



Österreichisches Multiscience Journal

VOL 1, No45 (2021)

Österreichisches Multiscience Journal (Innsbruck, Austria)

The journal is registered and published in Austria.

The journal publishes scientific studies, reports and reports about achievements in different scientific fields.

Journal is published in German, English, Hungarian,

Polish, Russian, Ukrainian, and French.

Articles are accepted each month.

Frequency: 12 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

Edition of journal does not carry responsibility

for the materials published in a journal.

Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws.

Chief editor: Fabian Huber

Managing editor: Daniel Müller

Matthias Leitner - Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Moritz Winkler - Universität Salzburg

Philipp Mayr - Johannes Kepler University

Sebastian Berger - Medizinische Universität Wien

Sophia Hartl - Technische Universität Graz

Jonas Aigner - Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

Elias Holzer - Donau-Universität Krems

Simon Lackner - Fachhochschule Wiener Neustadt

Marie Brandstatter- Fachhochschule Technikum Wien

Julian König - Management Center Innsbruck

«Österreichisches Multiscience Journal»

Editorial board address: Universitätsstraße 22, 6020 Innsbruck, Austria

E-mail: editor@osterr-science.com

Web: <http://osterr-science.com>

CONTENT

MEDICAL SCIENCES

Zaslavskaya R., Seipenova A., Tejblum M.

DAILY PROFILE OF ELECTROLYTIC PARAMETERS
(POTASSIUM AND NATRIUM) IN MYOCARDIAL
INFARCTION3

PHILOLOGICAL SCIENCES

Leontyeva A., Makhmutov A., Utesh A.

GENRE OF THE KAZAKH LEGEND IN MODERN
FOLKLORE9

PHYSICS AND MATHEMATICS

Antonov A.

THE FALLACY OF THE SRT VERSION STUDIED IN
PHYSICS TEXTBOOKS PROVED EXPERIMENTALLY17

Kodnyanko V., Gogol L., Belyakova S.,

Grigorieva O., Surovtsev A., Strok L.

STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF GAS STATIC
THRUST BEARING WITH PARTIALLY MOBILE BASE ...27

Sazhin V.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF DRYERS WITH A
FLUIDIZED BED OF DISPERSED PARTICLES39

SOCIOLOGICAL SCIENCES

Kazarova T.

WHERE RUSSIA HAS COME50

TECHNICAL SCIENCE

Mykhaylov Ye.P., Lingur V.M.,

Jamli Fayez, Haidai D.A.

STAND FOR RESEARCH OF ROBOT-MANIPULATOR
CONTROL ALGORITHMS54

MEDICAL SCIENCES

СУТОЧНЫЙ ПРОФИЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТНОГО ОБМЕНА (КАЛИЯ И НАТРИЯ) ПРИ ИНФАРКТЕ МИОКАРДА

Заславская Р. М.,

д.м.н., профессор, Главный специалист Института космических исследований Российской Академии наук, Москва.

Сейпенова А. Н.,

к.м.н., доцент кафедры общей врачебной практики N1, Западно-Казахстанский медицинский Университет, Республика Казахстан, Актобе

Тейблум М. М.,

к.б.н., Главный специалист, МСК Согаз-Мед, Москва

DAILY PROFILE OF ELECTROLYTIC PARAMETERS (POTASSIUM AND NATRIUM) IN MYOCARDIAL INFARCTION

Zaslavskaya R.,

MD, professor, Main specialist, Space Research Institute Russian Academy of science, Moscow

Seipenova A.,

MD, Associate Professor of the Department of General Medical Practice N1, ZKMU, Respublik Kazakhstan, Aktobe.

Tejblum M.

PhD, Main specialist, Sogas, Moscow

Abstract

The article is devoted to the problem, concerning daily profile of electrolytic metabolism (potassium and natrium) in patients, suffering from myocardial infarction. There are presented literary sources and original data of daily dynamic of electrolytic metabolism in myocardial infarction

Аннотация

Исследования последних лет показали, что в патогенезе ишемической болезни сердца, включая инфаркт миокарда, существенную роль играют нарушения метаболизма в сердечной мышце, обусловленные сдвигами электролитного и гормонального баланса (Е.И.Чазов, 1970, 1971). Выявлена тесная взаимосвязь между действием химических медиаторов нервного возбуждения на проницаемость клеточной мембраны, перемещением электролитов и процессом возбуждения миокарда. Установлено, что в зоне острого некроза в миокарде значительно снижается содержание калия и резко возрастает количество натрия. Согласно данным экспериментальных работ, избыток солей натрия при одновременном дефиците калия и магния может привести в определённых условиях к некрозу сердечной мышцы. Выявлено, что нарушение электролитного баланса наблюдается, главным образом, в остром периоде инфаркта миокарда. В мышечном сокращении сердца, кроме миозина, актина, аденозинтрифосфорной кислоты, участвуют ионы калия, натрия, магния и кальция.

Определённое равновесие между внеклеточным и внутриклеточным субстратом существенную роль играет в развитии возбуждения и сокращения миокарда (Халфен Э.М., 1972; Струков А.И., 1975). Основным вопросом при изучении ионного обмена в сердце является проблема поддержания неравномерного распределения ионов калия, натрия и хлора между клеткой и внеклеточной средой, так как ионное отклонение в этом распределении приводит к изменению трансмембранного потенциала и возбуждения клетки. Внутри клетки ионы калия имеют более высокую концентрацию, чем во внеклеточной среде (примерно в 10 раз). Наоборот, уровень ионов натрия в 10 раз выше во внеклеточной среде.

Сведений о динамике обмена электролитов на протяжении суток недостаточно. Имеются лишь отдельные сообщения о суточном ритме суточных колебаний уровня калия в сыворотке крови и эритроцитах у здоровых лиц, кальция, калия и натрия в моче практически здоровых людей. Циркадианные ритмы параметров электролитного обмена не исследованы при различных патологических процессах, включая заболевания сердечно-сосудистой системы. Между тем, установлена роль обмена электролитов (калия и натрия) в регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы, участие их в процессах возбуждения и сокращения миокарда. Считается установленным значение нарушений метаболизма электролитов в патогенезе нарушений ритма сердечной деятельности и сердечной недостаточности, роль фактора времени при кардиальной патологии и, прежде всего, при недостаточности кровообращения.

Эти положения диктуют необходимость изучить роль фактора времени в динамике уровня электролитов, в особенности, содержания калия и натрия во всех биологических жидкостях и элементах крови. Эту задачу можно решить при использовании хронобиологического метода исследования, предусматривающего изучение циркадианной организации параметров электролитного обмена при кардиальной патологии и прежде всего у больных инфарктом миокарда.

Keywords: electrolytic metabolism, potassium, natrium, circadian organization, myocardial infarction.

Ключевые слова: электролитный обмен, калий, натрий, циркадианная организация, инфаркт миокарда.

Материал и метод

Исследования проводили у 62 больных инфарктом миокарда в возрасте от 35 до 76 лет. Среди них было 37 мужчин и 25 женщин. У всех пациентов инфаркт миокарда развился на фоне обострения хронической ишемической болезни сердца (ИБС), атеросклероза аорты и коронарных артерий. ИБС в сочетании с гипертонической болезнью (ГБ) 2-й стадии имела место у 5 больных. В 38 наблюдениях развитию инфаркта миокарда предшествовали частые приступы стенокардии («прединфарктный период»). В анамнезе у 20 больных до появления инфаркта миокарда (ИМ) отмечалось нервное перенапряжение, у 10 - тяжёлая физическая нагрузка. Диагноз острого ИМ устанавливался на основании анализа данных анамнеза, клинической симптоматики, а также результатов лабораторных, ЭКГ - исследований в динамике. Определяли биохимические показатели, включая активность ферментов, уровень глюкозы, холестерина низкой и высокой плотности, мочевины, креатинина, мочевой кислоты, общий анализ крови. Проводили ЭКГ- и АД-мониторирование, ЭХОКГ. Из группы обследуемых исключались больные с осложнённым течением заболевания. В 1-й день болезни были госпитализированы 42 больных, на 2-й день-15 пациентов и 5 человек были госпитализированы на 4-5 дни болезни.

У всех больных имел место крупноочаговый ИМ. Локализация ИМ была следующая: у 14 больных ИМ локализовался в передней стенке, у 12- в задней (нижней) стенке и у 36 пациентов ИМ определялся в передней, задней, боковой стенках левого желудочка и в межжелудочковой перегородке. Приступ интенсивных болей за грудиной с типичной локализацией отмечали 52 больных. В одном

наблюдении боли локализовались в эпигастральной области и «симулировали» острый холецистит. У 6 больных имела место безболевого форма ИМ. У 8 пациентов был status asthmaticus. В остром периоде ИМ были обследованы 24 больных, в подостром периоде-20 пациентов, в периоде рубцевания - 13 человек. Больные получали терапию нитратами внутривенно и внутрь, анальгетиками, гепарином внутривенно в остром периоде, а в последующие периоды парентерально с переходом на дезагреганты (преимущественно - на аспирин). По показаниям при необходимости включали гормональные препараты, калий, мочегонные, антиаритмические средства. Суточный профиль электролитного обмена исследовали только у больных ИМ, которые не получали препараты, оказывающие влияние на электролитный баланс. Ниже приводятся данные по изучению динамики содержания калия, натрия в плазме, эритроцитах и моче в течение суток в остром, подостром периодах заболевания и в фазе рубцевания.

Забор крови и мочи проводили 4 раза в сутки: в 07.00; 12.00; 22.00; 02.00. Исследования проводили с помощью метода пламенной фотометрии. Полученную информацию анализировали методом вариационной статистики с использованием разностного метода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОСТРЫЙ ПЕРИОД ИНФАРКТА МИОКАРДА.

Среди обследуемых в остром периоде ИМ было 24 больных. Изучение суточной динамики уровня калия и натрия в эритроцитах, плазме и моче проводилось от 1 до 5 дней развития ИМ 4 раза в сутки. Рис 1,2,3

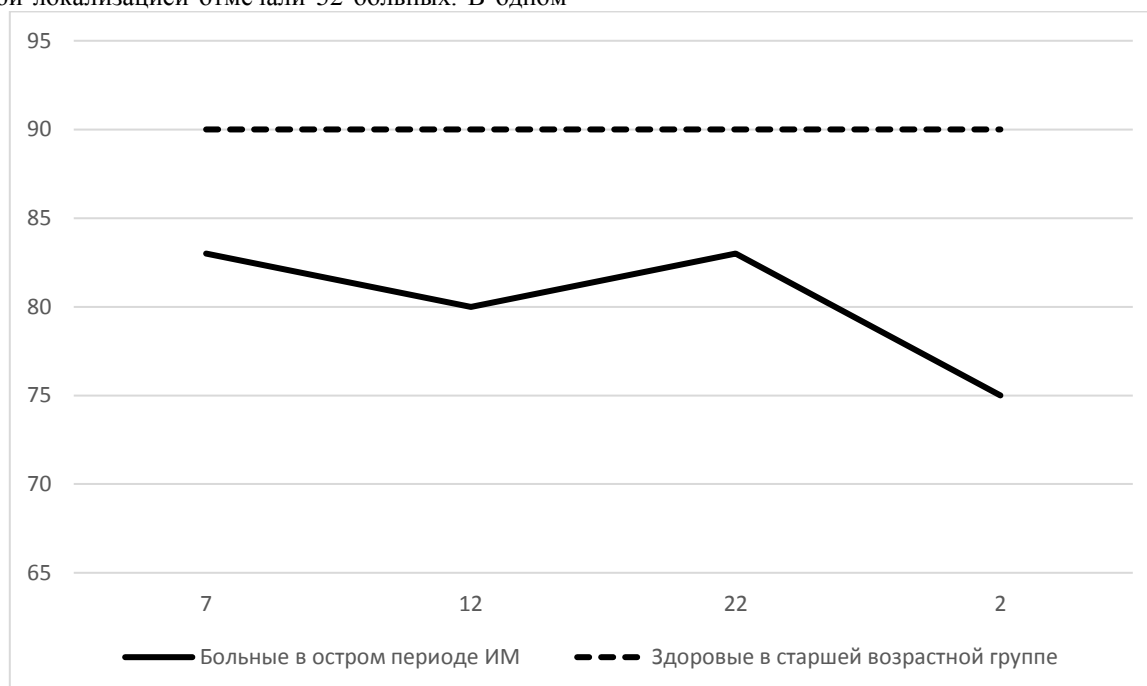


Рис. 1. Динамика уровня калия в эритроцитах в течении суток.

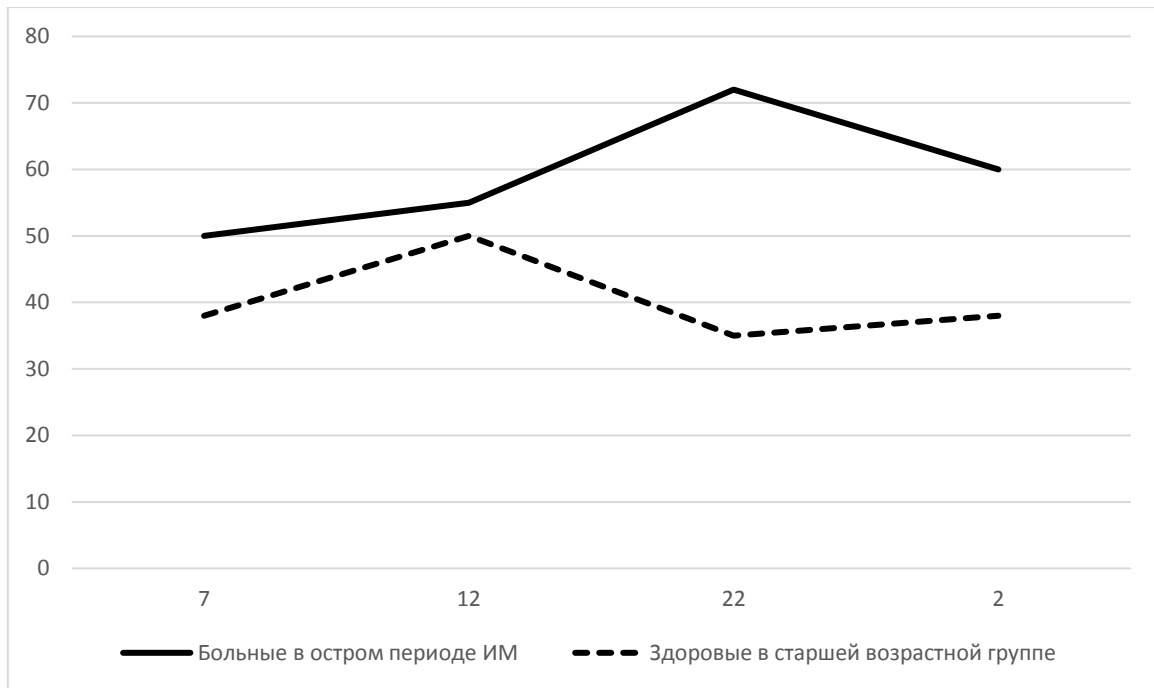


Рис. 2. Суточные колебания показателей калия в моче.

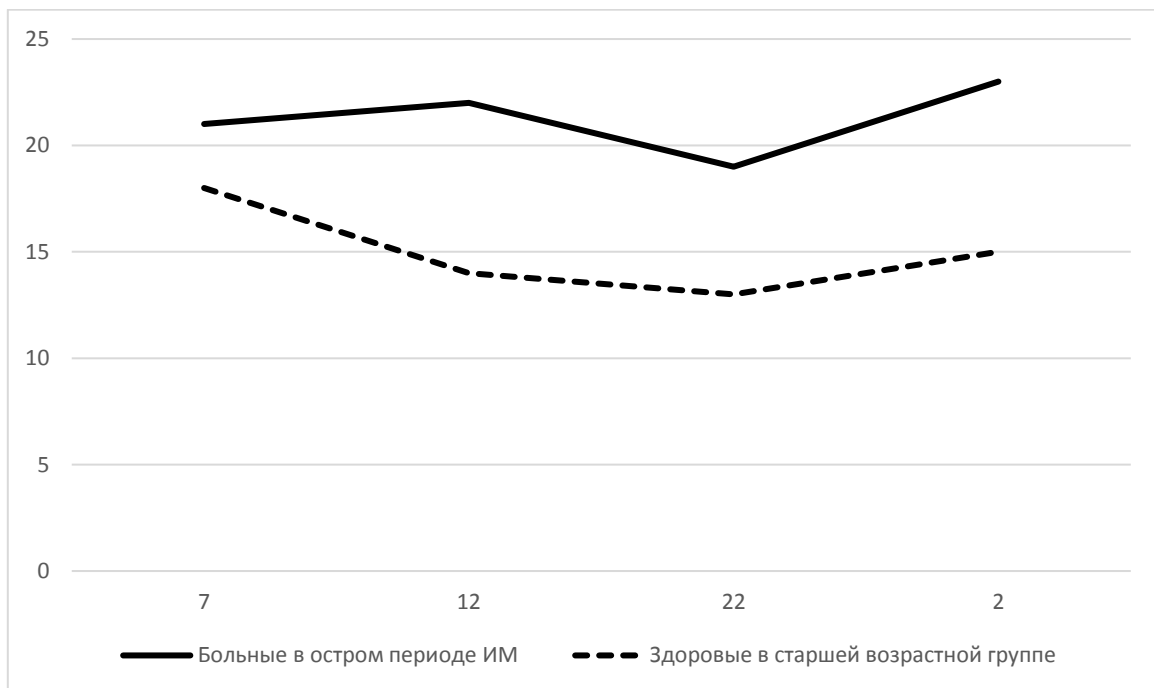


Рис.3. Суточные колебания показателей натрия в электролитах.

