспензии производили по

распльву минивискозиметра Сутторда ГОСТ 23789-2018 с размерами  $H=22\text{мм}$ ,  $D=13\text{мм}$ . Свойства гравитационного течения суспензии (тиксостабильность) уточнено по «капле» раствора, принимающей «дневное» положение в общей массе.

### Результаты и обсуждения

В таблице 2 приведена оценка реотехнологических свойств водно-кальциево-кварцевой суспензии на основе гашеного микрокальцита и отечественного поликарбокстлатного пластификатора.

Таблица 2.

**«Реотехнологические свойства водно-кальцево-кварцевой суспензии на основе гашеного микрокальцита и отечественного поликарбоксилатного пластификатора».**

№ п/п	Концентр. пл-ра. % (отечественный поликарбоксилатный пластификатор)	м, г (масса пылевидного кварца марки «Б», Люберецкий ГОК)	В/Т (водотвердое отношение)	м <sub>пл</sub> , г (масса пластификатора по сухому)	V <sub>в</sub> , мл (объем 7% известковой суспензии)	Реотехнологический показатель (распływ минивискозиметра Сутторда, мм)
1	1,5	20	0,2	0,3	4,0	распływ <b>74,2мм</b> ; тиксостабилен (капля втягивается)
2	1,5	20	0,18	0,3	3,6	распływ <b>62,3мм</b> ; тиксостабилен (капля втягивается)
3	1,5	20	0,16	0,3	3,2	распływ <b>50,1мм</b> ; тиксостабилен (капля втягивается)
4	1,5	20	0,14	0,3	2,8	распływ <b>48,9мм</b> ; нетиксостабилен (капля не втягивается)
5	1,5	20	0,13	0,3	2,6	распływ <b>32,2мм</b> ; нетиксостабилен (капля не втягивается)
6	1,5	20	0,135	0,3	2,7	распływ <b>38,6мм</b> ; тиксостабилен (капля втягивается)
7	1,5	20	0,12	0,3	2,4	<b>не течет</b>

Из таблицы 2 видно, что кажущуюся изначально реологически – неактивную тонкомолотую горную породу можно пластифицировать при минимальных затратах, за счёт распределения нанометрического гидроксида кальция в паре с суперпластификатором на поверхности пылевидного кварца с целью получения особо прочного реологически-активного наполнителя для современных висотехнологичных строительных систем.

Структура пластификатора обеспечивает частицам раствора электростатическое отталкивание, за счёт чего и обеспечивается его высокая разжижающая способность. (рис.2)

#### **Заключение**

Установлено, что для некоторых водно – моно – минеральных дисперсных систем для достижения наилучших реотехнологических характеристик суспензий необходимым компонентом в паре с суперпластификатором является гидроксид кальция (Ca(OH)<sub>2</sub>). За счёт статических сил положительно заряженные ионы Ca<sup>+2</sup> распределяются равномерно по поверхности отрицательно заряженных частиц пылевидного кварца, присоединяя при этом на свободный потенциал отрицательно заряженные поликарбоксилатные частицы суперпластификатора. Таким образом, частицы кварца не только получает способность к

самоизоляции от себе подобных, но и обеспечиваются «сольватной смазкой» либо же «сольватной прослойкой» из псевдо – твёрдого слоя водно – поликарбоксилатной суспензии.

#### **Список литературы**

1. Дж. Берналь и Р. Фаулер «Структура воды и ионных растворов»; Успехи физических наук, 1934, т. 14, вып. 5.
2. Синюков В.В. «Вода известная и неизвестная»; Знание, Москва, 1972.
3. Калашников В.И. Физико – химические основы усиления реологического и водоредуцирующего действия суперпластификаторов // Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций. Ч.3. Проблемы архитектурно – строительного материаловедения и ресурсосберегающие технологии производства изделий и конструкций.: Тез.докл. Международный конф.. Белгород. – 1995 – С.128 – 129.
4. Калашников В.И. Управление эффективностью суперпластификаторов в дисперсных системах преадапсорбционной подготовкой поверхностей. Проблема строительного материаловедения и новые технологии.: Межвуз. тематический сб. научных трудов. – Ч.1. – Белгород. – 1995 г. – С.95-100.

5. Макридин Н.И., Калашников В.И., Маханбетова К.Н. Технология бетона, строительных изделий и конструкций // Издательство ПГУАС – 2014г.