Полученные данные свидетельствовали о том, что в остром периоде ИМ содержание калия в плазме крови имело тенденцию к снижению в 12.00 и в 02.00. В 07.00 концентрация калия в плазме крови соответствовала уровню калия в плазме здоровых лиц старшей возрастной группы. Суточная динамика содержания калия в плазме больных в остром периоде ИМ несколько отличалась от таковой у здоровых людей старшей возрастной группы. Это проявлялось тенденцией к снижению уровня данного показателя в полдень и ночью у больных при достоверном снижении концентрации калия в плазме ночью у лиц контрольной группы соответствующего возраста. Уровень натрия в плазме

крови больных в острой фазе ИМ претерпевал существенные изменения на протяжении суток. Отмечалось постепенное повышение содержания натрия в плазме крови с его максимумом в 02.00.

У здоровых лиц соответствующего возраста суточная динамика уровня натрия была несущественной. При сравнении уровня натрия в плазме здоровых людей старшей возрастной группы и больных ИМ в остром периоде заболевания в 07.00 различие средних величин этого показателя было недостоверным. Снижение содержания калия в эритроцитах больных ИМ в остром периоде в 07.00 по сравнению с его уровнем у лиц контрольной

группы было достоверным (Pразн. <0,05). Обращало на себя внимание существенное снижение уровня калия в эритроцитах в 02.00 по отношению к его величине утром (Pразн<0,05). Суточная динамика концентрации калия в эритроцитах у больных в остром периоде ИМ отличалась от таковой у здоровых лиц соответствующего возраста. При стабильности концентрации калия в эритроцитах здоровых людей старшей возрастной группы у больных ИМ в остром периоде наблюдалось достоверное снижение его уровня в течение суток, особенно ночью. Если учесть, что исходный уровень калия в эритроцитах этих больных в 07.00 значительно ниже, чем у здоровых, станет совершенно очевидной внутриклеточная гипокалиемия на протяжении суток в особенности в ночные часы в остром периоде ИМ. Концентрация натрия в эритроцитах больных ИМ в остром периоде в 07.00 существенно не отличалась от таковой у лиц контрольной группы. Анализ данных по изучению суточной динамики уровня натрия в эритроцитах больных в остром периоде ИМ свидетельствует об его резком подъёме ночью. Таким образом, суточная динамика содержания натрия в эритроцитах у больных ИМ в остром периоде существенно изменялась по сравнению с суточным профилем этого показателя у здоровых лиц старшей возрастной группы.

Если у здоровых наблюдалось снижение уровня натрия в эритроцитах в полдень и вечером, то у больных в остром периоде ИМ отмечалось достоверное повышение концентрации натрия в эритроцитах в ночные часы. Концентрация калия в моче у больных ИМ в остром периоде в течение суток претерпевала существенные изменения в виде постепенного повышения её уровня с максимумом ночью. Из сравнительных данных видно, что суточная динамика концентрации калия в моче характеризуется значительным повышением его уровня в дневные часы в моче здоровых лиц, тогда как у больных в остром периоде ИМ он повышается вечером и ночью. Также обращало на себя внимание достоверное различие между уровнем в моче этих групп обследуемых, заключающееся в его существенном повышении у больных ИМ в 07.00 (Pразн<0,05). Колебания концентрации натрия в моче в течение суток по отношению к её величине в 07.00 были недостоверны. Однако, устанавливалась тенденция к повышению его уровня ночью, тогда как у лиц контрольной группы имело место существенное снижение содержания натрия в ночные часы. Уровень этого показателя у больных в остром периоде ИМ утром оказался ниже по сравнению с его величиной у здоровых лиц соответствующего возраста. (Pразн<0,01).

ПОДОСТРЫЙ ПЕРИОД ИНФАРКТА МИОКАРДА

Группу больных ИМ в подостром периоде составили 20 человек с длительностью процесса от 6-7 до 20-22 дней. Проведенные исследования показали наличие изменений суточного профиля содержания калия и натрия в плазме, эритроцитах и моче по сравнению со здоровыми.

У больных ИМ в подостром периоде отмечается тенденция к понижению содержанию калия в плазме в полдень. В утренние часы уровень калия в плазме не определялось различие у этих пациентов и здоровых. Однако, суточный профиль содержания калия в плазме у больных в подостром, остром периодах ИМ и здоровых соответствующего возраста был различен. Тогда как у здоровых отмечалось существенное снижение уровня калия в плазме ночью, у больных в подостром периоде ИМ определялась тенденция к его снижению в полдень, а у обследуемых больных в остром периоде ИМ отмечалась тенденция к уменьшению концентрации калия в плазме в полдень и ночью. Содержание натрия в плазме больных ИМ в подостром периоде на протяжении суток существенных изменений не претерпевало. Различие содержания у больных между уровнем натрия в плазме у больных и здоровых было установлено. Таким образом, различие в подостром периоде ИМ и здоровых утром было достоверным в связи с повышением его содержания у больных. У больных в подостром периоде также, как и у здоровых соответствующего возраста отсутствует суточная динамика уровня натрия в плазме, что отличало эти группы от больных ИМ в остром периоде.

Как было отмечено выше, у больных ИМ в остром периоде имело место достоверное повышение содержания натрия в плазме в ночные часы. Уровень калия в эритроцитах у больных ИМ в подостром периоде утром составил 84.10 ± 1.67 мэкв/л. Различие средних величин концентрации калия в эритроцитах здоровых и больных ИМ в подостром периоде было достоверным в связи с существенным снижением уровня этого показателя у больных в утренние часы. (Pразн<0,02). Ночью содержание калия в эритроцитах достоверно понижается в подостром периоде по сравнению с его уровнем в 07.00 (Pразн<0,01). Изменения уровня калия в эритроцитах в 12.00 и 22.00 были незначительными. Результаты исследований свидетельствуют о принципиальном сходстве суточной динамики содержания калия в эритроцитах у больных в подостром и остром периодах ИМ и её отличие по сравнению с суточной динамикой у здоровых., у которых наблюдаются незначительные суточные колебания уровня калия в эритроцитах. Содержание натрия в эритроцитах у больных ИМ в подостром периоде утром было равно 17.59 ± 1.35 мэкв/л. В 22.00; 02.00 концентрация натрия в эритроцитах в подостром периоде постепенно нарастала, достигая максимума в ночные часы и составляя соответственно в среднем 19.04 ± 1.471 мэкв/л; 20.65 ± 1.04 мэкв/л. Из этих данных видна тенденция к повышению уровня натрия в эритроцитах в ночное время. Анализ результатов этих данных свидетельствует о некотором сходстве суточного профиля концентрации натрия в эритроцитах больных ИМ в остром и подостром периодах и его существенном отличии от суточной динамики этого показателя у здоровых. Если у здоровых содержание натрия в эритроцитах снижалось днём и вечером, то у больных ИМ в по-

достром периоде отмечалась тенденция. а у больных в остром периоде устанавливался резкий подъём его уровня ночью. Концентрация калия в моче больных в подостром периоде ИМ нарастала существенно в полдень ($P_{\text{разн}} < 0,05$). Отмечается сходство суточной динамики содержания калия в моче больных в подостром и остром периодах ИМ. У здоровых определялось существенное отличие её от таковой у больных в остром периоде ИМ. Эти явления обнаруживают иной профиль экскреции с мочой, обусловленный существенным повышением содержания калия в моче в вечерние и ночные часы. Концентрация натрия в моче у больных ИМ в подостром периоде в 07.00 составляла $119,84 \pm 8,26$ мэкв/л. Эта величина оказалась значимо ниже уровня натрия в моче у здоровых лиц в 07.00 ($P_{\text{разн}} < 0,05$). В дальнейшем в подостром периоде отмечалась двухфазность изменений концентрации натрия в моче в виде тенденции к её понижению в полдень и повышению ночью ($P_{\text{разн}} < 0,1$). Было установлено различие между суточной динамикой уровня натрия в моче больных в подостром, остром периодах ИМ и здоровых. Если у здоровых наблюдалось достоверное снижение уровня натрия в моче ночью, то у больных ИМ в подостром и остром периодах имела место тенденция к повышению его уровня в ночное время

ПЕРИОД РУБЦЕВАНИЯ ИНФАРКТА МИОКАРДА

Изучение суточного профиля показателей электролитного обмена в периоде рубцевания ИМ проводили в группе 18 больных с давностью ИМ от 20 до 50 дней позволило выявить тенденцию к нормализации суточного профиля уровня калия и натрия в стадии рубцевания ИМ.

Содержание калия в плазме у больных ИМ в периоде рубцевания в 07.00 в среднем составило $4,64 \pm 0,09$ мэкв/л. В дальнейшем отмечалось постепенное снижение величины этого показателя при минимальном значении его ночью ($P_{\text{разн}} < 0,05$). Отмечалась тенденция средних величин калия в эритроцитах в полдень к повышению в периоде рубцевания. Результаты серии этих исследований свидетельствуют о сходстве суточной динамики содержания калия в эритроцитах больных ИМ в периоде рубцевания с таковой у здоровых и отличии профиля суточного уровня калия в эритроцитах в остром и подостром периодах ИМ. Это различие заключалось в том, что у последних содержание калия в эритроцитах существенно снижалось в ночные часы. Уровень натрия в эритроцитах у больных ИМ в периоде рубцевания был относительно стабилен, тогда как у здоровых отмечалось существенное снижение его в полдень и вечером. В отличие от этих групп обследуемых у больных в остром периоде значимо возрастала концентрация натрия в эритроцитах ночью, а в подостром периоде ИМ имела тенденция к её повышению ночью. Концентрация калия в моче в полдень по сравнению с величиной этого показателя в 07.00 достоверно возросла ($P_{\text{разн}} < 0,05$). Различие средних величин содержания калия в моче в 07.00 у больных ИМ в

периоде рубцевания и здоровых оказалось недостоверным.

Из этих данных видно сходство суточной динамики концентрации калия в моче больных ИМ в периоде рубцевания с его профилем у здоровых в течение суток и в подостром периоде ИМ. Обнаруживается существенное отличие с уточной динамики содержания калия в моче в периоде рубцевания от такового у больных в остром периоде ИМ, заключающегося в его существенном увеличении в вечерние и ночные часы в остром периоде. Концентрация натрия в моче больных в периоде рубцевания ИМ в 07.00 составила $132,75 \pm 8,82$ мэкв/л. В дальнейшем на протяжении суток колебания уровня этого показателя были незначительными. Также недостоверными оказались различия средних величин концентрации натрия в моче в периоде рубцевания ИМ и у здоровых от 07.00 до 22.00. Представленные данные свидетельствуют о незначительных отличиях суточной динамики уровня натрия в моче больных ИМ в периоде рубцевания и остром, подостром периодах заболевания. Они заключались в тенденции к росту концентрации натрия в моче ночью у больных в остром и подостром периодах при недостоверном изменении в периоде рубцевания. У здоровых лиц в отличие от больных ИМ указанных групп больных отмечалось существенное снижение уровня натрия в моче ночью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Таким образом, результаты наших исследований позволяют отметить изменения суточной динамики показателей обмена калия и натрия у больных ИМ в разные периоды заболевания по сравнению с таковой у здоровых. Это проявилось существенным снижением уровня калия и повышением концентрации натрия в эритроцитах ночью у больных в остром и подостром периодах. Уровень натрия в плазме в остром периоде значимо возрастал ночью. Напротив, у здоровых на фоне стабильного содержания калия в эритроцитах и уровня натрия в плазме в течение суток было установлено достоверное снижение концентрации натрия в эритроцитах днём и вечером и содержания калия в плазме ночью. Если содержание в моче калия больных ИМ в остром периоде существенно повышалась вечером и ночью, то у больных в подостром периоде и в фазе рубцевания и у здоровых достоверный рост уровня калия в моче наблюдался днём. Указанные изменения профилей параметров электролитного обмена (калия и натрия) у больных ИМ в остром и подостром периодах являются неблагоприятными. Существенное снижение уровня калия и нарастание содержания натрия в эритроцитах больных в остром и подостром периодах ИМ ночью при нарастании содержания калия в моче в остром периоде вечером и ночью может свидетельствовать о падении уровня внутриклеточного калия и нарастании внутриклеточного натрия, в частности, в миокардиальных волокнах ночью. Указанные сдвиги баланса калия и натрия создают реальную угрозу развития нарушений сердечного ритма в ночное

время. Это положение может диктовать необходимость усиления терапии препаратами калия, а также веществами, активно влияющими на баланс калия и натрия больных ИМ в остром и подостром периодах заболевания в вечерние и ночные часы. Принимая во внимание факт о выраженной активности симпатoadrenalовой системы и повышении секреции альдостерона надпочечниками у больных острым ИМ, следует учитывать влияние этих процессов на минеральный, электролитный обмен в организме, в частности в сердечной мышце (Малая Л.Т., 1973; Софиева И.Э., 1965). Накопление в ней натрия и дефицит калия могут приводить к снижению сократительных свойств миокарда, способствовать развитию сердечно-сосудистой недостаточности и нарушению ритма сердечной деятельности (Бровкович Э.Л., 1973; Ганкин И.М., Шульман В.А., 1973). В этой связи, по-видимому, следует рассматривать повышение уровня натрия и понижение содержания калия в эритроцитах, рост экскреции калия в моче в вечерние и ночные часы в остром и отчасти в подостром периодах ИМ как чрезвычайно неблагоприятные нарушения электролитного баланса.

Список литературы

1. Ганкин И.М., Шульман В.А. - Электролитный обмен и аритмии в первые сутки инфаркта миокарда // Тез. докл. 2 Всесоюз. съезда кардиологов. М.-1975.-с. 71.
2. Бровкович Э.Л. - К патогенезу мерцательной аритмии при ИБС // Тез. докл. 2 Всесоюз. съезда кардиологов. // М.-1975 Т.1.-с.262-263.
3. Малая Л.Т. - Нейро-гуморальные аспекты инфаркта миокарда и его осложнений. // Тез. докл. 2 Всесоюз. съезда кардиологов.М.-1975.-с.97-99.
4. Софиева И.Э. - Выделение катехоламинов с мочой у больных инфарктом миокарда // Терап. архив.-1965.- Т.7.
5. Струков А.И. - Некоторые вопросы учения об ишемической болезни сердца // Тез. докл. 2 Всесоюз. съезда кардиологов. М.-1975.-с.47-49
6. Халфен Э.И. - Ишемическая болезнь сердца // М.-1962.
7. Чазов Е.И. - Инфаркт миокарда // М. – Медицина.-1971

PHILOLOGICAL SCIENCES

УДК 398.222(512.122)

ЖАНР КАЗАХСКОЙ ЛЕГЕНДЫ В СОВРЕМЕННОМ ФОЛЬКЛОРЕ

Леонтьева А. Ю.,

кандидат филологических наук, доцент Некоммерческого акционерного общества «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», г. Петропавловск

Махмутов А.С.,

студент Некоммерческого акционерного общества «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», г. Петропавловск

Утеш А. Б.

студентка Некоммерческого акционерного общества «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», г. Петропавловск

GENRE OF THE KAZAKH LEGEND IN MODERN FOLKLORE

Leontyeva A.,

Candidate of Philology, assistant professor, Non-profit limited company "Manash Kozybayev North Kazakhstan university", Petropavlovsk

Makhmutov A.,

student, Non-profit limited company "Manash Kozybayev North Kazakhstan university", Petropavlovsk

Utesh A.

student, Non-profit limited company "Manash Kozybayev North Kazakhstan university", Petropavlovsk

Аннотация:

В данной статье рассмотрено современное понимание жанра казахской легенды, его классификация и условия бытования в Республике Казахстан. Сопоставляется определение казахской и российской легенды, отмечаются такие общие типологические признаки, как установка на религиозное чудо, связь с монотеистической религией, фантастика как средство объяснения реальности, дидактичность, народное осмысление религиозных ценностей. В качестве национального своеобразия жанра отмечается исламская аксиология, сближение с топонимическими и ландшафтологическими преданиями, семантическое расширение границ термина. Материалом анализа служат записанные студентами казахские легенды, связанные с сакральной географией Республики Казахстан.

Abstract:

This article discusses the modern understanding of the genre of the Kazakh legend, its classification and conditions of existence in the Republic of Kazakhstan. The definition of the Kazakh and Russian legends is compared, such common typological signs are noted, such as an attitude towards a religious miracle, a connection with a monotheistic religion, fiction as a means of explaining reality, didacticism, and popular understanding of religious values. Islamic axiology, rapprochement with toponymic and landscape legends, semantic expansion of the boundaries of the term are noted as the national originality of the genre. The material of the analysis is the Kazakh legends recorded by students, connected with the sacred geography of the Republic of Kazakhstan.

Ключевые слова: жанр, казахская легенда, несказочная проза, сакральная география, фольклор.

Keywords: genre, Kazakh legend, non-tale prose, sacred geography, folklore.

Республика Казахстан – современное многонациональное и поликонфессиональное государство, где в гармонии, единстве и взаимоуважении живут представители более 100 разных национальностей, исповедующие разные религии. Межэтническое и межконфессиональное равноправие обусловило формирование новой исторической общности – народа Казахстана. Наиболее многочисленные этносы страны – титульная нация (казахи) и русские. Многовековой опыт добрососедских отношений, совместное проживание на единой территории мотивируют активный культурный диалог казахов и русских. На современном этапе межэтническому взаимодействию способствует государственная

программа триединства языков. Концепция трёхязычия в Республике Казахстан создаёт условия для изучения государственного казахского языка, русского как языка межнационального общения, официально употребляемого в государственных организациях и учреждениях наряду с казахским, и английского как мирового языка промышленности и науки. Современные молодые казахстанцы свободно владеют государственным и русским языками, поэтому многие фольклорные произведения бытуют на двух языках. Программа трёхязычия способствует углублённому культурному диалогу, в том числе – на уровне устного народного творчества.

Мы рассматриваем жанр казахской легенды в составе несказочной прозы казахстанского фольклора. Значение несказочной прозы в современном народном творчестве Казахстана трудно переоценить, так как именно в ней отражаются динамичные процессы национальной ментальности, аксиологические особенности, сакральная география страны, межэтнический диалог. На современном этапе бытования словесного фольклора наблюдается плотное взаимодействие русского и казахского народного творчества. Кроме того, региональные сюжеты становятся общим достоянием в связи с активной миграцией студенческой молодёжи: выигрывая грант на обучение, вчерашние выпускники средних школ переезжают из южных регионов в Северо-Казахстанскую область, северяне поступают в вузы Алматы. Развитие цифровизации, совершенствование средств связи позволяет выходцам из Туркестанской области на юге республики, обучающимся в Северо-Казахстанском университете имени Манаша Козыбаева, общаться с земляками, собирать и записывать произведения устного народного творчества точно так же, как это делают североказахстанцы. Только местные жители занимаются собиранием произведений устного народного творчества традиционно, общаясь с родственниками и односельчанами, а представители южных регионов страны – дистанционно. Сегодняшние студенты обмениваются зафиксированной информацией, делятся сюжетами несказочной прозы, делая их всеобщим достоянием. Подобные связи, культурный взаимообмен органично включают студентов специальности «Русский язык и литература» НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева» в реализацию программы «Туған ел» в контексте сохранения духовного наследия общей Родины – Республики Казахстан.

Собиратели представленных в исследовании казахских легенд, А.Б. Утеш и А.С. Махмутов, – представители титульной нации, владеющие тремя языками. А.Б. Утеш из села Жанадала (Жанадала) Жетысайского района Туркестанской области (юг Казахстана), А.С. Махмутов – из села Большая Малышка Кызылжарского района Северо-Казахстанской области. Оба получают высшее образование по программе бакалавриата 6В01702 – «Русский язык и литература» в Северо-Казахстанском университете имени Манаша Козыбаева. А.Б. Утеш общается с информантом дистанционно, на казахском языке, А.С. Махмутов – очно, имея возможность приехать домой. Ему сюжет легенды рассказан на русском языке. При этом и собиратели, и информанты употребляют термин «легенда». Как видим, жанр казахской легенды выступает примером межъязыкового и межэтнического взаимодействия. Следовательно, перед нами стоит задача атрибутировать дефиницию казахской легенды.

Для корректной атрибуции значения термина необходимо обратиться к лексическому значению понятия «легенда» в казахском языке. «Большой казахско-русский русско-казахский словарь» Қ.Б. Бектаева включает лексику «аңыз» -

«быль; легенда; предание» [2, с. 49]. Уточнение «аңыз-әңгіме» конкретизирует его семантику: «быль; предание; сказание»; «аңыз болған» и «аңыз болып кеткен» означают «легендарный; ставший легендой» [2, с. 49]. В русско-казахском разделе «легенда» переводится только как «аңыз»; «легендарный» имеет вариант «аңызға айналған», «предание» - «әфсана» [2, с. 567, 613]. С.А. Қасқабасов, один из ведущих фольклористов, обращается к лингвистическому анализу терминов казахской несказочной прозы: «В работах учёных тюркских республик имеется и сходство и различие точек зрения, обусловленное их национальными особенностями. <...> Например, для обозначения предания используются два слова: риваят и аңыз. Легенда названа словами: легенда, эпсана, эпсана-хикаят» [3, с. 217]. Информант Роза Туребековна Спанова (см. № I в «Списке информантов»), рассказавшая легенду на казахском языке, использует понятие «аңыз» - «Қазығұрт тауы туралы аңыз». В переводе на русский язык, проделанном собирателем А.Б. Утеш, - «Легенда о горе Казығұрт». Сеилхан Махмутович Серикбаев (см. № II в «Списке информантов»), поведавший «Быль о Канарбай-ата» на русском языке, использует понятия «легенда» и «быль», подчёркивая установку на достоверность сюжета несказочной прозы. Термин «легенда» используют оба собирателя для жанровой характеристики сюжетов.

Культурный диалог этносов Казахстана порождает интересный научный результат. Российские учёные дифференцируют легенду и предание, опираясь на словарное значение терминов, как В.Я. Пропп: «Средневековое латинское “legenda” обозначало “то, что подлежит чтению”, т.е. отрывки из житий, читаемые на богослужениях или во время монастырских трапез» [6, с. 269]. Он чётко разграничивает книжную и фольклорную легенду: «Под “легендой” в науке о фольклоре может пониматься только “устная” легенда, а не “письменная”» [6, с. 271]. Фольклорист предлагает следующую дефиницию жанра: «Народная легенда есть прозаический художественный рассказ, обращающийся в народе, содержание которого прямо или косвенно связано с господствующей религией», «с религией единобожеской, каковой в Европе является христианство» [6, с. 271]. По В.П. Аникину, легенды – «рассказы с выражением христианских понятий и представлений», где присутствует фантастика [1, с. 294]. Главное в них – «утверждение морально-этических норм христианства или идей, возникших под влиянием воодушевлённого отношения к вере, хотя и понимаемой на мирской, житейский, обыденный лад» [1, с. 295]. Учёный считает религиозную основу важнейшим типологическим признаком: «Легенда всегда основывается на христианском мировосприятии, <...> свободных от христианской веры легенд не существует» [1, с. 296]. Христос и святые «творят чудеса во славу бедного и страждущего и на погибель богатых, корыстных, жадных» [1, с. 298]. В основе жанра, т.о., - установка на христианское чудо. Отличие предания от легенды В.Я. Пропп видит в том, что «предание имеет целью

ознакомить с прошлым, легенда стремится к нравоучительности» [6, с. 89]. В.П. Аникин утверждает, что «в преданиях говорят о достоверных событиях истории, деяниях реально живших людей, происхождении названий городов, сёл, урочищ, курганов и пр. Предание даёт пояснение событиям и фактам» [1, с. 271]. Предлагает дифференцировать легенду и предание в рамках казахской несказочной прозы и С.А. Қасқабасов: «... в казахском фольклоре предание и легенда являют собою два самостоятельных жанра, отличающихся друг от друга рядом особенностей, и в первую очередь отношением к действительности и степени художественности. Существенные различия заключает в себе следующий момент: в какой степени представлены и проявляют себя в этих жанрах правда, вымысел и чудесное. А это определяется, как известно, функцией жанра, т.е. тем, в каких целях рассказывается то или иное произведение фольклора. В отличие от предания, которое рассказывается для того, чтобы сообщить какой-либо факт или событие из народной истории и тем самым дать слушателю некую информацию или же определённое знание, целевое назначение легенды совсем иное. Она рассказывается для того, чтобы воздействовать на слушателя и тем самым дать ему поучение. Поэтому легенда более художественно оформлена, её главные герои – это уже художественные образы» [3, с. 362].

Советские (российские) и казахстанские фольклористы подчёркивают транспозицию жанров. В.Я. Пропп приходит к заключению: «... в отдельных случаях между сказками и легендами трудно установить границу» [6, с. 34]. Наблюдение В.Я. Проппа подтверждает В.П. Аникин: «... легенды часто сближаются с бытовыми сказками» [1, с. 298]. Он рассматривает транспозицию несказочной прозы в аспекте исторических изменений установки на достоверность: «... в науке предпринимались попытки проследить появление у преданий более широких масштабов в обобщениях, в вымысле, когда они удалялись от времени, их породившего. Речь порой шла о “перерождении” жанра – переходе в иные жанры. Такие переходы возникали при утрате исторической достоверности рассказа и “объяснительного начала”, которое обязательно для предания» [1, с. 283]. С.А. Қасқабасов даёт алгоритм транспозиции на основе исторического изменения функций и характера вымысла: «Возникшие ранее меморат или предание со временем, в результате фольклорной циклизации в процессе устного бытования и распространения, могут превратиться в легенду, где прежнее реальное событие тускнеет, в него вмешивается вымысел, чудесное начинает доминировать, и произведение постепенно приобретает некую художественность. <...> легенда не всегда развивается из мемората или предания... Она может возникнуть и самостоятельно, опираясь на чудесное и фантастику, т.е. путём вымысла» [3, с. 235].

Казахстанские учёные расширяют границы термина «легенда». По версии А.М. Цветковой, «религиозный (христианский) характер легенды не всегда является главным её жанровым признаком»

[8, с. 88]. Исследовательница предлагает определить легенды, бытующей в Казахстане, среди представителей всех этносов: «Основными критериями выделения жанра в фольклоре являются содержание, форма и функция. На этом основании легенду можно определить как устный прозаический рассказ назидательного характера с элементами чудесного, вымышленного, которое подаётся с установкой на достоверность» [7]. Классифицируя легенды Казахстана, А.М. Цветкова выделяет «топонимические, этиологические и религиозные» [7]. С.А. Қасқабасов предлагает разграничивать этиологические предания и легенды, т.к., по его мнению, «в легенде больше элементов чудесного», есть «некоторая религиозность, а чудесное используется целенаправленно, как художественный приём» [4, с. 221].

Учёный выдвигает свою дефиницию термина «легенда» и предлагает свою классификацию разновидностей жанра: «... легендой мы называем такие произведения несказочной прозы, в которых: а) в несколько поэтической форме излагаются воспоминания об отдельных, давно забытых или потускневших событиях, связанных с именами людей, живших в прошлом; б) художественно разрабатываются вымышленные или заимствованные из религиозных или других источников сюжеты. По тематике, сюжетному составу и идейно-художественному содержанию казахские легенды условно подразделяются нами на историко-топонимические (тарихи-мекендік), религиозно-книжные (кітабидіні) и социально-утопические (элеуметтік-утопиялық)» [3, с. 361]. С.А. Қасқабасов объединяет в жанровых границах казахской легенды тематические группы: рассказы «о давно минувших событиях и людях, живших в далёком прошлом. Эти рассказы возникли... в древности как предания, но со временем они превратились в легенды». Затем – «история какой-либо местности, урочища, озера и т.п. Сюжеты их далеки от реального факта и разрабатываются преимущественно на основе вымысла». Наиболее близка традиционной фольклористике группа рассказов, разрабатывающая «библейско-коранические и другие книжные сюжеты религиозного характера» [3, с. 361]. Указание на библейско-коранические книжные сюжеты акцентирует соотнесённость третьей группы казахских легенд с монотеистической религией – исламом, который по-своему переосмысливает библейские сюжеты и включает в культовую парадигму святых христианского генезиса.

Мы придерживаемся традиционной точки зрения и определяем казахскую легенду как религиозно-дидактический жанр несказочной прозы с установкой на достоверное восприятие исполнителями и слушателями сюжетной категории мусульманского чуда. Религиозное чудо в казахской легенде может иметь переосмысленную христианскую основу, явную ориентацию на библейско-кораническое происхождение, Своеобразием казахской легенды как жанра мы полагаем сближение с жанровыми разновидностями топонимического,

ландшафтологического или исторического предания, объясняющими происхождение названий, структуру ландшафта, характеризующими исторические события или исторических деятелей в контексте сакральной аксиологии. Чудо – имманентное явление фантастического, воспринимаемого как реальность. Классификация казахских легенд ещё ждёт своей научной интерпретации, но мы выделяем сюжеты о святых праведниках («Быль о Канарбай-ата») и святых местах, входящих в комплекс сакральной географии Казахстана и всего тюркско-исламского мира («Легенда о горе Казыгурт», «Быль о Канарбай-ата»).

Собирателями современного фольклора Республики Казахстан А.Б. Утеш и А.С. Махмутовым записаны легенды о святых местах – горе Казыгурт в Южно-Казахстанской области и Канарбай-ата в пустыне Кызылкум. Показателен тот факт, что информантами выступают кровные родственники собирателей: о Казыгурте студентке А.Б. Утеш повела мать, Роза Туребековна Спанова; о Канарбай-ата студенту А.С. Махмутову повел отец, Сеилхан Махмутович Серикбаев. Следовательно, казахские легенды, в которых разворачивается сакральная география страны и тюркско-исламского мира, сохраняются в семьях как национально-кровная ценность, передаются от предков к потомкам, осуществляя живую связь времён.

Легенда о горе Казыгурт, рассказанная Р.Т. Спановой и записанная её дочерью А.Б. Утеш, связана с легендой о Всемирном потопе, поэтому она, по словам Н.Ж. Мынбаева, «... затрагивает основы мировоззрения и выходит на решение этнополитических и культурологических проблем казахского народа» [5, с. 61]. Действительно, в казахской легенде упоминается пророк Нух, переосмысленный образ библейского Ноя, присутствует топоним священной горы, к которой пристаёт корабль праведника: «Сюжет легенды о Всемирном потопе известен в религиозной литературе и в фольклоре разных народов мира с древнейших времен. Вспомним хотя бы древнешумерскую поэму о Гильгамеше. Шумеры, как предполагают, мигрировали к берегам реки Тигра и Евфрата из азиатских просторов, а О. Сулейменов высказал гипотезу даже о их тюркском происхождении. По легенде о Всемирном потопе и спасателе рода человеческого, пророк Ной спасает праведных от потопа. С соизволения Всевышнего он построил ковчег и взял в свой корабль только верующих в Бога людей. Наибольшее распространение получили два варианта этой легенды: христианский, по которой Ноев ковчег остался на горе Арарат в Армении; другой – исламский, согласно ему ковчег находит пристанище на горе Джуди в Аравии» [5, с. 62]. В народном варианте казахской легенды «ковчег Ноя пристаёт к горе Казыгурт» [5, с. 62]. Как отмечает Н.Ж. Мынбаев, «на вершине горы Казыгурт есть углубление, напоминающее след причала корабля на грунте. Это место и населенный пункт поблизости называется: Кеме қалған “Корабль остался”» [5, с. 62]. В сюжете записанной А.Б. Утеш легенды вариант особенной

формы вершины объясняется столкновением с недовольными выбором Творца более высокими горами. Здесь можно наблюдать имманентную казахской легенде связь с ландшафтологическим преданием. Казыгурт, как видим, в казахском варианте легенды о Всемирном потопе выполняет функцию кавказского Арарата. Кроме того, в казахской легенде, как и в библейской, появляется священная птица казахов, только не голубь, а ласточка, принесшая весть о суше, на которой можно поселиться. Интересно показано исчисление времени - используется трехкратный сказочно-мифологический повтор священного числа «семь»: «Через семь месяцев, семь дней и семь часов после начала потопа ковчег приплыл к горе Казыгурт» [1].

Дидактизм казахской легенды в интерпретации Р.Т. Спановой обусловлен скромностью, угодной Аллаху, и мотивом наказания высоких гор за излишнее высокомерие:

Қазығұрт тауы туралы аңыз

«Дүниежүзілік су тасқыны туралы жердегі барлық халықтардың аңызы бар. Қазақ аңызында Нұх пайғамбар бастаған 80 әділ адамы бар кеме шексіз толқын бойымен жүргенін айтады. Су тасқыны басталғаннан кейін жеті ай, жеті күн және жеті сағаттан кейін кеме Қазығұрт тауына (биіктігі 1768 метр, қазіргі Түркістан аймағы) қарай жүзді.

Саяхат кезінде Нух пайғамбар Жаратушыға қорғансыз адамдар мен жануарларды құтқару үшін дұға етеді. Тасқынның боранды толқынының үстінде орналасқан биік таулар кеме өздеріне жабысып қалатынына менмендікпен сенді, тек Қазығұрт тауы бұл туралы армандауға батылы бармады, өйткені ол басқа таулардан ерекшеленбейтінін түсінді.

Жаратушы таудың қарапайымдылығын көріп, су тасқыны Қазығұрт шыңын жасыруға рұқсат бермеді, ал кеме оған ілініп тұрды.

Биік және тәкаппар таулар тауды жазалауды шешті, бірақ ол Ордабасы, Қызылсеңгір, Әлімтау, Қойлық, Әнкі, Бағаналы, Мансар және Қаңырақ шағын тауларын көмекке шақырды. Күшті қарсыластар бұл одақтан қорқып, Қазығұрт жотасына символикалық соққылармен шектелді. Сөйтіп, Қазығұрт тауында ойықтар мен ойпаттар пайда болып, ол екі өркешті түйеге ұқсайды.

Алдымен адамдар жаһандық су тасқыны суларының кетіп қалғанын, жаңартылған жерде өмір сүруге болатынын білу үшін кемеден бірнеше құстарды шығарды. Көптеген құстар ұшып кетті және қайтып оралмады, тек қарлығаш тұмсығында жасыл бұтақты көтеріп кері қайтты. Содан бері қарлығаш қазақ арасында ерекше құрметтелетін құс болды. Қазақ ертегілерінде қарлығаш тек жақсылық жасайды.

Адамдар Қазығұрт тауына қонды және онда өмір сүрді. Ежелгі “Қорқыт атамның кітабында”: “Қазығұрт басында кеме қалды, себебі ол - қасиетті тау...”» [1].

Перевод на русский язык принадлежит А.Б. Утеш, записавшей казахскую легенду со слов матери, Р.Т. Спановой:

Легенда о горе Казыгурт

«Почти у всех народов земли есть легенда о всемирном потопе. В казахской легенде рассказывается, что ковчег с 80 праведниками, во главе которых был пророк Нух, носился по безбрежным волнам. Через семь месяцев, семь дней и семь часов после начала потопа ковчег приплыл к горе Казыгурт (высота 1768 метров, район современного Туркестана).

Во время плавания пророк Нух обращался к Творцу с молитвами о спасении беззащитных людей и животных. Высокие горы, возвышавшиеся над бурными волнами потопа, надменно считали, что ковчег пристанет именно к ним, и только скромная гора Казыгурт не смела мечтать об этом, ибо понимала, что она ничем не выделяется среди других гор.

Творец, увидев скромность горы, не позволил водам потопа скрыть вершину Казыгурта, и ковчег причалил к ней.

Высокие и надменные горы решили наказать гору, но она призвала на помощь малые горы Ордабасы, Кызылсенгир, Алимтау, Койлык, Анки, Баганалы, Мансар и Канырак. Могучие противники испугались этого союза и ограничились символическими ударами по хребту Казыгурта. Так образовались ложбины и впадины на горе Казыгурт, и она стала похожа на двугорбого верблюда.