7. Yamada K., Tarahashi T., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate type superplasticizer. Cement and Concrete Research, 2000, №30.

8. Гусев Б.В., Ин Иен-лян С., Кузнецова Т.В. Цементы и бетоны – тенденции развития. М.: Научный мир, 2012. 136 с.

9. Ананьев М.С., Калашников В.И. «Состав, топологическая структура и реотехнологические свойства реологических матриц для производства бетонов нового поколения.»; Издательство ПГУАС – 2011г. – С. 10 – 11.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО ТИПА

*Алейдаров С. М.*

*Дагестанский государственный университет,  
г. Махачкала, Россия*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваем уравнение нейтрального типа с линейным отклонением аргумента в гильбертовом пространстве со степенным весом. Наличие линейного отклонения аргумента и переменного коэффициента перед производной не позволяет применить преобразование Фурье для исследования уравнения нейтрального типа. Поэтому при рассмотрении вопросов разрешимости и асимптотики мы использовали преобразование Меллина.

Для уравнения нейтрального типа с постоянными операторными коэффициентами получены достаточные условия однозначной разрешимости через резольвенту.

Для уравнения нейтрального типа с переменными коэффициентами получены оценки переменных частей, обеспечивающие однозначную разрешимость.

Получена асимптотическая оценка всех решений уравнения в случае, когда нет однозначности решения.

**Ключевые слова:** нейтральный тип, степенной вес, разрешимость, гильбертово пространство

К решению линейного дифференциального уравнения с линейным отклонением аргумента нейтрального типа приводит изучение собственных колебаний в волновой среде с периодически изменяющимися граничными условиями. Такими системами являются, например, оптический

резонатор и струна с колеблющейся границей, балки с переменной нагрузкой на конце, а в радиофизике и радиоэлектронике - применяемые в информационных вычислительных и измерительных устройствах волновые системы с периодически изменяющейся ёмкостью на границе.

Линейная система вида

$$t \cdot X'(t) = \left[ \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mu_1 & C \\ C_0 & \mu_2 \end{pmatrix} \right] X(t),$$

где  $\mu_2 - \mu_1 = \alpha + \beta$ ,  $C \cdot C_0 = -\alpha \cdot \beta$  и  $\alpha - \beta$  - нецелое число,  $|\lambda_1 - \lambda_2| \geq |\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq 0$  в комплексной области изучено в [1].

В этой работе получена асимптотика фундаментальной системы вида

$$X_i(t) = t^{p_i} \sum_{m=0}^{\infty} G_i(m) t^m, i = 1, 2$$

при  $t \rightarrow \infty$  в некотором секторе комплексной плоскости.

аргументом в окрестности особой точки изучено в [2]. В этой работе для скалярного уравнения

Структуру решений трехчленного дифференциального уравнения с запаздывающим

$$t \cdot y'(t) = a(t)y(\lambda t) + b(t)y(t), 0 < \lambda < 1$$

изучается структура решений, определенных на  $]0; \infty[$  и рассматривается взаимное влияние на поведение решений в окрестности особой точки  $t = 0$  членов с запаздыванием и без запаздывания.

Обобщением вышеуказанных уравнений является уравнение, рассматриваемое в этой работе.

В статье мы рассматриваем уравнение нейтрального типа

$$L(t)U(t) = \sum_{j=0}^m \{tU'(b_j t) + [A_j + A_j(t)]U(a_j t)\} = f(t) \quad (1)$$

с неограниченными операторными коэффициентами

$$A_j, A_j(t) : Y \rightarrow Y, \mathcal{D}(A_j) = \mathcal{D}(A_j(t)) = X \subset Y, j = 0, 1, \dots, m,$$

$X, Y$ - гильбертовы пространства,  $a_0 = 1, 0 < a_j, b_j < 1$ .

Наличие линейного отклонения аргумента и переменного коэффициента перед производной не позволяет применить преобразование Фурье [3] для исследования уравнения нейтрального типа. Поэтому при рассмотрении вопросов

разрешимости и асимптотики мы использовали преобразование Меллина[4].

Будем говорить, что  $U(t)$  принадлежит  $L_2(R^+, H)$ , если  $U(t) \in H$  и

$$\int_0^\infty \|U(t)\|_H^2 \frac{dt}{t} < +\infty,$$

где  $H$  – гильбертово пространство[5].

Пусть  $t^\sigma U(t) \in L_2(R^+, H)$ .