Люди выпустили сначала несколько птиц из ковчега, чтобы те разузнали - ушли ли воды всемирного потопа, можно ли жить на обновлённой земле. Многие птицы улетели и не вернулись, и только ласточка прилетела назад, неся в клюве зеленую веточку. С тех пор ласточка - особо почитаемая у казахов птица. В казахских сказках ласточка совершает только добрые дела.

Люди высадились на горе Казыгурт и остались на ней жить. В древней «Книге моего деда Коркута» сказано: «На вершине Казыгурт остался корабль, потому что священная это гора...» [1].

Ссылка информанта на переосмысленный исламско-библейский сюжет и пророчество из «Книги моего деда Коркута», с одной стороны, акцентирует письменное происхождение жанра казахской легенды. С другой стороны, «Книга моего деда Коркута» - сборник песен героического эпоса огузов, дальних этнических предков многих тюркских народов, в том числе, - казахов. Как отмечает В.М. Жирмунский в исследовании «Огузский героический эпос и «Книга Коркута»», «... в современном казахском фольклоре святой Коркут – первый баксы (шаман), учитель и покровитель баксы» [7, с. 149-150]. Коркут – создатель кобыза, священного музыкального инструмента, под звуки которого он творит свои пророчества: «Пришёл мой дед Коркут, заиграл радостную песнь, сложил песнь, сказал слово, рассказал, что случилось с борцами за веру. <...> Я дам предсказание, хан мой: твои чёрные горы да не сокрушатся; твоё тенистое дерево да не будет срублено...» [7, с. 48]. В.М. Жирмунский подчёркивает значимость образа Коркута для прак-

тики предсказаний казахских шаманов: «В заклинаниях казахских баксы, исполняемых ими во время магических сеансов под аккомпанемент кобыза, с целью изгнания злых духов или предсказания будущего, наряду с именами богов шаманской религии, мусульманских святых, предков народа и героев призывается обычно и «святой Коркут-ата»» [7, с. 168]. В эпических песнях Коркут завершает предсказание молитвой и воззванием к Пророку: «Да соеденится в одно (наша молитва), да стоит твёрдо; да будут прощены твои грехи ради лика Мухаммеда избранного, чьё имя славно, хан мой!» [7, с. 49]. Упоминание «Книги моего деда Коркута» информантом в финале казахской легенды устанавливает связь с мифологической словесной традицией баксы.

Жанровое своеобразие казахской легенды в исполнении Р.Т. Спановой заключается в близости сюжета, основанного на традиции монотеистической религии, более архаичной мифологии, тем более, сюжет связан со священной горой. Форма Казыгурта с ложбинами и впадинами, напоминающими двугорбого верблюда, актуализирует сближение легенды с ландшафтологическим преданием, объясняющим специфику горного рельефа. Казыгурт включается в сакральную географию Казахстана, причём верблюд, на которого похожа форма горы, «в понимании казахского народа – священное животное, из шерсти верблюда нельзя вязать и носить носки. В Казыгуртском районе есть экклезионим, связанный с верблюдоводством: недалеко от пос. Қара төбе - Ақ бура находится место поклонения, родник и ручей, которые также считаются священными» [5, с. 63]. Ақ бура переводится на русский язык как Белый верблюд. А.М. Цветкова подчёркивает: «Мифологические сюжеты, объясняющие необычную форму гор, отражают историческое прошлое народа, расцветившее народной фантазией» [8, с. 92]. Легенда, рассказанная Р.Т. Спановой, записанная и переведённая на русский язык А.Б. Утеш, органично вплетается в сакральную аксиологию народа Казахстана: «Казахи с древнейших времен почитали окружающую местность и гору Казыгурт, называя её Қазығұрт - киелі тау «Казыгурт - священная гора»» [5, с. 63].

Большая Малышка – интернациональное село, поэтому собиратели и носители фольклора атрибутируют легенды как устные рассказы с установкой на религиозное чудо. Пример казахской легенды - «Быль о Канарбай-ата», рассказанная собирателю отцом, Сеилханом Махмутовичем Серикбаевым, высокообразованным человеком, бережно сохраняющим народную память. Сюжет излагается и записывается на русском языке, следовательно, жанр казахской легенды бытует на двух языках, становясь достоянием русскоязычного населения страны. А.С. Махмутов признаётся в сильном впечатлении, произведённом на него рассказом отца. Лексема «быль» в заглавии ориентирует на достоверность, а «легенда» - на религиозное чудо. С.М. Серикбаев побывал в загадочном месте Канарбай ата, в песках Кызылкум – среди барханов.

Ходит много легенд о святом, давшем название сакральному топосу. Канарбай ата (по-узбекски – Канарбай-ота) – мусульманский святой. Сюжет узбекской легенды лаконичен: «... однажды учитель медресе собрал своих учеников и попросил принести воду в решете из водоёма Лабихавуз. Все ученики бросились выполнять поручение, но ни один из них не смог этого сделать. Лишь Канарбай, прочитав молитву, наполнил решето водой и принес наставнику. После этого события люди стали называть его “Святой, принесший воду в решете”» [9, с. 28-29].

Легенда, рассказанная С.М. Серикбаевым сыну, предстаёт в контексте казахской этнологии. Её сюжет выразителен и красочен, подчёркивается ценность трудовых традиций кочевников, ценность учения, уважение к предкам, которые помогают Канарбаю. Кроме того, само чудо явлено посредством молитвы и сна, в котором бабушка объясняет природу святого места. В легенде много подробностей, связанных с воспитанием Канарбая, верой в него отца, его самостоятельностью, учением, экзаменами, ночлегом среди саксаулов, где мальчик увидел святой источник, привязанностью ребёнка к священному дереву. Официальная биография святого гласит, что он в 10 лет осиротел: «... у него не было возможности учиться, поэтому он пошёл в ученики к мастеру сапожнику и самостоятельно изучил священный Коран. Он, выучив суры наизусть, отправился в Бухару с караваном паломников, которые пересекали пустыню Кызылкум. В 1866-1876 годах он получил образование у великих шейхов, учёных в медресе Кукельдаш в городе Бухаре. Он завоевал уважение своих наставников и сверстников смекалкой, знаниями и навыками» [9, с. 28].

Согласно узбекским исследователям, обучение и испытание Канарбая происходит в Бухаре. В рассказе С.М. Серикбаева местом действия остаётся «своё» пространство Кызылкумской пустыни, медресе располагается недалеко от отчего аула. Если в узбекском сюжете указывается конкретный гидроним – водоём Лабихавуз, то в казахском варианте святой источник скрыт от посторонних глаз, в его существование никто не верит. Подробно передаётся психологическое состояние будущего святого, недоверие одноклассников и наставника, само появление Канарбая с водой из святого источника в сите. Сито с более мелкими ячейками, нежели решето, становится вещной деталью казахского быта. В казахской легенде имя наставника не упоминается, но интересно отметить, что реальный наставник Канарбая Мумин ота, от которого Канарбай «получил основы учения Яссави», «родился в начале XIX века на территории современной Кызылординской области Республики Казахстан» [9, с. 29]. Казахская легенда, поведенная С.М. Серикбаевым А.С. Махмутову, как видим, имеет подробный сюжет с обобщённым пространством, но значительно конкретизированным исчислением времени.

Быль о Канарбай-ата

«Рос в ауле маленький мальчик Канарбай, отец его был пастухом, мама - домохозяйкой. Отец Канарбая приучал с детства своего сына к работе. Учил его пасти баранов, коз. Все тропы показал сыну, куда идти, где пасти.

Вырос Канарбай и говорит своему отцу, что он хочет учиться в медресе. А медресе находилось очень далеко от аула. Канарбай говорил, что не составит труда ходить ему каждый день в медресе. Отец согласился. Ведь он знал, что Канарбай никогда не заблудится, ведь все кустики и камни знакомы сыну.

Так и началась самостоятельная жизнь Канарбая.

Как-то Канарбай очень поздно вышел с занятий. Пришлось ему переночевать в пустыне. Ночью Канарбай проснулся и услышал, что где-то шумит ручей. Прошёл за саксаул и увидел, как капли воды каплют с дерева. Он был в шоке. Ведь каждый день проходил он среди саксаулов и никогда не замечал такого Чуда. Сел он у подножия саксаула и начал молиться, слова его звучали так громко, что ему показалось, что кто-то его дразнит. Начал звать отца и мать, но никто ему не отвечал. Тогда Канарбай понял, что святой источник не каждому привидится. Он был очень рад. Утром пришёл в медресе, рассказал учителю, а учитель даже и не обратил внимания.

Канарбай каждый день ходил к дереву и даже привязался к нему. Он рассказывал всё, что с ним случалось. Даже днём удавалось ему разглядеть капли воды, которые капали с дерева.

Наступили каникулы, и Канарбаю нужно было сдать экзамен. Учитель дал задание Канарбаю. Вручил ему сито и сказал, что должен принести воду в сите, именно из-под того дерева, где иногда он остается ночевать.

Долго думал Канарбай, как это сделать. Одноклассники по медресе смеялись над ним. Говорили, что он никогда не сдаст экзамена и не получит документа об окончании медресе.

Наступил день сдачи экзамена. Чтение Корана сдал на “отлично”. Осталась практическая часть, достал он сито и пошёл за водой. Вечером ему надо было набрать воду и с утра пронести воду в сите через всё медресе.

В пять часов утра раздался в медресе шум, учитель увидел, что Канарбай несёт сито с водой. Все его одноклассники по медресе окружили Канарбая, шумно шли за ним.

- Как это так?!- кричали они.

Канарбай шёл гордо.

Подойдя к учителю, Канарбай сказал, что он справился с заданием, что учитель может попробовать эту воду. Попробовав воду, все стали спрашивать, как он это сделал.

Канарбай ничего не сказал. Только произнёс: “Во всём этом я благодарю своих предков... Ведь я три дня тому назад видел сон, и во сне ко мне явилась моя бабушка, которая сказала, что он святой...”.

Учителю очень понравился Канарбай.

На сегодняшний день в песках Кызылкумов есть маленький дом, куда приезжают тысячи туристов и воочию видят дом и саксаул, с которого капает капли воды.

И говорят старейшины, которые охраняют это святое место, что здесь, если заночевать, то обязательно можно увидеть Канарбая. Он является каждый вечер, чтобы испить своей святой воды. И это место названо в честь святого человека – Канарбай-ата» [II].

Казахская легенда о религиозном чуде рисует святое место паломничества и поклонения для мусульман среди барханов и саксаулов, для туристов – культовый объект, сохраняющий историческую и познавательную ценность. Путники не жалеют, что ночуют под открытым небом. Сакральный топос включает значимые ценности кочевников – оазис среди пустыни, источник, саксаул как символ казахских степей и пустынь, символ выносливости. Герой – чистый душой ребёнок, чьё имя даёт название экклезиониуму. Существует ещё одно важное отличие казахской легенды от узбекских источников. Узбекские учёные отмечают: «Провидец жил в центре пустыни Кызылкум, в юрте, проповедовал простую и честную жизнь. В 1899 году он, в 63-летнем возрасте, умер и был захоронен недалеко от места, где проживал» [9, с. 29]. Мавзолеем Канарбай-ата располагается «в Учкудукском районе Навоийской области» Узбекистана [9, с. 28] и является местом паломничества. В казахской легенде происхождение названия местности мотивируется не захоронением святого, а чудом, произошедшим с ним в детстве. Ориентирами сакральной географии выступают заросли саксаула, барханы пустыни Кызылкум, святой источник, «маленький дом» [II], а не мавзолеем.

Пустыня Кызылкум простирается на территориях Узбекистана, Туркмении и Казахстана; семья С.М. Серикбаева долгое время жила в Узбекистане, где родился и А.М. Махмутов, сегодня проживающий в селе Большая Малышка Северо-Казахстанской области. Следовательно, можно сделать вывод о расширении сакральной географии до центра Средней Азии. Казахская легенда, объясняющая происхождение экклезиониума, сближается с топонимическим преданием, а конкретная «Быль о Канарбай-ата» включается в общетюркское и общеисламское культурное поле.

Итак, нами рассмотрены две казахских легенды о святых местах – о горе Казыгурт и Канарбай-ата. Оба сюжета сохраняются и передаются в семьях от родителей детям. Молодое поколение собирает и анализирует казахские легенды, распространяя их среди своих сверстников всех национальностей. Казахские легенды типологически сближаются с библейскими, перекликаются с узбекскими традициями, представляют собой самостоятельные варианты в составе казахской несказочной прозы. Подобные наблюдения позволяют сделать вывод об активном бытовании жанра в составе современного фольклора Казахстана.

Жанровое своеобразие казахской легенды обусловлено мировоззренческим характером вымысла,

ориентацией на достоверность, установкой на религиозное исламское чудо. Героями легенд становятся святые, мусульманские (Канарбай, Коркут), а также имеющие библейские корни (Нух – Ной). Казахская легенда в силу типологических особенностей дидактична, в ней сильны мотивы религиозной этики, приобретающие благодаря мастерству рассказчиков ориентацию на вечные общечеловеческие ценности духовно-нравственного воспитания. Так, в легенде о Канарбай-ата подчёркивается уважительное отношение к предкам, аксиология семейных связей, в легенде о Казыгурте – скромность как угодное Творцу качество, за которое следует награда. Казахская легенда сближается с ландшафтологическим и топонимическим преданиями, объясняя структуру рельефа священной горы Казыгурт и происхождение названия сакрального топоса Канарбай-ата. Введение в сюжеты священных растений (саксаул), птиц (ласточка), святого источника, сопоставление горы с двугорбым верблюдом, сакральным животным кочевников, позволяет увидеть типологическое сближение легенды с архаичными мифологическими представлениями.

Казахская легенда отличается детальной разработанностью и занимательностью сюжета, конкретизацией исчисления времени, при этом пространство может быть предельно обобщённым или столь же детализированным, когда рассказчиком Р.Т. Спановой упоминается высота Казыгурта. Все перечисленные типологические признаки составляют специфику жанра, отличающую его от европейской и российской легенды.

Казахская легенда опирается на обширные связи с книжной традицией, русским и узбекским народным творчеством, бытует на казахском и русском языках, включаясь в общеевразийское культурное пространство. Исследование сюжетной группы казахских легенд о святых местах – пустыне Кызылкум и Канарбай-ата, горе Казыгурт, органично включается в реализацию общенационального проекта «Казахстанның қасиетті географиясы» - «Сакральная география Казахстана».

Список информантов:

I. Спанова Р.Т. // Спанова Роза Турбековна, 1980 г. р., образование среднее, жительница села Жетисайского района Туркестанской области, домохозяйка. Запись произвела Утеш Айша Бакбердіқызы, студентка 2-го курса (группы РЛ-20) специальности 6В01702 – «Русский язык и литература» НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», 07.10.2021, в городе Петропавловске.

II. Серикбаев С.М. // Серикбаев Сеилхан Махмутович, 1963 г. р., образование высшее юридическое (Харьковская юридическая академия), житель села Большая Малышка Кызылжарского района Северо-Казахстанской области. Запись произвёл Махмутов Алихан Сеилханович, студент 2-го курса (группы РЛ-20) специальности 6В01702 – «Русский язык и литература» НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», 07.10.2021, в селе Большая Малышка Кызылжарского района Северо-Казахстанской области.

Список литературы:

1. Аникин В.П. Русское устное народное творчество: Учебник для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2004. – 735 с.
2. Бектаев Қ.Б. Сөздік. Словарь. Большой казахско-русский русско-казахский словарь. – Алматы: Алтын Қазына, 1999. – 704 с.
3. Қасқабасов С.А. Таңдамалы. Т. 3. Фольклорная проза казахов. Избранные исследования. – Астана: Фолиант, 2014. – 424 с.
4. Книга моего деда Коркута. Огузский героический эпос. – М. – Л.: академия наук СССР, 1962. – 300 с. – (Литературные памятники).
5. Мынбаев Н.Ж. Экклезионимы Казыгурта и легенда о Всемирном потопе // Российская тюркология. – 2013. - №1(18). – С. 61-66.
6. Пропп В.Я. Собрание трудов. Поэтика фольклора. – М.: Лабиринт, 1998. – 352 с.
7. Цветкова А.М. Жанрово-тематический состав легенд Казахстана // Новости передовой науки: материалы VIII международной научно-практической конференции. – Секция «Филологические науки». – Часть 8. Родной язык и литература. – София: Бял ГРАД-БГ, 2013. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/Page_ru.htm - (свободный).
8. Цветкова А.М. Казахские этиологические легенды о природных объектах в современном бытовании // Традиционная культура. Научный альманах. - №2 (58). – 2015. – С. 88-96.
9. Юлдошева М.Б., Истаблаев Ф.Ф., Истамова М.С. О святых местах Кызылкумской степи // Вестник науки. Международный научный журнал. – Вып. №11 (20). – Т. 1. – 2019. – С. 27-34.

PHYSICS AND MATHEMATICS

THE FALLACY OF THE SRT VERSION STUDIED IN PHYSICS TEXTBOOKS PROVED EXPERIMENTALLY¹

Antonov A.

Ph.D., HonDSc, HonDL, H.ProfSci, ResProf,
Independent Researcher, Kiev, Ukraine

Abstract

The article presents experimental proofs² of falsity of the generally accepted version of the SRT studied in physics textbooks and truth of its alternative version. It is shown that there would be no radio engineering, electrical engineering, Ohm's law in Steinmetz's interpretation or physical phenomenon of resonance, we would neither hear bell ringing or piano music, as well as no tsunami or Indian summer or other things would ever exist, if the generally accepted version of the SRT were correct. Even children's swing wouldn't sway after being pushed by parents. Therefore, it is concluded that the sections of physics textbooks related to relativistic physics, astronomy and astrophysics require correction.

Keywords: imaginary numbers; special theory of relativity; Ohm's law; resonance; transient processes; dark matter; dark energy; invisible universes; Multiverse; portals; anomalous zones.