Тогда

$$\tilde{U}(\lambda, a) = \int_{1/a}^a U(t)t^{\lambda-1} dt \quad (Re \lambda = \sigma)$$

сходится в среднем квадратичном на прямой  $Re \lambda = \sigma$  к некоторой функции  $\tilde{U}(\lambda)$ ;

$$\tilde{U}(t, a) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} \tilde{U}(\lambda)t^{-\lambda} d\lambda$$

сходится в среднем к  $U(t)$ , в том смысле, что

$$\lim_{a \rightarrow \infty} \int_0^\infty \|U(t) - U(t, a)\|_H^2 t^{2\sigma-1} dt = 0$$

и

$$\int_0^\infty \|U(t)\|_H^2 t^{2\sigma-1} dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \|\tilde{U}(\sigma + it)\|_H^2 dt.$$

**Определение 1.** Пополнение множества носителями и со значениями в  $X$ , имеющих сильно функций  $U(t), U(0) = 0$  с компактными непрерывные производные в  $Y$  по норме

$$\|U(t)\|^{1,\sigma} = \left( \int_0^\infty t^{2\sigma-1} (\|U(t)\|_x^2 + \|tU'(t)\|_y^2) dt \right)^{1/2}, \sigma > 0$$

обозначим через  $X^{1,\sigma}$ .

**Определение 2.** Пополнение множества компактными носителями и со значениями в  $Y$ , по сильно непрерывных функций  $f(t), f(0) = 0$ , с норме

$$\|f(t)\|^{1,\sigma} = \left( \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|f(t)\|_y^2 dt \right)^{1/2}$$

обозначим через  $Y^{0,\sigma}$ .

Для уравнения нейтрального типа с постоянными коэффициентами

$$LU(t) \equiv \sum_{j=0}^m \{tU'(b_j t) + A_j U(a_j t)\} = f(t) \quad (2)$$

определим понятие резольвенты.

**Определение 3.** [9] Операторнозначную функцию

$$R(\lambda) = \left( \sum_{j=0}^m \{A_j a_j^{-\lambda} - \lambda b_j^{-\lambda-1}\} \right)^{-1}$$

назовем резольвентой уравнения (2).

**Лемма 1.** Оператор  $L(t) : X^{1,\sigma} \rightarrow Y^{0,\sigma}$  из (2) непрерывен.

Доказательство.

Пусть  $U(t)$  любой элемент пространства  $X^{1,\sigma}$ . Оценим квадрат нормы

$$\begin{aligned} \left( \|L(t)U(t)\|^{0,\sigma} \right)^2 &\leq C_A \cdot (m+1) \sum_{j=0}^m \left( \int_0^\infty \|U(a_j t)\|_x^2 dt + \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|tU'(t)\|_y^2 dt \right) = \\ &C_A(m+1) \cdot \sum_{j=0}^m \left( \int_0^\infty a_j^{1-2\sigma} t^{2\sigma-1} \|U(a_j t)\|_x^2 dt \right. \\ &\left. + b_j^{-2\sigma-2} \cdot \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|tU'(t)\|_y^2 dt \right) \leq \\ &C_A C_{ab} \cdot (m+1) \cdot \left( \|U(t)\|^{1,\sigma} \right)^2, \end{aligned}$$

где

$$C_A = \max_{j \geq 0, t \geq 0} \|A_j + A_j(t)\|_y, \quad C_{ab} = \max_{j \geq 0} \{a_j^{1-2\sigma}, b_j^{-2\sigma-2}\}.$$

Отсюда следует, что

$$\|L(t)\|_{X^{1,\sigma} \rightarrow Y^{1,\sigma}} \leq \sqrt{(m+1)C_A C_{ab}}.$$

Лемма доказана.

**Теорема 1.** Для существования и единственности решения  $U(t) \in X^{1,\sigma}$  уравнения (2) при любой правой части  $f(t) \in Y^{1,\sigma}$  достаточно, чтобы резольвента  $R(\lambda)$  была регулярна и

$\|R(\lambda)\|_x + |\lambda| \cdot \|R(\lambda)\|_y = 0$  (1) на прямой  $Re \lambda = \sigma$  при  $|\lambda| \rightarrow \infty$ .

**Доказательство.** Применяя к уравнению (2) преобразование Меллина [4], получим

$$\sum_{j=0}^b \{A_j a_j^{-\lambda} - \lambda b_j^{-\lambda-1}\} \tilde{U}(\lambda) = \tilde{f}(\lambda),$$

$$\tilde{U}(\lambda) = R(\lambda) \tilde{f}(\lambda).$$

Рассмотрим теперь интеграл

$$U(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} t^{-\lambda} \tilde{U}(\lambda) d\lambda,$$

где  $\tilde{U}(\lambda) = R(\lambda) \tilde{f}(\lambda)$  существует в силу непрерывность функции  $U(t)$  при  $t > 0$ . Для условий теоремы. Докажем сильную простоты положим  $\sigma = 0$ . Тогда

$$U(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} t^{i\lambda} R(-i\lambda) \tilde{f}(-i\lambda) d\lambda$$

оценим норму приращения функции

$$\begin{aligned} \|U(t+h) - U(t)\|_y &\leq \int_{-\infty}^{\infty} |(t+h)^{i\lambda} - t^{i\lambda}| \cdot \|R(-i\lambda) \tilde{f}(-i\lambda)\|_y d\lambda = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{(t+h)^{i\lambda} - t^{i\lambda}}{\lambda^2} \right| \cdot \|-i\lambda R(-i\lambda) \tilde{f}(-i\lambda)\|_y d\lambda \leq \\ &\leq \left( \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|(t+h)^{i\lambda} - t^{i\lambda}|^2}{\lambda^2} \right)^{1/2} \cdot \left( \int_{-\infty}^{\infty} \|-i\lambda R(-i\lambda) \tilde{f}(-i\lambda)\|_y^2 d\lambda \right)^{1/2} \leq \end{aligned}$$

$$\leq C \cdot \left( \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin^2 \frac{\lambda}{2} \cdot \ln(1 + \frac{h}{t})}{\lambda^2} d\lambda \right)^{1/2} \leq C_1 \sqrt{\ln(1 + \frac{h}{t})}.$$

Отсюда следует сильная непрерывность функции  $U(t)$ .

Тот факт, что функция, определяемая равенством удовлетворяет уравнению, проверяется непосредственной подстановкой.

Докажем, что  $U(t) \in X^{1,\sigma}$  при  $f(t) \in Y^{0,\sigma}$

$$\begin{aligned} \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|U(t)\|_x^2 dt &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \|\tilde{U}(\sigma + it)\|_x^2 dt \leq \\ &\leq \frac{C}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \|\tilde{f}(\sigma + it)\|_y^2 dt = C_1 \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|U(t)\|_y^2 dt. \end{aligned}$$

Аналогично,

$$\begin{aligned} \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|tU'(t)\|_y^2 dt &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \|(\sigma + it)R(\sigma + it)\tilde{f}(\sigma + it)\|_y^2 dt \leq \\ &\leq \frac{C_2}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \|\tilde{f}(\sigma + it)\|_y^2 dt = C_3 \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|U(t)\|_y^2 dt. \end{aligned}$$

Из этих неравенств следует оценка

$$\|U(t)\|^{1,\sigma} \leq C \cdot \|f(t)\|^{0,\sigma},$$

из которой вытекает единственность решения уравнения и принадлежность его пространству  $X^{1,\sigma}$ .

Для уравнения с переменными коэффициентами (1) имеет место следующая

**Теорема 2.** Если резольвента  $R(\lambda)$  регулярна,

Теорема доказана.

$$\|R(\lambda)\|_x + |\lambda| \cdot \|R(\lambda)\|_y = o(1), |\lambda| \rightarrow \infty, Re\lambda = \sigma,$$

$$\|A_j(t)\|_y < \left( \|L^{-1}\|^{1,\sigma} \sqrt{(m+1) \sum_{j=0}^m a_j^{-2\sigma}} \right)^{-1},$$

то уравнение (1) имеет единственное решение из  $X^{1,\sigma}$  при  $f(t) \in Y^{0,\sigma}$ .

**Доказательство.** Левую часть уравнения (1) представим в виде суммы двух слагаемых

$$L(t)U(t) = LU(t) + L_1(t)U(t)$$

$$LU(t) = \sum_{j=0}^m \{tU'(b_j t) + A_j U(a_j t)\},$$

$$L_1(t)U(t) = \sum_{j=0}^m A_j U(a_j t).$$

В силу условий теоремы оператор  $L$  непрерывно обратим.