1. Introduction

The relativistic formulas given in the version of the special theory of relativity (SRT) presented for study in physics textbooks are known to be its main scientific result. However, in cases a physical body moves at superluminal speed, the formulas take on imaginary values, physical sense of which could not be explained by authors of the SRT. And this is not surprising, since no one has known so far how to explain physical sense of imaginary numbers discovered 400 years before creation of the SRT. Indeed, everyone knows what, for example, 3 kg, 2 sec or 7 km is, but no one, including even physicists, knows what $3i$ kg, $2i$ sec or $7i$ km, where

$i = \sqrt{-1}$, is. Actually no one needs such knowledge in our everyday human life. This knowledge is useless even when solving quadratic equations at school algebra lessons.

However, authors of the SRT really needed that knowledge, as they had to completely explain relativistic formulas, the result obtained in this theory. Otherwise, no one would have needed a theory, which couldn't be explained even by its authors. And the solution to this issue was found. It turned out to be elementary simple and seemingly obvious. It is as follows: if results of any measurements are never expressed by imaginary numbers, then imaginary numbers doesn't exist.

And this was the concern of mathematicians, not physicists, that mathematicians invented some operational calculus and some theory of functions of a complex variable. Mathematicians didn't mind. But they didn't even need to know physical sense of imaginary numbers. This is how the postulate (that is, an unproven assumption), called the principle of light speed non-exceedance, appeared in the SRT.

Nevertheless, there remained some doubts about the truth of the principle of light speed non-exceedance due to the lack of its proof and/or experimental validation.

In particular, the doubts were raised by the discovery of Cherenkov radiation, emitted when charged particles are moving through a transparent medium faster than the speed of light in that medium [1]. In 1958, its authors Pavel Alekseevich Cherenkov, Igor Evgenievich Tamm and Ilya Mikhailovich Frank even received the Nobel Prize for their discovery. However, later confidence in the SRT was restored by specifying that the principle of light speed non-exceedance implies movement of a physical body only in a vacuum.

In 2011, the principle of light speed non-exceedance was just about refuted again. This time it was OPERA experiment [2] at the Large Hadron Collider. But six months later the OPERA experiment was refuted by the ICARUS experiment [3], which, however, neither confirmed nor refuted the principle of light speed non-exceedance. It only revealed some errors in the OPERA experiment and demonstrated how extremely complex the experiment was. Thus, it was shown that the issue was very difficult to solve and therefore there were doubts about whether it needed to be solved at all.

2. Experimental proofs of falsity of the version of the SRT presented for study in physics textbooks

Around the same time, in 2008-2010, there were publications about the results of radio engineering experiments [4]-[8] that successfully proved physical reality of imaginary numbers and therefore made the question of truth of the principle of light speed non-exceedance and the OPERA experiment unnecessary. Since existence of multiplicity of sciences is explained

¹ This is reprint of the article "Antonov A.A. Experimental proofs of falsity of the version of the special theory of relativity presented for study in physics textbooks and truth of its alternative version". 80 International scientific conference of Eurasian Scientific Association "Development of science and education in the context of global instability". Moscow. ESA. 2021. 8-17. (in Russian) <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2021/esa-october-2021-part1.pdf>

² In the Thirty Years' War Cardinal Richelieu, prompted by similar considerations, ordered to inscribe upon cannons the following text: "Ultima ratio regum". And the last argument of scientists is experiments.

only by limited intellectual capacity of people, then different sciences should not refute each other. After all, Nature is integral. Therefore, Science is also integral. And mathematics is the single universal language of all exact sciences. Thus, correct mathematical interpretation of radio engineering and any other experiments is indisputably convincing for all other exact sciences, including physics. Norbert Wiener wrote in this regard: "Important work is sometimes delayed by the unavailability in one field of results that may have already become classical in the next field".

However, since the principle of physical reality of imaginary numbers proved by radio engineering experiments [4]-[20] in physics refuted the principle of light speed non-exceedance and thereby refuted the generally accepted version of the SRT [21]-[23], physical community wasn't satisfied with this result. And therefore, students have still studied an outdated and erroneous version of the SRT [24]-[33] presented in physics textbooks and based on the refuted principle of light speed non-exceedance.

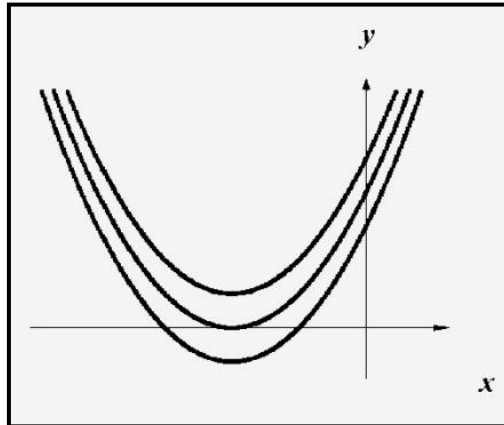


Fig. 1. Graphical solution to the equation (2) on the set of real numbers corresponding to the intersection points of the line $y=0$ and the parabola $y=ax^2+bx+c$

However, studying transient processes in this article, we shall try to solve a very important scientific issue – to find out whether the above-mentioned version of the SRT implying that imaginary numbers are not physically real is true. That is, we shall try to solve a mathematical issue – to prove or refute physical reality of imaginary numbers – that couldn't be solved for 500 years, by radio engineering experiments. This physics issue turned out to be so important that the Large Hadron Collider was even used in the OPERA experiment to solve it. But this proved a failure.

Analysis of transient processes in linear LCR-circuits allowed solving this issue in the following way. Processes occurring in the electric circuits are known to be described by linear differential equations usually of not higher than the second order. Their solution contains two components

$$y(t) = y(t)_{forc} + y(t)_{free} \quad (1)$$

where $y(t)_{forc}$ is the forced component of response (or output signal);

$y(t)_{free}$ is its free (or transient) component;

t is the time.

In order to substantiate this statement and to gain the moral right to propose replacing the erroneous version of the SRT built on the postulates in physics textbooks with the alternative version confirmed experimentally, let's give a description of the experiments.

2.1. Proof of physical reality of imaginary numbers as a result of study of transient processes in linear electric circuit's proofs of falsity of the version of the SRT presented for study in physics textbooks

Since power is the energy derivative with respect to time, energy stored in inductors and capacitors cannot change instantly in electric LCR circuits, when changing their operating mode (for example, switching them). Consequently, infinitely large power that actually doesn't exist might correspond to an instantaneous change in energy. And therefore, transient processes always arise in such electric circuits, if no special measures are taken to suppress them. These processes are usually regarded as unwanted. And therefore, ways of suppressing rather than using them are studied.

In this case, the transient component $y(t)_{free}$ that is of interest to us is found as a result of solving an algebraic characteristic equation of the same order (for example, second) as the original differential equation

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (2)$$

where x is the additional variable that is called a complex frequency in radio engineering, if it is actually a complex number.

And then, depending on the result of solving the equation (2), the function $y(t)_{free}$ corresponding to this solution shall be found.

In algebra, solutions to the equation (2) can be on the set of both real and complex numbers. In the first case, the equation (2) can have either no or one or two real solutions (see Fig. 1) depending on the value of the coefficients a, b, c . In the second case, there are always only two solutions (see Fig. 2). Moreover, the two roots are different in Fig. 2a and 2c, and equal in Fig. 2b.

However, this case defies common sense, since two different decisions cannot be simultaneously true. One of them must be false. So where is the truth? Which of these solutions is true?

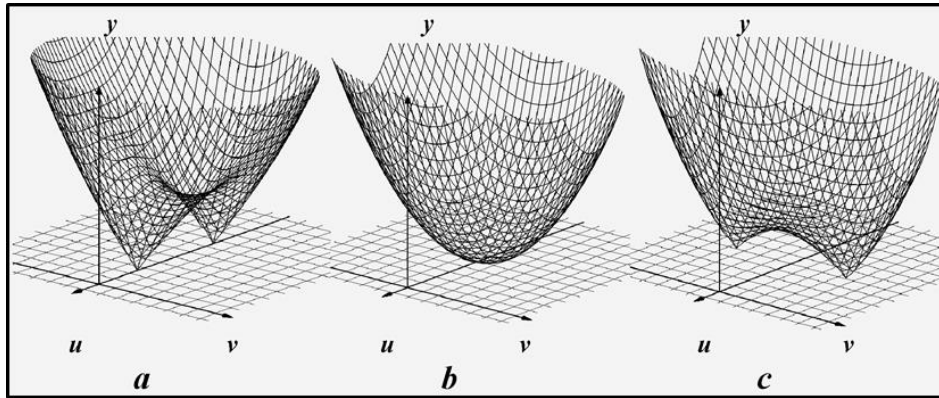


Fig. 2. Graphical solution to the equation (2) on the set of imaginary numbers, corresponding to the tangent

$$\text{plane point } |y| = 0u + i0v \text{ and tangent surface point } |y| = |ax^2 + bx + c| = |a(u+iv)^2 + b(u+iv) + c|$$

Mathematics could not answer this question. Therefore, let us turn back to the analysis of transient processes in radio engineering. The following facts are well known in radio engineering:

- when the discriminant $b^2 - 4ac$ is positive, and therefore the roots of the characteristic equation (2) are real and different, the transient process is aperiodic;
- when the discriminant $b^2 - 4ac$ is equal to zero, and therefore the roots of the characteristic equation (2) are real and equal, the transient process is critical;
- when the discriminant $b^2 - 4ac$ is negative, and therefore the roots of the characteristic equation (2) are different and complex-conjugate, the transient process is oscillatory.

As can be seen, radio engineering claims that transient process always exists. But this situation takes place only for solutions to the characteristic equation (2) on the set of complex numbers. For solutions on the set of real numbers, there can be a result in the form of complex conjugate numbers. Thus, if the solutions on the set of real numbers were correct, and therefore, if the principle of light speed non-exceedance were true, then oscillatory transient processes would not exist. That is, there would be no tsunami and Indian summer; no church bells and grand pianos would sound; children's swings would not sway after being pushed by parents and no shock oscillations would exist at all.

Therefore, we have to conclude that the only correct solution to algebraic equations (not only characteristic, but to all) are solutions in the form of complex numbers. In that case complex (and, therefore, imaginary) numbers have to be recognized as physically real.

2.2. Proof of physical reality of imaginary numbers as a result of study of linear electric circuits using Ohm's law in the interpretation of Steinmetz

In accordance with Ohm's law in the interpretation of Steinmetz, not only resistors, but also inductors and capacitors have electrical resistance. However, unlike the value of resistors R that does not depend on the

frequency of voltage applied to them and is measured by real numbers R , the value of reactance of inductors L and capacitors C is measured by imaginary numbers $X_L = j\omega L$ and $X_C = 1/j\omega C = -j/\omega C$ opposite in sign and depends on the frequency ω of voltage applied to them. Imaginary unit is designated here as j , since designation i in the theory of electrical circuits is used for electric current.

Therefore, in accordance with Ohm's law in the interpretation of Steinmetz the value of current $i(t)$ flowing through LCR -circuit of any configuration, to which an alternating voltage $u(t)$ is applied, would be equal to $i(t) = u(t) / |Z(j\omega)|$, where $Z(j\omega)$ is the complex resistance of the electric circuit under study. However, it wouldn't depend on the frequency ω of this voltage, if the so-called imaginary reactances X_L and X_C do not physically exist. Otherwise it would. Any experiment can confirm this dependence, and, thereby, physical reality of imaginary physical entities – imaginary values of reactances of inductors and capacitors.

So, resonance and various electrical filters can exist due to physical reality of imaginary values of reactances of inductors and capacitors in electric circuits. Therefore, **if the generally accepted version of the SRT and its statement about physical unreality of imaginary numbers were true, existence of television, radiolocation, GPS trackers, mobile phones, or radio equipment in general would be impossible.**

Thus, the evidence of physical reality of imaginary numbers that couldn't be obtained by physicists within the framework of the OPERA experiment at the Large Hadron Collider turned out to have been de facto obtained³ long ago by millions of radio engineers all over the world and is daily confirmed by their practical activities in all radio electronic laboratories. Notably, this plain evidence of the principle of physical reality of imaginary and complex numbers that is possible due to

³ Consequently, the generally accepted version of the SRT could have been refuted back in the 19th century, i.e. before its creation

measuring the value of resistance of electrical circuits with devices available in any radio engineering laboratory – for example, testers (see Fig. 3), oscilloscopes, frequency-response analysers, etc. – is the most convincing.

After all, it is exactly the ability to register by devices X-ray, radioactive, ultraviolet and infrared radiation, infra and ultrasound, magnetic field, atoms and subatomic particles, as well as many other physical entities that are not registered by the human senses,

proves their physical reality. Therefore, to prove physical reality of imaginary numbers there is no need to conduct the unique and expensive OPERA and ICARUS experiments at the Large Hadron Collider involving a large number of professors of physics instead of a simple and cheap radio engineering experiment using a tester (see Fig. 1) and involving only one engineer.

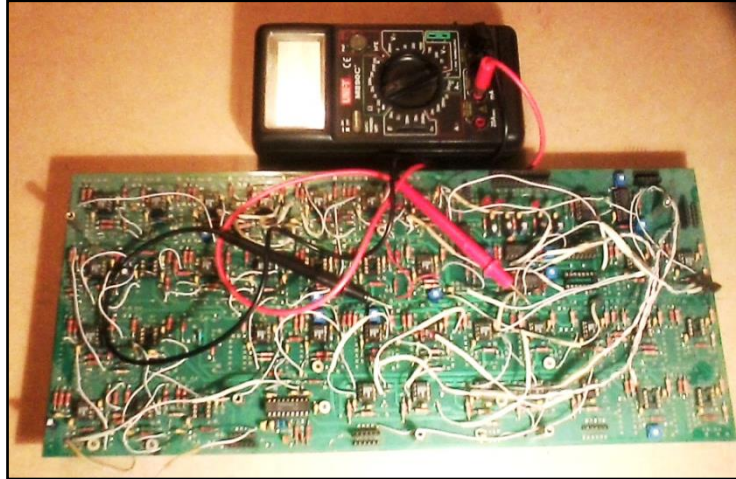


Fig.3. This is all that is needed instead of the Large Hadron Collider for the experimental proof of physical reality of imaginary numbers.

Thus, since the principle of physical reality of imaginary numbers in the SRT has been experimentally proved, there's no longer any necessity for the postulated principle of light speed non-exceedance, but it becomes necessary to correct relativistic formulas that allow explaining the SRT at superluminal velocities.

3. Alternative version of the SRT

Thus, the principle of physical reality of imaginary numbers can be considered proven and the principle of light speed non-exceedance can be considered refuted as it is useless. What have we achieved by this? What new knowledge have we received? To answer these questions, let's analyse a relativistic formula graph. For example, the graph of the Lorentz-Einstein formula

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (3)$$

where m_0 is the rest mass of a moving body (e.g. elementary particle);

m is the relativistic mass of a moving body;

v is the velocity of a body;

c is the speed of light.

As can be seen, the section $0 \leq v < c$ of the graph of function (3) in Fig. 4a corresponds to our visible universe, and the section $c \leq v$ of the same graph – in accordance with the principle of physical reality of imaginary numbers – corresponds to some other invisible universe, since it is beyond the event horizon. However, this invisible universe does not exist, because the process $m(v)$ corresponding to the formula (3) is unstable at the section $c \leq v$. Actually, if we assume that velocity v of a moving body has increased, for some reason, in the section $c \leq v$ of the graph in Fig. 4a, then this should lead to a decrease in its mass m , and a decrease in mass m should lead to a further increase in velocity v , and so on. If we assume that velocity v of a moving body has decreased, for some reason, then this should lead to an increase in its mass m , and an increase in mass m should lead to further decrease in velocity v , and so on. Consequently, there can be no physical content in the section $c \leq v$ of the graph in Fig. 4a. And that's why the relativistic formula (3) is incorrect, since its derivation has not been completed.

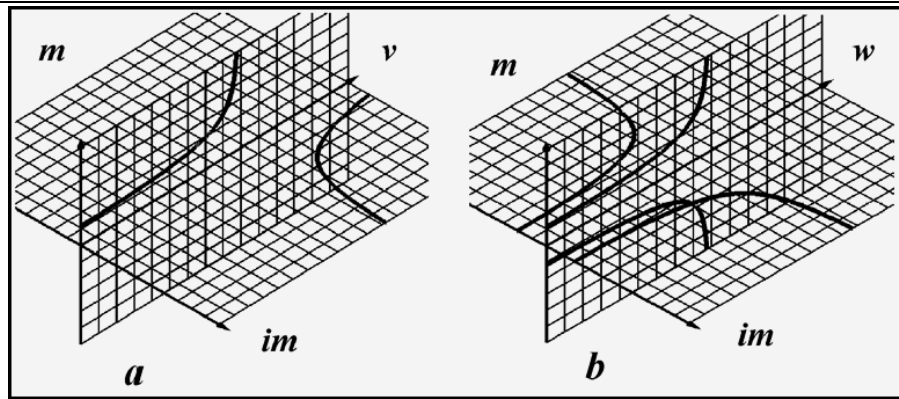


Fig. 4. Graphs of functions $m(v)$ corresponding to the formulas (3) and (4)

To complete its derivation, we should reason as follows. Invisible universes together forming the hidden Multiverse could exist in the section $c \leq v$ of the graph in Fig. 4a, if the graph of function $m(v)$ had many intervals $c \leq v < 2c, 2c \leq v < 3c, 3c \leq v < 4c$, etc., on each of which it would take the same form as on the interval $0 \leq v < c$. Therefore, for the hidden Multiverse the graph of function $m(v)$ should generally have the form shown in Fig. 4b. Hence, the function can be written as follows

$$m = \frac{m_0 i^q}{\sqrt{1 - (v/c - q)^2}} = \frac{m_0 i^q}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \quad (4)$$

where $q = \lfloor v/c \rfloor$ is the “floor” function of argument v/c in discrete mathematics; its integer values⁴ correspond to different mutually invisible parallel⁵ universes;

$w = v - qc$ is the local velocity for each parallel universe that can take values only in the range $0 \leq w < c$;

v is the velocity measured relative to our visible universe.