Оценим теперь норму оператора  $L_1$

$$\begin{aligned} (\|L_1(t)U(t)\|^{0,\sigma})^2 &= \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|L_1(t)U(t)\|_y^2 dt \leq \\ &\leq \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \cdot \left( \sum_{j=0}^m \|A_j(t)\|_y \cdot \|U(a_j t)\|_x \right)^2 dt < \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} < (m+1) \cdot \left( \|L^{-1}\|^{1,\sigma} \sqrt{m+1 \sum_{j=0}^m a_j^{-2\sigma}} \right)^{-2} \cdot \sum_{j=0}^m \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|U(a_j t)\|_x^2 dt = \\ = (\|L^{-1}\|^{1,\sigma})^{-2} \int_0^\infty t^{2\sigma} \cdot \|U(t)\|_x^2 dt \leq (\|L^{-1}\|^{1,\sigma})^{-2} (\|U(t)\|^{1,\sigma})^2. \end{aligned}$$

Отсюда следует утверждение теоремы.  
Получим асимптотическую формулу для решений уравнения нейтрального типа с

переменными коэффициентами (1) через решение соответствующего однородного уравнения. Операторнозначную функцию

$$L(\lambda) = \sum_{j=0}^m (A_j a_j^{-\lambda} - \lambda b_j^{-\lambda-1} \cdot E)$$

будем называть операторным квазипучком [9].

**Лемма 2.** Если  $\lambda_0 - n$  – кратный полюс резольвенты  $R(\lambda)$ , то функция

$$U(t) = t^{-\lambda_0} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\ln t)^{n-k-1}}{(n-k-1)!} \varphi_k \quad (5)$$

где  $\varphi_0$  – собственный вектор, а  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{n-1}$  – присоединенные вектора пучка  $L(\lambda)$ , соответствующее собственному значению  $\lambda_0$ , являются решениями уравнения (2) при  $f(t) = 0$ .

Справедливость леммы проверяется непосредственной подстановкой  $U(t)$  в уравнение (2).

**Теорема 3.** Если  $\|A_j(t)\|_y \leq C \cdot t^{-\sigma}, j = 0, 1, 2, \dots, m$  при  $t \rightarrow \infty$  регулярна в полосе  $0 < \operatorname{Re} \lambda < \sigma$  за исключением

полюсов  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  кратности  $S_1, S_2, \dots, S_n$  соответственно; при  $|\lambda| > \max_{k \geq 1} |\operatorname{Re} \lambda_k|, |\lambda| \rightarrow \infty$  в полосе  $0 \leq \operatorname{Re} \lambda \leq \sigma; \varphi_0^k, \varphi_1^k, \dots, \varphi_{s_k-1}^k$  – собственный и присоединенные вектора квазипучка  $L(\lambda)$ , соответствующие полюсу  $\lambda = \lambda_k, k = 1, 2, \dots, n, f(t) \in Y^{0,\sigma} \cap Y^{0,0}$ , то имеет место асимптотическая формула

$$\begin{aligned} \left\| U(t) - \sum_{k=1}^n t^{-\lambda_k} \sum_{e=0}^{s_k-1} \frac{(\ln t)^{s_k-e-1}}{(s_k-e-1)!} \varphi_e^k \right\|^{0,\sigma} \leq \\ \leq C \cdot \left( \int_0^\infty t^{2\sigma-1} \|f(t)\|_y^2 dt + \int_0^\infty \|U(t)\|_x^2 \frac{dt}{t} \right)^{1/2}, \end{aligned}$$

для любого решения  $U(t) \in X^{1,\sigma} \cap X^{1,0}$  уравнения (1) где постоянная  $C$  не зависит от решения  $U(t)$ .

**Доказательство.** Уравнение (1) перепишем

$$\sum_{j=0}^m \{tU'(b_j t) + A_j U(a_j t)\} = f(t) \sum_{j=0}^m A_j(t) U(a_j t)$$

Применив к обеим частям последнего равенства преобразование Меллина на прямой  $\operatorname{Re} \lambda = \sigma$ , получим

$$\tilde{U}(\lambda) = R(\lambda) \left\{ \tilde{f}(\lambda) - \sum_{j=0}^m \int_0^\infty t^{\lambda-1} A_j(t) U(a_j t) dt \right\}$$

В силу условий теоремы полюса  $R(\lambda)$  и  $\tilde{U}(\lambda)$  в полосе  $0 \leq \operatorname{Re} \lambda \leq \sigma$  совпадают, так как выражение

в фигурных скобках регулярна в полосе  $0 \leq \operatorname{Re} \lambda \leq \sigma$ . Пусть эти полюса находятся внутри прямоугольника

$$\Pi = \{\lambda : 0 \leq \operatorname{Re} \lambda \leq \sigma, |\operatorname{Im} \lambda| \leq b\},$$

контур которого обозначим через  $\Gamma$ .

Из леммы Римана-Лебега [3] следует, что



$$\int_{i\alpha}^{\sigma+i\alpha} t^{-\lambda} \tilde{U}(\lambda) d\lambda \rightarrow 0 \text{ при } |\alpha| \rightarrow \infty \quad (6)$$

По теореме Коши [5] об интеграле по замкнутому контуру и в силу (6), имеем

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} t^{-\lambda} \tilde{U}(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^n \operatorname{res}_{\lambda_k} \left\{ t^{-\lambda} R(\lambda) \left[ \tilde{f}(\lambda) - \sum_{j=0}^m \int_0^{\infty} t^{\lambda-1} A_j(t) U(a_j t) dt \right] \right\}$$

или

$$U(t) - \sum_{k=1}^n U_k(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} t^{-\lambda} \tilde{U}(\lambda) d\lambda, \quad (7)$$

где

$$U_k(t) = t^{-\lambda_k} \cdot \sum_{e=0}^{s_k-1} \frac{(\ln t)^{s_k-e-1}}{(s_k - e - 1)!} \varphi_e^{(k)} -$$

решение однородного уравнения  $LU(t) = 0$ , связанное с полюсом  $\lambda_k$  резольвенты  $R(\lambda)$  кратности  $s_k$ .

Оценивая интеграл, получим

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} t^{2\sigma-1} \cdot \left\| U(t) - \sum_{k=0}^n U_k(t) \right\|_y^2 dt &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \|\tilde{U}(\sigma + it)\|_y^2 dt \leq \\ &\leq C \cdot \int_0^{\infty} t^{2\sigma-1} \cdot \left\| f(t) - \sum_{k=0}^n A_j(t) U(a_j t) \right\|_y^2 dt \leq \\ &\leq 2 \cdot \int_0^{\infty} t^{2\sigma-1} \cdot \|f(t)\|_y^2 dt + 2 \leq \int_0^{\infty} t^{2\sigma-1} \cdot \left( \sum_{j=0}^m \|A_j(t)\|_y \|U(a_j t)\|_x \right)^2 dt \leq \\ &\leq 2(\|f(t)\|^{0,\sigma})^2 + 2(m+1) \int_0^{\infty} t^{2\sigma-1} \cdot t^{-2\sigma} \sum_{j=0}^m \|U(a_j t)\|_x^2 dt \leq \\ &\leq C \left( \int_0^{\infty} t^{2\sigma-1} \|f(t)\|_y^2 dt + \int_0^{\infty} \|U(t)\|_x^2 \frac{dt}{t} \right). \end{aligned}$$

Теорема доказана.

### Литература

1. Алиев Р.Г. ФДУ в гильбертовом пространстве. -Махачкала: Издательство ДГУ, 2010. -348с.
2. Крейн С.Г. Линейные дифференциальные уравнения в банаховом пространстве. -М., 1990.620с.
3. Титчмарш Е. Введение в теорию интегралов Фурье. -М.:«Наука», 1993г.
4. Колмогоров А.И., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. - М.:«Наука», 2017г.

5. Алейдаров С.М. Конечномерность ядра оператора L в гильбертовом пространстве со степенным весом. Вестник ДГУ, I выпуск, 2011г., с.60-64.
6. Алиев Р.Г., Алейдаров С.М. Разрешимость ФДУ второго порядка в пространствах со степенным весом. Вестник ДГУ, I выпуск, 2014г.,с.109-116.
7. Алейдаров С.М. Асимптотика решений ФДУ первого порядка в гильбертовом пространстве со степенным весом. Фундаментальные и прикладные проблемы

математики и информатики. Махачкала, ДГУ, 2017г., с.24-27.

8. Алейдаров С.М. Существование решений одного частного случая уравнения нейтрального типа в пространствах со степенным весом. . Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики. Махачкала, ДГУ, 2019г., с.14-16.

9. Люстерник Л.А., Соболев В.И. Элементы фундаментального анализа. -М.2017г., 560с.