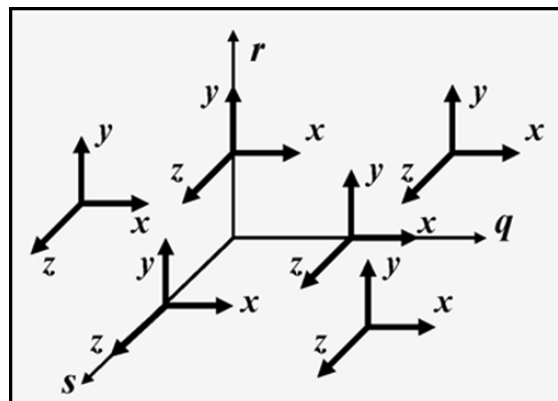


Fig. 5. Six-dimensional space of the hidden Multiverse

However, as shown in [34]-[36], the six-dimensional metric of the hidden Multiverse (see Fig. 5) is more complex than the three-dimensional metric of our visible universe. And therefore, the Lorentz-Einstein formula ultimately takes the following form

$$m = \frac{m_0 (i_1)^q (i_2)^r (i_3)^s}{\sqrt{1 - [v/c - (q+r+s)]^2}} = \frac{m_0 (i_1)^q (i_2)^r (i_3)^s}{\sqrt{1 - (w/c)^2}} \quad (5)$$

where i_1, i_2, i_3 are the imaginary units in hyper-complex numbers [37] called quaternions;

q, r, s are the extra dimensions;

v is the velocity measured relative to our visible tardyon universe;

c is the speed of light;

$w = v - (q+r+s)c$ is the local velocity of the universe corresponding to the coordinates q, r, s , that can take values only in the range $0 \leq w \leq c$.

Other relativistic formulas can be corrected in a similar way. **The corrected relativistic formulas allows for creating a version of the SRT [38]-[50] alternative to the incorrect version presented in physics textbooks.**

4. Experimental proofs of truth of the alternative version of the SRT

In order to substantiate this statement and to gain the moral right to propose replacing the erroneous ver-

⁴ It takes non-integer values in the portals considered below, where the value q varies by one from a portal entry to its

exit under the influence of physical factors that haven't yet been studied

⁵ Called as such because they never intersect despite their infinity

sion of the SRT built on the postulates in physics textbooks with the alternative version confirmed experimentally, let's give a description of the experiments.

4.1. Dark matter and dark energy phenomena prove existence of invisible universes

The phenomenon of dark matter was discovered by Jan Hendrik Oort and Fritz Zwicky in 1932-33, and the phenomenon of dark energy was discovered by Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt and Adam G. Riess, who received the Nobel Prize for this discovery, in 1998-99.

These phenomena [51]-[53] are referred to as such for their incomprehensibility. It is unclear why they are invisible and neither emits nor reflect nor absorb nor refract electromagnetic oscillations in any range and therefore can be detected only indirectly by their gravitational manifestations. It is even more incomprehensible why any molecules, atoms or subatomic particles haven't yet been found in dark matter and dark energy, although their total mass is more than twenty times greater than the mass of all objects of our visible universe. This circumstance even raises doubts about correctness of modern understanding of the term 'matter'. And the subsequent long-term and very intensive studies of the phenomena of dark matter and dark energy have not brought scientists closer to understanding their sense.

Albert Einstein explained the reason for incomprehensibility of the phenomena of dark matter and dark energy in the existing version of the SRT very clearly: *"Insanity: doing the same thing over and over again and expecting different results"*. That is, astrophysicists themselves have created all these incomprehensibilities by wrong statement of the task. They sought explanation for the phenomena that should certainly correspond to the version of the SRT presented in physics textbooks. This version of the SRT implies that we live in the Monoverse. However, since no macro-objects corresponding to the concepts of dark matter and dark energy were found in the Monoverse, it was quite logical to seek an explanation for these phenomena in the microcosm. And they failed again. Nevertheless, scientists considered any alternative explanations for the phenomena irrelevant. And therefore, even those few hypothetically possible structures of the Multiverse published in [54]-[61] have always been commented on as fundamentally unverifiable.

However, if we change the statement of the task and seek an explanation for the phenomena of dark mat-

ter and dark energy in the invisible universes of the hidden Multiverse existing along with our visible universe, explanation becomes obvious [62], [63]:

- dark matter and dark energy are merely certain images (rather gravitational, than optical and still less electromagnetic), a kind of a shadow, of invisible universes of the hidden Multiverse, rather than some real physical entities located in the microcosm or in the macrocosm;

- dark matter is evoked by invisible parallel universes of the hidden Multiverse adjacent to our visible universe;

- dark energy is evoked by the rest of invisible parallel universes of the hidden Multiverse, which are more distant from our visible universe;

- notably, images corresponding to dark matter and dark energy do not contain any chemical substances. This alone suggests and proves existence of the Multiverse, rather than the Monoverse.

This explanation meets the Occam's razor criterion and therefore is quite plausible. And since, in accordance with this explanation, the phenomena of dark matter and dark energy are evoked by existence of invisible universes, it can be assumed that experimentally registered dark matter and dark energy are experimental evidence of existence of invisible universes, which proves the truth of the alternative version of the SRT.

4.2. How to see invisible universes?

The truth of the alternative version of the SRT can also be confirmed by direct astronomical observation of constellations that have never been seen in the starry sky of Earth [64], [65]. Moreover, this is the only way to reliably identify invisible universes (like people by ID photos), since stars in the skies of different universes are obviously spread in extremely different ways. It is also obvious that these other constellations can only be seen in these other universes, which are invisible from our universe on most of the Earth's surface.

However, it turns out that our Earth has numerous areas called anomalous zones [66]. At least some of them are entrances to passages to other universes, called portals [67]. These passages are analogous to the passages in our dwellings that lead from one room to another. We can usually see only one of the rooms entirely, the room we are in now. Any other room can also be partially visible, if we adjourn to it or at least look inside through an open door.



Fig. 6.

Main Astronomical Observatory of the National Academy of Science of Ukraine located in an anomalous zone

Therefore, an adjacent invisible universe can be looked into from any portal of our visible universe in a similar way. Entering a portal one can observe as the star map of one universe is gradually replaced by the star map of the adjacent universe. And it would seem to the observer moving along the portal that these are constellations of our starry sky moving, disappearing and appearing. Moreover, the deeper one enters the portal, the more changes one actually sees. But people avoid visiting anomalous zones and try not to enter deep into the portals, and rightly so. Portals are labyrinths invisible to us and once you are in, it is easy to get lost and not to find the way back. Therefore, in order to safely perform astronomical observations in portals, first it is

necessary to create portal orientation devices (similar to marine compass).

Even with a slight penetration into a portal, while still remaining at its entrance in an anomalous zone, one can observe some changes in the constellations known to astronomers. This would also be an irrefutable experimental proof of existence of other universes that are invisible outside the portals. Moreover, *such an experiment, similar to the experiment conducted by Sir Arthur Stanley Eddington [68] in 1919, would be quite low-cost and simple*, since the main thing required is to place a telescope in an anomalous zone, all the rest is available.

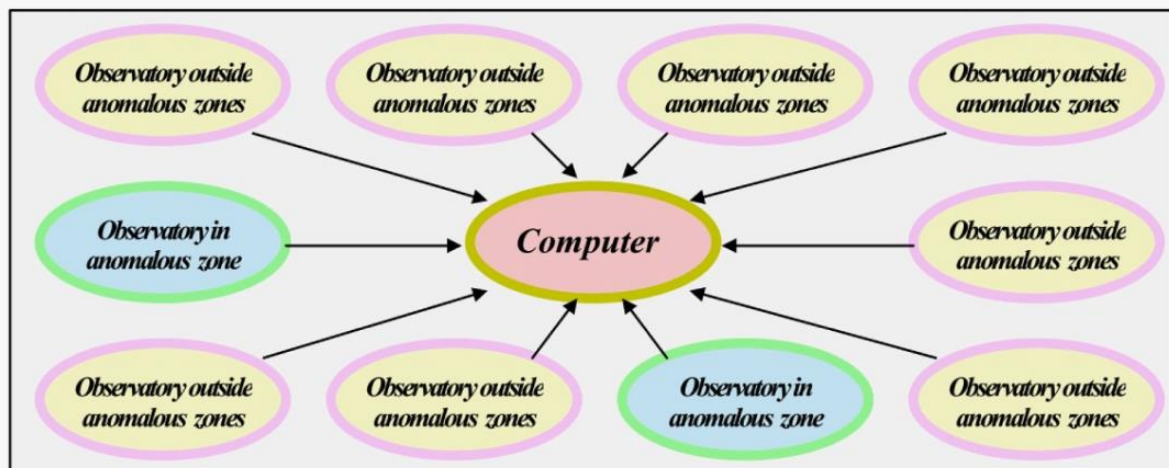


Fig. 7. Scheme of an experiment in detecting invisible universes

And since constellations observed in the starry sky using such a telescope may sometimes differ very slightly from constellations observed using other telescopes placed outside the anomalous zones, some astronomical observatories could already have been, by chance, located in anomalous zones. For example, the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine located in the Holosiivskiy Forest, just 12 km from the centre of Kyiv, the capital of Ukraine. This means that the whole experiment would involve comparing, and detecting differences in, positions of stars located at the same fragment of the

starry sky observed by different observatories. This presupposes that the information obtained should be transferred by observatories of the same region to a single computing centre (Fig. 7) and processed to detect the differences.

6. Conclusion

Let's summarize. All the experiments described above refute the generally accepted version of the SRT. This occurs in a different way. Collectively all these refutations are even more convincing. Thus, the proofs of physical reality of imaginary numbers given in sections 2.1 and 2.2 undoubtedly refute the principle of

light speed non-exceedance and thereby the whole existing SRT. Section 4.2 offers a description of an experiment that has not yet been performed, but is very demonstrative. The experiment allows discovering invisible universes. Section 4.1 mentions the experiments that were conducted in the last century. They allowed discovering the phenomena of dark matter and dark energy that are actually evoked by invisible universes.

Although one experimental proof is usually enough to refute other theories, the existing version of the SRT has not been refuted. The erroneous version of the SRT is even presented for study in physics textbooks, which must contain only unconditionally correct theories. Hence, authors of the textbooks create the impression that the generally accepted version of the SRT is also unconditionally correct, although there already have been published dozens of articles, proving that it can be refuted by existence of television and radiolocation, GPS and mobile telephony, musical instruments and children's swings created by humans, as well as tsunami and 'Indian summer' created by nature, resonance, Ohm's law in the interpretation of Steinmetz and many other things.

For all that, why then the incorrect version of the SRT hasn't still been refuted? Why, for example, decisions on banning criticism of the SRT were made by Soviet Government three times: in 1934, 1942 and 1964? It hasn't still been criticized. The author of the article does not know answer to these questions. However, authors of the textbooks might not have read my articles. Or, if they have read, they haven't believed and verified it. Anyway, this needs to be done. And textbooks need to be corrected, because it is immoral to provide outdated and unimproved knowledge to students [24]-[33]. After all, Albert Einstein wrote: "*There is no single idea, which I would be sure that it will stand the test of time*".

An alternative version of the SRT confirmed experimentally is described in publications [38]-[50].

Acknowledgements

The author is grateful for participation in the discussion of the paper to Olga Ilyinichna Antonova, whose criticism and valuable comments contributed to improvement of the paper.

References

1. Čerenkov, P. A (1937) Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light. *Physical Review*. 52(4), 378-379. doi:<https://doi.org/10.1103/PhysRev.52.378>
2. Adam T., Agafonova N., Aleksandrov A. et al. (2012). Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam. arxiv:1109.4897v4 [hep-ex].
3. Antonello M., Baibussinov B., Boffelli F. et al. (2012). Precision measurement of the neutrino velocity with the ICARUS detector in the CNGS beam. arXiv:1208.2629v2 [hep-ex].
4. Antonov A. A. (2008). Physical Reality of Resonance on Complex Frequencies. *European Journal of Scientific Research*. 21(4). 627-641.

5. Antonov A. A. (2009), Resonance on Real and Complex Frequencies. *European Journal of Scientific Research*. 28(2). 193-204.
6. Antonov A. A. (2010). Oscillation processes as a tool of physics cognition. *American Journal of Scientific and Industrial Research*. 1(2). 342-349. doi:10.5251/ajsir.2010.1.2.342.349
7. Antonov A. A. (2010). New Interpretation of Resonance. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*. 1(2). 1-12.
8. Antonov A. A. (2010). Solution of algebraic quadratic equations taking into account transitional processes in oscillation systems. *General Mathematics Notes*. 1(2). 11-16. http://doi.org/10.17686/sced_rusnauka_2010-887
9. Antonov A. A. (2013). Unpredictable discoveries. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland.
10. Antonov A. A. (2013). Physical Reality of Complex Numbers. *International Journal of Management, IT and Engineering*. 3(4) 219 – 230. http://doi.org/10.17686/sced_rusnauka_2013-898
11. Antonov A.A. (2015) The principle of the physical reality of imaginary and complex numbers in modern cosmology: the nature of dark matter and dark energy. *Journal of Russian physical and chemical society*. 87(1). 328-355. In Russian.
12. Antonov A. A. (2015). Physical reality of complex numbers is proved by research of resonance. *General Mathematics Notes*. 31(2). 34-53. http://www.emis.de/journals/GMN/yahoo_site_admin/assets/docs/4_GMN-9212-V31N2.1293701.pdf
13. Antonov A. A. (2015). Adjustment of the special theory of relativity according to the Ohm's law. *American Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 3(5). 124-129. doi: 10.12691/ajeec-3-5-3
14. Antonov A. A. (2015). Ohm's law explains astrophysical phenomenon of dark matter and dark energy. *Global Journal of Physics* 2(2). 145-149. http://gpcpublishing.com/index.php?journal=gjp&page=article&op=view&path%5B%5D=294&path%5B%5D=pdf_14
15. Antonov A. A. (2016). Ohm's Law is the general law of exact sciences. *PONTE*. 72(7) 131-142. doi: 10.21506/j.ponte.2016.7/9
16. Antonov A. A. (2016). Ohm's law refutes current version of the special theory of relativity. *Journal of Modern Physics*. 7. 2299-2313. <http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2016.716198>
17. Antonov A. A. (2016). Ohm's Law explains phenomenon of dark matter and dark energy. *International Review of Physics*. 10(2). 31-35 <https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irephy&page=article&op=view&path%5B%5D=18615>
18. Antonov A. A. (2016). Physical Reality and Nature of Imaginary, Complex and Hypercomplex Numbers. *General Mathematics Notes*. 35(2). 40-63. http://www.geman.in/yahoo_site_admin/assets/docs/4_GMN-10932-V35N2.3189514_6.pdf
19. Antonov A.A. (2017). The physical reality and essence of imaginary numbers. *Norwegian Journal of*

development of the International Science. 6. 50-63. <http://www.njd-iscience.com>

20. Antonov A. A. (2014). Correction of the special theory of relativity: physical reality and nature of imaginary and complex numbers. *American Journal of Scientific and Industrial Research*. 5(2). 40-52. doi:10.5251/ajsir.2014.5.2.40.52

21. Antonov A. A. (2019). The special theory of relativity was not and, moreover, could not be created in the 20th century. *Journal of Russian physical and chemical society*. 91(1). 57-94. In Russian.

<http://www.rusphysics.ru/magazine/1207/>

22. Antonov A. A. (2020). Albert Einstein was ahead of his time: the existing version of the special theory of relativity was not completed by him due to the lack of experimental data obtained only in the 21st century. *Journal of Russian physical and chemical society*. 92(1). 39-72. In Russian.

http://www.rusphysics.ru/files/Antonov_Albert_92-1%20.pdf

23. Antonov A. A. 2021. Relativistic formulas of the existing version of the special theory of relativity are incorrect, they are incorrectly explained and incorrect conclusions are drawn from them. *German International Journal of Modern Science*. 4(1). 38-47.

24. Antonov A. A. (2021). The special theory of relativity presented in physics textbooks is wrong. International scientific conference of Eurasian Scientific Association "Theoretical and practical issues of modern science". Moscow. 7(77). 11-15. DOI: 10.5285/zenodo.5168528

25. Antonov A.A. 2021 Special theory of relativity, which is studied in physics textbooks, is incorrect. *German International Journal of Modern Science*. 16. 49-53. DOI: 10.24412/2701-8369-2021-16-49-53

26. Antonov A.A. 2021 Special theory of relativity, taught in physics textbooks is wrong. *Journal of science. Lyon*. 23. 52-57. <https://www.joslyon.com/>

27. Antonov A.A. 2021 Special theory of relativity, taught in all physics textbooks is incorrect. *Annali d'Italia*. 21. 39-44. <https://www.anditalia.com/>

28. Antonov A.A. 2021 Special theory of relativity presented in physics textbooks is wrong. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 68(1). 3-7. <http://www.njd-iscience.com>

29. Antonov A.A. 2021 In all physics textbooks an erroneous version of special theory of relativity is given. *International independent scientific journal*. 31. 34-38. <http://www.iis-journal.com>

30. Antonov A.A. 2021 Version of special theory of relativity that is studied taught in all physics textbooks is incorrect. *Österreichisches Multiscience Journal (Innsbruck, Austria)*. 43(1). 17-22. <http://osterr-science.com>

31. Antonov A.A. 2021 Special theory of relativity, which is studied in all physics textbooks is incorrect. *Danish Scientific Journal*. 51(1). 31-35.

<http://www.danish-journal.com>

32. Antonov A.A. 2021 Generally accepted version of the special theory of relativity contained in physics textbooks is incorrect. The scientific heritage. 73(2). 39-50. web: www.tsh-journal.com

33. Antonov A.A. 2021 All physics textbooks study incorrect special theory of relativity. *Sciences of Europe (Praha, Czech Republic)*. 79(1). 30-34.

web: www.european-science.org

34. Antonov A. A. (2015). Quaternion Structure of the Hidden Multiverse:

Explanation of Dark Matter and Dark Energy. *Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science*. 15(8). Verrision 1. 8-15.

35. Antonov A.A. (2017) Nature of Dark Matter and Dark Energy. *Journal of Modern Physics*, 8, 567-582. <https://doi.org/10.4236/jmp.2017.84038>

36. Antonov A. A. 2020. Einstein was wrong: according to WMAP and

Planck spacecraft research we live in a six-dimensional hypercomplex space. *Österreichisches Multiscience Journal (Innsbruck, Austria)*. 35(1). 61-72. <http://osterr-science.com>.

37. Kantor I.L., Solodovnikov A.S. (1989). *Hypercomplex numbers*. Springer Verlag. Berlin.

38. Antonov A. A. 2020. Comparative Analysis of Existing and Alternative Version of the Special Theory of Relativity. *Journal of Modern Physics*. 11(2), 324-342. DOI: 10.4236/jmp.2020.112020

39. Antonov A.A. (2016) What Physical World do We Live in? *Journal of Modern Physics*, 7(14) 1933-1943 <http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2016.714170>

40. Antonov A. A. 2021 What is our physical world. 71 International scientific conference of Eurasian Scientific Association "Science and modernity". 1-9. Moscow. ESA. (in Russian) DOI: 105281/zenodo.4526585

41. Antonov A.A. 2021 Antimatter, Anti-Space, Anti-Time. *Journal of Modern Physics*. 12(05). 646-660. DOI: 10.4236/jmp.2021.125042

42. Antonov A. A. 2021 Antimatter, anti-space and anti-time. 75 International scientific conference of Eurasian Scientific Association "Strategies for stable development of world science". 1-4. Moscow. ESA. (in Russian)

DOI: 105281/zenodo.4926585

43. Antonov A. A. 2021 Do antimatter, anti-time and anti-space exist in nature. *Annali d'Italia*. 20(1). 14-24. <https://www.anditalia.com>

44. Antonov A. A. 2021 From the alternative version of the SRT it follows that there is not only antimatter, but also anti-space and anti-time. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 62(1). 41-51.

DOI: 10.24412/3453-9875-2021-62-1-41-51

45. Antonov A. A. 2021 Antipodes in space. *German International Journal of Modern Science*. 11(1). 15-25. DOI: 10.24412/2701-8369-2021-11-1-15-25

46. Antonov A. A. 2021 There is not only antimatter, but also anti-space and anti-time. *Journal of science. Lyon*. 21. 22-31. <https://www.joslyon.com/>

47. Antonov A. A. 2021 Where are antimatter, anti-space and anti-time? *Österreichisches Multiscience Journal*. 40(1). 43-54. <http://osterr-science.com>

48. Antonov A. A. 2021 Do antimatter, anti-time and anti-space exist in nature? *Danish Scientific Journal*. 50. 64-74. <http://www.danish-journal.com>
49. Antonov A. A. 2021 Antipodes in space. *International independent scientific journal*. 28. 50-61. <http://www.iis-journal.com>
50. Antonov A. A. 2021 How alternative version of SRT explains the existence of antimatter, anti-space and anti-time? *The scientific heritage (Budapest, Hungary)*. 67(1). 11-21. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-67-1-11-21
51. Ruiz-Lapuente P. Ed. (2010). *Dark Energy: Observational and Theoretical Approaches*. Cambridge university press. Cambridge, UK
52. Amendola L, Tsujikawa S. (2010). *Dark Energy: Theory and Observations*. Cambridge university press. Cambridge, UK
53. Sanders R.H. (2014). *The dark matter problem: a historical perspective*. Cambridge university press. Cambridge, UK
54. Lewis D. (1986). *On the Plurality of Worlds*. Basil Blackwell, Oxford.
55. Deutsch D. (2002). The structure of the multiverse. *Proceedings of the Royal Society A*. 458, 2911– 2923.
56. Tegmark, M. (2003). Parallel Universes, *Scientific American*, 288(5), 40 – 51.
57. Ellis, G.F.R., Kirchner U. and Stoeger, W.R. (2004). Multiverses and physical cosmology, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 347(3), 921 – 936.
58. Kaku M., (2006) Reprint Edition. *Parallel Worlds: A Journey Through Creation, Higher Dimensions, and the Future of the Cosmos*. Anchor, NY.
59. Carr B. ed. (2009). *Universe or Multiverse?* Cambridge Univ. Press.
60. Lucash V.N. and Mikheyeva, E.V. (2010). *Physical cosmology*, Physmathlit Publishing, Moscow. In Russian.
61. Greene B. (2011). *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*, Knopf.
62. Antonov A. A. (2016). Explaining the Phenomenon of Dark Matter and Dark Energy by Existence of the Hidden Multiverse. *Frontiers of Astronomy, Astrophysics and Cosmology*. 2016. 2(1) 1-9. DOI:10.12691/faac-2-1-1
63. Antonov A. A. 2019. Explanation of Dark Matter, Dark Energy and Dark Space: Discovery of Invisible Universes. *Journal of Modern Physics*. 10. 1006-1028. <https://doi.org/10.4236/jmp.2019.108067>
64. Antonov A. A. 2020. How to See Invisible Universes. *Journal of Modern Physics*. 11(05) 593-607. DOI: 10.4236/jmp.2020.115039
65. Antonov A. A. 2020. Universes Being Invisible on Earth outside the Portals Are Visible in Portals. *Natural Science*. 12(08), 569-587. <http://doi.org/10.4236/ns2020.128044>
66. Chernobrov V.A. (2000) *Encyclopaedia of Mysterious Places of the Earth*. Veche Publishing, Bucharest. In Russian
67. Antonov A.A. Stargate of the hidden Multiverse. *Philosophy & Cosmology*. 2016. 6. 11-27
68. Dyson, F. W.; Eddington, A. S.; Davidson, C. (1920). A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 220, 291–333. doi:10.1098/rsta.1920.0009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЕВОЙ ГАЗОСТАТИЧЕСКОЙ ОПОРЫ С ЧАСТИЧНО ПОДВИЖНЫМ ОСНОВАНИЕМ**Коднянко В. А.,***д.т.н., профессор***Гоголь Л. В.,***к.т.н., доцент***Белякова С. А.,***к.т.н., доцент***Григорьева О. А.,***к.т.н., доцент***Суровцев А. В.,***ст. преподаватель***Строк Л. В.***аспирант**Сибирский федеральный университет,**Россия, Красноярск***STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF GAS STATIC THRUST BEARING WITH PARTIALLY MOBILE BASE****Kodnyanko V.,***Doctor of Technical Sciences, Professor***Gogol L.,***Ph.D., associate professor***Belyakova S.,***Ph.D., associate professor***Grigorieva O.,***Ph.D., associate professor***Surovtsev A.,***senior lecturer***Strok L.***graduate student**Siberian Federal University,**Russia, Krasnoyarsk***Аннотация:**

Представлена усовершенствованная конструкция осевой газостатической опоры с простыми диафрагмами, кольцевой микроканавкой и упругим подвесом подвижного центра опорного диска. Приведена математическая модель и описана методика расчета статических характеристик опоры и показателей динамического качества. Расчеты проведены с использованием безразмерных величин, что позволило сократить количество варьируемых параметров. Применен новый метод решения линеаризованных и преобразованных по Лапласу краевых задач для трансформант динамических функций, который позволил найти численное решение задач с достаточной для практики точностью. Проведена оптимизация критериев динамического качества опоры. Показано, что применение упругого подвеса опорного центра способствует улучшению её динамических характеристик за счёт уменьшения объёма сжатого воздуха в несущем слое и выбора оптимального объёма микроканавки.

Abstract:

An improved design of an axial aerostatic bearing with simple diaphragms, an annular micro-groove and an elastic suspension of the moving center of the supporting disk is presented. A mathematical model is presented and a methodology for calculating the static characteristics of the bearing and indicators of dynamic quality is described. The calculations were carried out using dimensionless quantities, which made it possible to reduce the number of variable parameters. A new method for solving linearized and Laplace-transformed boundary value problems for transformants of dynamic functions is applied, which made it possible to find a numerical solution to problems with an accuracy sufficient for practice. The optimization of the criteria for the dynamic quality of the bearing has been carried out. It is shown that the use of an elastic suspension of the bearing center improves its dynamic characteristics by reducing the volume of compressed gas in the carrier layer and choosing the optimal volume of the microgroove.

Ключевые слова: осевая газостатическая опора, динамическое качество, степень устойчивости, показатель колебательности, переходный процесс, устойчивость динамической системы.

Key words: axial aerostatic bearing, dynamic quality, degree of stability, oscillation index, transient process, stability of a dynamic system

ВВЕДЕНИЕ

Для создания несущей способности в газостатических опорах обычно применяют ограничители расхода, автоматически регулирующие давление в несущем слое воздуха [1, 2]. На практике находят использование диафрагмы, в которых ограничение расхода создается за счет напора воздуха, и капилляры, в которых давление регулируется за счет сил вязкого трения в воздушной смазке. Чаще применяют диафрагмы, среди которых различают сопла с кольцевыми и простыми диафрагмами [3, 4].

Известна склонность газостатических опор к неустойчивости. Нередко это обстоятельство является решающим при выборе ограничителей расхода. Опоры с кольцевыми диафрагмами всегда устойчивы, однако в сравнении с аналогичными опорами с простыми диафрагмами они имеют в 1,5 раза более высокую податливость [5]. Несущая способность опор с кольцевыми диафрагмами также ниже вследствие дискретности питателей, в то время как, использование объединенных микроканавками простых диафрагм, способствует устранению

отмеченного недостатка. Вместе с тем, наличие воздушных карманов на выходе простых диафрагм и микроканавок является причиной потери устойчивости опор либо крайне низкого качества их динамики [5, 6]. Негативное влияние на динамику опоры оказывает и объем воздуха, заключенного в несущем слое. Таким образом, уменьшение объемов воздуха в ее проточном тракте является ресурсом повышения динамического качества газостатической опоры.

На рисунке 1 показана схема усовершенствованной круговой газостатической опоры с валом 1 и основанием 2, которое соединено с опорным диском 3 радиуса r_0 . Опора питается от источника сжатого воздуха через отверстия 8 диаметра d , из которого воздух попадает в микроканавку 7, выполненную на диске 3 по окружности радиуса r_1 . Опорный центр 5 поддерживается упругим подвесом 4 в виде тонкого кольца толщины δ , обеспечивающего под действием разности давлений $p_s - p_k > 0$ в полости 6 и несущем слое необходимую величину деформации h_d материала диска 3 и смещения центрального диска 5 относительно вала 1 на величину h_s .

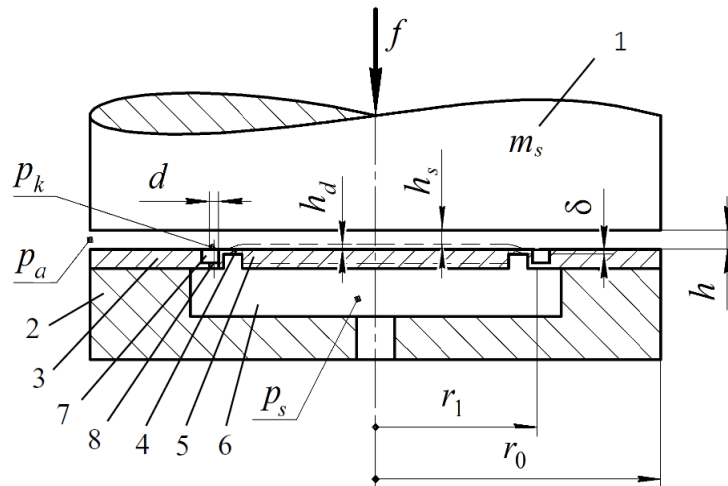


Рисунок 1. Расчетная схема опоры

По сравнению с обычной опорой ($h_d = 0$) объем воздуха, заключенного в несущем слое, будет меньше, поскольку вследствие деформации h_d зазор h_s на центральном круге будет всегда меньше зазора h на наружном кольце, кроме того вследствие деформации кольца 4 изменится характер колебаний несущего слоя, что также может способствовать повышению динамического качества опоры.

В работе рассмотрена математическая модель стационарного состояния опоры и выполнен расчет ее оптимальных режимов. На их основе проведено нестационарное математическое моделирование эффективности предложенного метода улучшения динамических характеристик, выполнен расчет и исследование корневых критериев устойчивости опоры. Дан пример проектного расчета опоры.

1. Модель стационарного состояния опоры

Статическая модель включает уравнение баланса массовых расходов воздуха

$$q_k - q_h + q_{hs} = 0, \quad (1)$$

и два уравнения силового равновесия подвижных элементов опоры

$$h_d = k_e (w_p - w_{hs}), \quad (2)$$

$$w = f, \quad (3)$$

$$w = w_h + w_{hs}. \quad (4)$$

Здесь q_h , q_{hs} , q_k – массовые расходы воздуха через зазоры h , h_s и диафрагмы 8; w_h , w_{hs} , w_p – силовые реакции сжатого воздуха в этих зазорах и полости 6, w – несущая способность опоры [7].

Исследование статических характеристик проведено в безразмерной форме. За масштабы величин приняты: p_a – для давлений воздуха, r_0 – для радиальных размеров, h_0 – для толщины дросселирующих щелевых зазоров, $\frac{\pi h_0^3 p_a^2}{12 \mu \Re T}$ – для массовых

расходов воздуха, $\pi r_0^2 p_a$ – для осевых сил, где h_0 соответствует зазору h в опоре, воспринимающей расчетную нагрузку f_0 , μ – вязкость воздуха, \Re –

универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура газа. Далее безразмерные величины обозначены приписными латинскими буквами.

Безразмерный расход через диафрагмы 8 определяется выражением [8]

$$Q_k = A_k \Pi(P_s, P_k), \quad (5)$$

где Π – функция истечения Прандтля, критерий подобия диафрагм

$$A_k = \frac{3\mu\Gamma d^2 \sqrt{\mathcal{R}T}}{p_a h_0^3}. \quad (6)$$

Функция распределения давления в несущем слое [2]

$$P(R) = \begin{cases} P_k, R \leq R_1, \\ \sqrt{\left(\frac{P_k^2 - 1}{\ln R_1}\right) \frac{\ln R}{\ln R_1} + 1}, R_1 \leq R \leq 1 \end{cases}. \quad (7)$$

С учетом (7) формулу расхода в несущем слое можно записать в виде

$$Q_h = A_h H^3 (P_k^2 - 1), \quad (8)$$

где $A_h = -\frac{1}{\ln R_1}$.

Безразмерные силовые реакции находили по формулам [8]

$$W_{hs} = 2 \int_0^{R_1} R(P-1) dR = R_1^2 (P_k - 1), \quad (9)$$

$$W_h = 2 \int_{R_1}^1 R(P-1) dR = 2J + R_1^2 - 1, \quad (10)$$

$$J = \int_{R_1}^1 R \sqrt{\left(\frac{P_k^2 - 1}{\ln R_1}\right) \frac{\ln R}{\ln R_1} + 1} dR, \quad (11)$$

$$W_p = 2 \int_0^{R_1} R(P_s - 1) dR = R_1^2 (P_s - 1). \quad (12)$$

В безразмерном виде модель включают аналогичные (1) – (4) уравнения

$$Q_k - Q_h + Q_{hs} = 0, \quad (13)$$

$$H_d = K_e (W_p - W_{hs}), \quad (14)$$

$$H_s = H - H_d, \quad (15)$$

$$W = F. \quad (16)$$

При расчете статических характеристик опоры в качестве входных параметров использованы безразмерные величины: радиус R_1 , давление наддува P_s , деформация H_{d0} кольца 4 в расчетной точке $H = 1$, нормированный коэффициент χ относительного сопротивления диафрагм 8

$$\chi = \frac{P_k^2 - 1}{P_s^2 - 1} \in [0, 1], \quad (17)$$

который использовался для расчета давлений и критерия подобия дросселя 8.

Используя (17), получим формулу для вычисления давления в микроканавке 7

$$P_k = \sqrt{1 + \chi (P_s^2 - 1)}.$$

Согласно (5) – (17), можно найти безразмерные силовые реакции, деформацию H_d , коэффициент A_h и расход Q_h (расход $Q_{hs} = 0$) и критерий подобия диафрагм

$$A_k = \frac{Q_h}{\Pi(P_s, P_k)}. \quad (18)$$

Последовательно задавая с небольшим шагом значения давления $P_k \in [1, P_s]$, можно вычислить соответствующие силовые реакции, деформацию

H_d , зазор $H = \sqrt[3]{\frac{Q_k}{A_h (P_k^2 - 1)}}$ и зазор H_s . В расчетах

не имеющий аналитической квадратуры интеграл (12) вычисляли методом Симпсона [8].

Записав уравнения модели в малых Δ -приращениях, нашли безразмерную податливость опоры

$$K = -\frac{\Delta H}{\Delta F} = \frac{A_4 - A_5}{A_3 (A_1 + A_2)}, \quad (19)$$

где

$$A_1 = \frac{2P_k}{\ln R_1} \int_{R_1}^1 \frac{R \ln R dR}{\sqrt{\left(\frac{P_k^2 - 1}{\ln R_1}\right) \frac{\ln R}{\ln R_1} + 1}},$$

$$A_2 = R_1^2,$$

$$A_3 = 3A_h H^2 (P_k^2 - 1),$$

$$A_4 = 2A_h H^3 P_k,$$

$$A_5 = A_k \frac{\partial \Pi(P_s, P_k)}{\partial P_k} = A_k \begin{cases} 0, P_k / P_s \leq 0.5, \\ \frac{0.5P_s - P_k}{\sqrt{(P_s - P_k)P_k}}, P_k / P_s > 0.5. \end{cases}$$

2. Статические характеристики опоры

Статическая податливость K опоры не зависит от коэффициента упругости кольца 4, деформации H_d и зазора H_s . На графиках рис. 2 – 3 показано влияние параметров R_1 , P_s , χ на эту характеристику в расчетной точке $H = 1$.