10. Алейдаров С.М. Оценка решений ФДУ первого порядка в пространствах со степенным весом. Актуальные проблемы математики и смежные вопросы. Махачкала, ДГПУ, 2018г., с.21-24.

#### Literature

1. Aliev R.G. FDE in Hilbert space. - Makhachkala: DSU Publishing House, 2010. -348s.

2. Crane S.G. Linear differential equations in a Banach space. -M., 1990.620s.

3. Titchmarsh E. Introduction to the theory of Fourier integrals. -M.: "Science", 1993.

4. Kolmogorov A.I., Fomin S.V. Elements of the theory of functions and functional analysis. -M.: "Science", 2017

5. Aleidarov S.M. Finite-dimensionality of the kernel of the operator L in a Hilbert space with a power-law weight. DGU Bulletin, I edition, 2011, pp. 60-64.

6. Aliev R.G., Aleidarov S.M. Solvability of second-order FDEs in spaces with power-law weights. DGU Bulletin, 1st edition, 2014, p.109-116.

7. Aleidarov S.M. Asymptotics of solutions of first-order FDEs in a Hilbert space with a power-law weight. Fundamental and applied problems of mathematics and computer science. Makhachkala, DSU, 2017, pp. 24-27.

8. Aleidarov S.M. Existence of solutions of one particular case of an equation of neutral type in spaces with power-law weight. ... Fundamental and applied problems of mathematics and computer science. Makhachkala, DSU, 2019, pp. 14-16.

9. Lyusternik L.A., Sobolev V.I. Elements of fundamental analysis. -M. 2017, 560s.

10. Aleidarov S.M. Estimation of solutions of first-order FDEs in spaces with power-law weights. Actual problems of mathematics and related issues. Makhachkala, DGPU, 2018, p.21-24.

## Ежемесячный научный журнал

### Том 1 №69 / 2021

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

#### ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

**Чукмаев Александр Иванович**

<https://orcid.org/0000-0002-4271-0305>

Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права. Астана, Казахстан

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

##### **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

##### **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

##### **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

##### **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

##### **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

##### **Садовская Валентина Степановна**

AuthorID: 427133

Доктор педагогических наук, профессор, Заслуженный работник культуры РФ, академик Международной академии Высшей школы, почетный профессор Европейского Института PR (Париж), член Европейского издательского и экспертного совета IEERP.

##### **Ремизов Вячеслав Александрович**

AuthorID: 560445

Доктор культурологии, кандидат философских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, академик Международной Академии информатизации, член Союза писателей РФ, лауреат государственной литературной премии им. Мамина-Сибиряка.

##### **Измайлова Марина Алексеевна**

AuthorID: 330964

Доктор экономических наук, профессор Департамента корпоративных финансов и корпоративного управления Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

##### **Гайдар Карина Марленовна**

AuthorID: 293512

Доктор психологических наук, доцент. Член Российского психологического общества.

##### **Слободчиков Илья Михайлович**

AuthorID: 573434

Профессор, доктор психологических наук, кандидат педагогических наук.

Член-корреспондент Российской академии естественных наук.

**Подольская Татьяна Афанасьевна**

AuthorID: 410791

Профессор факультета психологии Гуманитарно-прогностического института. Доктор психологических наук. Профессор.

**Пряжникова Елена Юрьевна**

AuthorID: 416259

Преподаватель, профессор кафедры теории и практика управления факультета государственного и муниципального управления, профессор кафедры психологии и педагогики дистанционного обучения факультета дистанционного обучения ФБОУ ВО МГППУ

**Набойченко Евгения Сергеевна**

AuthorID: 391572

Доктор психологических наук, кандидат педагогических наук, профессор. Главный внештатный специалист по медицинской психологии Министерства здравоохранения Свердловской области.

**Козлова Наталья Владимировна**

AuthorID: 193376

Профессор на кафедре гражданского права юридического факультета МГУ

**Крушельницкая Ольга Борисовна**

AuthorID: 357563

кандидат психологических наук, доцент, заведующая кафедрой теоретических основ социальной психологии. Московский государственный областной университет.

**Артамонова Алла Анатольевна**

AuthorID: 681244

кандидат психологических наук, Российский государственный социальный университет, филиал Российского государственного социального университета в г. Тольятти.

**Таранова Ольга Владимировна**

AuthorID: 1065577

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский гуманитарный институт, Департамент гуманитарного образования студентов инженерно-технических направлений, Кафедра управление персоналом и психологии (Екатеринбург)

**Ряшина Вера Викторовна**

AuthorID: 425693

Институт изучения детства, семьи и воспитания РАО, лаборатория

профессионального развития педагогов (Москва)

**Гусова Альбина Дударбековна**

AuthorID: 596021

Заведующая кафедрой психологии. Доцент кафедры психологии, кандидат психологических наук Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, психолого-педагогический факультет (Владикавказ).

**Минаев Валерий Владимирович**

AuthorID: 493205

Российский государственный гуманитарный университет, кафедра мировой политики и международных отношений (общеуниверситетская) (Москва), доктор экономических наук

**Попков Сергей Юрьевич**

AuthorID: 750081

Всероссийский научно-исследовательский институт труда, Научно-исследовательский институт труда и социального страхования (Москва), доктор экономических наук

**Тимофеев Станислав Владимирович**

AuthorID: 450767

Российский государственный гуманитарный университет, юридический факультет, кафедра финансового права (Москва), доктор юридических наук

**Васильев Кирилл Андреевич**

AuthorID: 1095059

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Инженерно-строительный институт (Санкт-Петербург), кандидат экономических наук

**Солянкина Любовь Николаевна**

AuthorID: 652471

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), кандидат экономических наук

**Карпенко Юрий Дмитриевич**

AuthorID: 338912

Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью ФМБА, Лаборатория эколого-гигиенической оценки отходов (Москва), доктор биологических наук.

**Малаховский Владимир Владимирович**

AuthorID: 666188

Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Факультеты, Факультет послевузовского профессионального образования врачей,

кафедра нелекарственных методов терапии и клинической физиологии (Москва), доктор медицинских наук.

**Ильясов Олег Рашитович**

AuthorID: 331592

Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра техносферной безопасности (Екатеринбург), доктор биологических наук

**Косс Виктор Викторович**

AuthorID: 563195

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, НИИ спортивной медицины (Москва), кандидат медицинских наук.

**Калинина Марина Анатольевна**

AuthorID: 666558

Научный центр психического здоровья, Отдел по изучению психической патологии раннего детского возраста (Москва), кандидат медицинских наук.

**Сырочкина Мария Александровна**

AuthorID: 772151

Пфайзер, вакцины медицинский отдел (Екатеринбург), кандидат медицинских наук

**Шукшина Людмила Викторовна**

AuthorID: 484309

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Головной вуз: РЭУ им. Г.В. Плеханова, Центр гуманитарной подготовки, Кафедра психологии (Москва), доктор философских наук

**Оленев Святослав Михайлович**

AuthorID: 400037

Московская государственная академия хореографии, кафедра гуманитарных, социально-экономических дисциплин и менеджмента исполнительских искусств (Москва), доктор философских наук.

**Терентий Ливиу Михайлович**

AuthorID: 449829

Московская международная академия, ректорат (Москва), доктор филологических наук

**Шкаренков Павел Петрович**

AuthorID: 482473

Российский государственный гуманитарный университет (Москва), доктор исторических наук

**Шалагина Елена Владимировна**

AuthorID: 476878

Уральский государственный педагогический университет, кафедра теоретической и прикладной социологии (Екатеринбург), кандидат социологических наук

**Франц Светлана Викторовна**

AuthorID: 462855

Московская государственная академия хореографии, научно-методический отдел (Москва), кандидат философских наук

**Франц Валерия Андреевна**

AuthorID: 767545

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт государственного управления и предпринимательства (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Глазунов Николай Геннадьевич**

AuthorID: 297931

Самарский государственный социально-педагогический университет, кафедра философии, истории и теории мировой культуры (Москва), кандидат философских наук

**Романова Илона Евгеньевна**

AuthorID: 422218

Гуманитарный университет, факультет социальной психологии (Екатеринбург), кандидат философских наук

**Ответственный редактор**  
Чукмаев Александр Иванович  
Доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права.  
(Астана, Казахстан)

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая,  
д. 44, к. 1, литера А

**Адрес электронной почты:** [info@national-science.ru](mailto:info@national-science.ru)

**Адрес веб-сайта:** <http://national-science.ru/>

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии 620144, г. Екатеринбург,  
улица Народной Воли, 2, оф. 44

**Художник:** Венерская Виктория Александровна

**Верстка:** Коржев Арсений Петрович

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.