Как видно из рис. 2, кривые зависимости податливости K опоры от коэффициента настройки χ имеют экстремальный характер. Оптимальное значение параметра относительного сопротивления дросселей находится в пределах $\chi = 0.45 - 0.46$.

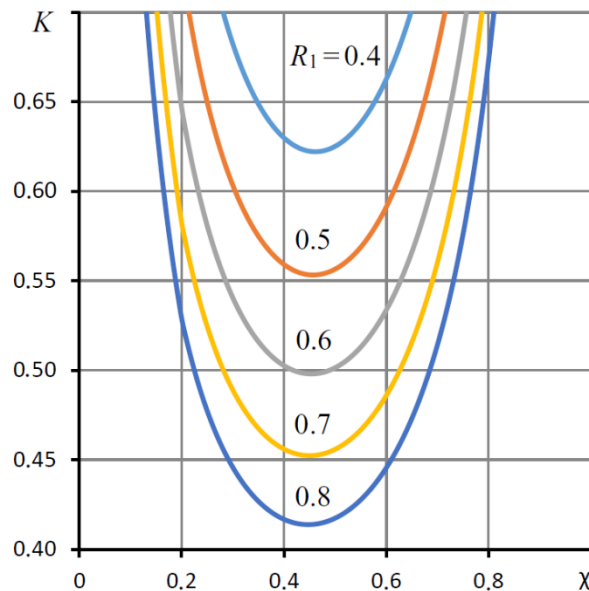


Рисунок 2. Графики зависимости податливости K от коэффициента χ при $P_s = 4$ и различных R_1

Представляет интерес характер изменения деформации H_d и зазора H_s от нагрузки F . На рис. 3 показаны зависимости для четырех функций $H(F)$, $K(F)$, $H_d(F)$, $H_s(F)$. Первая из них является нагрузочной характеристикой, вторая представляет зависимость податливости K от нагрузки F и две последних показывают характер зависимости деформации H_d и зазора H_s . Кривые соответствуют расчетной деформации $H_{d0} = 0.5$. Формула (27) позволяет определить коэффициент упругости K_e кольца 3, при котором обеспечивается деформация H_{d0} . При $R_1 = 0.75$ и $P_s = 4$ коэффициент $K_e = 0.731$.

Как видно из рис. 3, при малых нагрузках F , когда перепад давлений на подвижном центре наибольший, деформация максимальна, вследствие чего зазор H_s оказывается значительно меньше зазора H . В сравнении с обычной опорой за счет деформации подвеса 4 обеспечивается существенно меньший объем несущего слоя, что должно благоприятно сказываться на динамическом качестве конструкции. Эффективному уменьшению объема несущего слоя способствует деформация H_d в области малых и умеренных нагрузок. Следовательно, создаваемый деформацией эффект может сказываться практически во всем диапазоне нагрузок.

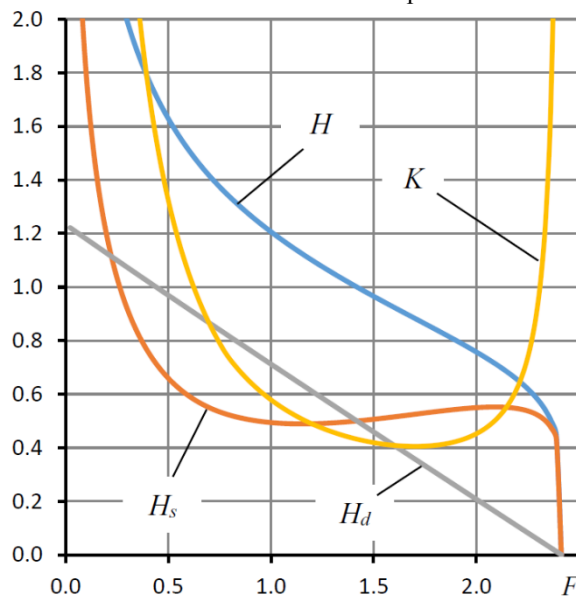


Рисунок 3.

Графики зависимости податливости K , толщины зазоров H , H_s , деформации H_d , от нагрузки F

Наглядно зависимость объема несущего слоя V от нагрузки F при различных значениях деформации H_{d0} показана на рис. 4. Кривая $H_{d0} = 0$ соответствует зависимости $V(F)$ обычной опоры, остальные кривые, для которых $H_{d0} > 0$, отвечают опоре с

деформируемым подвесом 4. Видно, что деформация способствует существенному уменьшению объема V несущего слоя. Так, при нагрузке $F = 1$ и деформации $H_{d0} = 0.4$ в расчетной точке объем уменьшается почти в полтора раза, а при $H_{d0} = 0.6$ более чем вдвое.

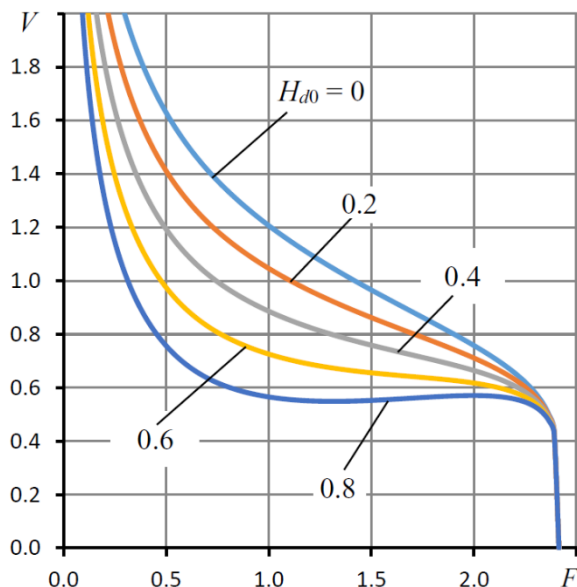


Рисунок 4.

Графики зависимости объема несущего слоя V от нагрузки F для различных значений деформации H_{d0}

Вывод об эффективности предложенного усовершенствования можно сделать на основе исследования нестационарных характеристик опоры.

3. Модель нестационарного состояния опоры

В нестационарном режиме давление $p_k(t)$ зазоры $h(t)$, $h_s(t)$, деформация $h_d(t)$, расходы $q_h(t)$, $q_k(t)$, силы $w_h(t)$, $w_{hs}(t)$, $w_p(t)$, $w(t)$ становятся функциями текущего времени t . Кроме того появляются новые нестационарные функции, такие как, расход

$$q_v = \frac{v_k}{RT} \frac{dp_k}{dt}, \quad (20)$$

обусловленный сжимаемостью воздуха в микроканавке 7, и сила инерции

$$w_i = m_s \frac{d^2 h}{dt^2}, \quad (21)$$

массы m_s вала 1.

С учетом этого модель динамики опоры примет вид

$$q_k - q_{hs} + q_h - q_v = 0, \quad (22)$$

$$h_d = k_e (w_p - w_h), \quad (23)$$

$$w = w_h + w_{hs}, \quad (24)$$

$$w - w_i = f. \quad (25)$$

Исследованы динамические процессы, вызванные малыми возмущениями $\Delta F(\tau)$ относительно равновесного состояния внешней безразмерной статической нагрузки F , где τ – безразмерное текущее время. К модели (22) – (25) применена линеаризация, в основе которой лежит предположение, что в исследуемом динамическом процессе переменные изменяются так, что их отклонения от установившихся значений остаются все время малыми.

К линеаризованной модели применено интегральное преобразование Лапласа относительно текущего времени, в результате чего получены трансформанты отклонений входной функции нагрузки $\overline{\Delta F}(s)$ и выходных функций, где s – переменная преобразования Лапласа [9]. Трансформированная линеаризованная безразмерная математическая модель динамики малых колебаний опоры описывается уравнениями

$$\overline{\Delta Q_k} - \overline{\Delta Q_h} + \overline{\Delta Q_{hs}} - \overline{\Delta Q_v} = 0, \quad (26)$$

$$\overline{\Delta H_d} = K_e (\overline{\Delta W_p} - \overline{\Delta W_{hs}}), \quad (27)$$

$$\overline{\Delta H} - \overline{\Delta H_s} - \overline{\Delta H_d} = 0, \quad (28)$$

$$\overline{\Delta W} = \overline{\Delta W_h} + \overline{\Delta W_{hs}}, \quad (29)$$

$$\overline{\Delta W} - \overline{\Delta W_i} = \overline{\Delta F}. \quad (30)$$

Функция безразмерного давления в несущем слое опоры в общем случае удовлетворяет краевой задаче для уравнения Рейнольдса [2]

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial R} \left(RH^3 \frac{\partial P^2}{\partial R} \right) = 2\sigma R \frac{\partial(PH)}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial P}{\partial R}(0, \tau) = 0, P(R_1, \tau) = P_k, P(1, \tau) = 1. \end{cases} \quad (31)$$

где $\sigma = \frac{12\mu r_0^2}{h_0^2 p_d t_0}$ – число сдвливания, t_0 – масштаб текущего времени [5].

Соответствующая трансформированная линеаризованная задача имеет вид

$$\begin{cases} \frac{d}{dR} \left[R \frac{d(P\overline{\Delta P})}{dR} \right] = \frac{\sigma s}{H^3} R (H\overline{\Delta P} + P\overline{\Delta H}), \\ \frac{d\overline{\Delta P}}{dR} (0, s) = 0, \overline{\Delta P}(R_1, s) = \overline{\Delta P}_k(s), \overline{\Delta P}(1, s) = 0, \end{cases} \quad (32)$$

где $\overline{\Delta P}(R, s), \overline{\Delta H}(s), \overline{\Delta P}_k(s)$ – лапласовы трансформанты отклонений соответствующих функций; $H, P(R)$ – статические значения зазора и функции распределения давления.

Краевую задачу (32) для отрезка $R \in [R_a, R_b]$ можно представить в виде

$$\begin{cases} R \frac{d^2(P\overline{\Delta P})}{dR^2} + \frac{d(P\overline{\Delta P})}{dR} = \frac{\sigma s}{H^3} R (H\overline{\Delta P} + P\overline{\Delta H}), \\ \alpha_a \overline{\Delta P}(R_a, s) + (1 - \alpha_a) \frac{d\overline{\Delta P}}{dR}(R_a, s) = \beta_a \overline{\Delta P}_a(s), \\ \alpha_b \overline{\Delta P}(R_b, s) + (1 - \alpha_b) \frac{d\overline{\Delta P}}{dR}(R_b, s) = \beta_b \overline{\Delta P}_b(s), \end{cases} \quad (33)$$

где $\overline{\Delta P}(R, s), \overline{\Delta H}(s), \overline{\Delta P}_a(s), \overline{\Delta P}_b(s)$ – лапласовы отклонения соответствующих функций; $H, P(R)$ – статические зазор и давление.

Используя метод суперпозиции, представим искомую функцию в виде

$$\overline{\Delta P}(R, s) = U_a(R, s)\overline{\Delta P}_a + U_b(R, s)\overline{\Delta P}_b + U_h(R, s)\overline{\Delta H}. \quad (34)$$

Подставив (34) в (33) и выполнив разделение переменных, получим задачи для определения функций U_a, U_b, U_h , которые можно записать в следующем общем виде

$$\begin{cases} R \frac{d^2(PU)}{dR^2} + \frac{d(PU)}{dR} = \frac{\sigma s}{PH^3} R (HU + \lambda P), \\ \alpha_a U(R_a, s) + (1 - \alpha_a) \frac{dU}{dR}(R_a, s) = \beta_a, \\ \alpha_b U(R_b, s) + (1 - \alpha_b) \frac{dU}{dR}(R_b, s) = \beta_b. \end{cases} \quad (35)$$

При $\lambda = 1, \alpha_a = 1, \alpha_b = 1, \beta_a = 0, \beta_b = 0$ получим краевую задачу для функции U_h для любых моделей, при $\lambda = 0$ – задачи для функций U_a или U_b .

К решению задачи (35) применен алгебраический метод конечных разностей [10]. Для этого отрезок $[R_a, R_b]$ разделен на чётное число n сегментов и для внутренних узлов сетки записана система алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} R_i \frac{P_{i+1}U_{i+1} - 2P_iU_i + P_{i-1}U_{i-1}}{g^2} + \frac{P_{i+1}U_{i+1} - P_{i-1}U_{i-1}}{2g} = \\ = \frac{\sigma s R_i}{H^3} (HU_i + \lambda P_i), \end{aligned} \quad (36)$$

где $g = (R_b - R_a) / n$ – шаг сетки, U_i – значения функции в узлах сетки, $i = 1, 2, \dots, n-1$.

Систему (36) дополнена граничными условиями

$$\begin{cases} \alpha_a U_0 + \frac{(1 - \alpha_a)}{2g} (-3U_0 + 4U_1 - U_2) = (1 - \lambda)\beta_a, \\ \alpha_b U_n + \frac{(1 - \alpha_b)}{2g} (3U_n - 4U_{n-1} + U_{n-2}) = (1 - \lambda)\beta_b. \end{cases} \quad (37)$$

При выводе (37) использованы производные второго порядка точности $O(g^2)$ на концах отрезка $[R_a, R_b]$ [9].

Система (62), (63) решена методом прогонки [10]. Для этого применена рекуррентная формула

$$U_{i-1} = x_i U_i + y_i. \tag{38}$$

Первые два уравнения из (62) и (63) имеют вид

$$\begin{cases} a_1 U_0 + a_2 U_1 - a_3 U_2 = a_0, \\ b_1 U_0 - b_2 U_1 + b_3 U_2 = b_0, \end{cases} \tag{39}$$

где

$$\begin{aligned} a_1 &= \alpha_a - \frac{3(1-\alpha_a)}{2g}, a_2 = \frac{2(1-\alpha_a)}{g}, a_3 = \frac{1-\alpha_a}{2g}, a_0 = (1-\lambda)\beta_a, \\ b_1 &= \frac{P_0}{g} \left(\frac{R_1}{g} - \frac{1}{2} \right), b_2 = R_1 \left(\frac{2P_1}{g^2} + \frac{\sigma s}{H^2} \right), \\ b_3 &= \frac{P_2}{g} \left(\frac{R_1}{g} + \frac{1}{2} \right), b_0 = \frac{R_1 P_1 \lambda \sigma s}{H^3}. \end{aligned}$$

Используя (38), (39), найдены начальные прогоночные коэффициенты

$$x_1 = -\frac{c_2}{c_1}, y_1 = \frac{c_0}{c_1}, \tag{40}$$

где $c_1 = b_1 + \frac{b_3 a_1}{a_3}, c_2 = \frac{b_3 a_2}{a_3} - b_2, c_0 = b_0 - \frac{b_3 a_0}{a_3}.$

Уравнения (36) представлены в виде

$$a_i U_{i+1} - b_i U_i + c_i U_{i-1} = d_i, \tag{41}$$

где

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{P_{i+1}}{g} \left(\frac{R_i}{g} + \frac{1}{2} \right), b_i = R_i \left(\frac{2P_i}{g^2} + \frac{\sigma s}{H^2} \right), \\ c_i &= \frac{P_{i-1}}{g} \left(\frac{R_i}{g} - \frac{1}{2} \right), d_i = \frac{\lambda \sigma R_i P_i s}{H^3}. \end{aligned}$$

Подставив (41) в (38), нашли рекуррентные формулы для прогоночных коэффициентов

$$x_{i+1} = \frac{a_i}{b_i - c_i x_i}, y_{i+1} = \frac{c_i y_i - d_i}{b_i - c_i x_i}. \tag{42}$$

Необходимое для обратной прогонки значение U_n получено из второго уравнения (37) и последнего уравнения (36)

$$U_n = \frac{e_6 - e_5 y_n}{e_4 + e_5 x_n}, \tag{43}$$

где

$$\begin{aligned} e_3 &= \alpha_b + \frac{3(1-\alpha_b)}{2g}, e_2 = \frac{2(1-\alpha_b)}{g}, e_1 = \frac{1-\alpha_b}{2g}, e_0 = (1-\lambda)\beta_b, \\ e_4 &= a_{n-1} - \frac{c_{n-1} e_3}{e_1}, e_5 = \frac{c_{n-1} e_2}{e_1} - b_{n-1}, e_6 = d_i - \frac{c_{n-1} e_0}{e_1}. \end{aligned}$$

Коэффициенты несущей способности выражается интегралом

$$A_w = 2 \int_{R_1}^{R_2} R U dR. \tag{44}$$

В общем случае формула для трансформанты расхода в несущем слое имеет вид

$$\begin{aligned} \overline{\Delta Q}_h &= -3H^2 R \frac{dP^2}{dR} \overline{\Delta H} - 2H^3 \frac{d(P\overline{\Delta P})}{dR} = \\ &= A_{qh} \overline{\Delta H} + A_{qa} \overline{\Delta P}_a + A_{qb} \overline{\Delta P}_b, \end{aligned}$$

где

$$A_{qh} = A_{q0} - 2H^3 R \frac{d(PU_h)}{dR}, A_{qa} = -2H^3 R \frac{d(PU_a)}{dR},$$

$$A_{qb} = -2H^3 R \frac{d(PU_b)}{dR}, A_{q0} = \frac{3\lambda H^2 (P_b^2 - P_a^2)}{\ln(R_a / R_b)}.$$

На краях отрезка $[R_a, R_b]$

$$B_a = -2H^3 R \frac{d(PU)}{dR} \Big|_{R=R_a} =$$

$$= \frac{R_a H^3}{g} (P_2 U_2 - 4P_1 U_1 + 3P_0 U_0),$$

$$A_{qa} = (A_{q0} + B_a),$$

$$B_b = -2H^3 R \frac{d(PU)}{dR} \Big|_{R=R_b} =$$

$$= -\frac{R_b H^3}{g} (3P_n U_n - 4P_{n-1} U_{n-1} + P_{n-2} U_{n-2}),$$

$$A_{qb} = (A_{q0} + B_b).$$

Трансформанта силовой реакции несущего слоя толщины H_s определена по формуле Симпсона [10]

$$\overline{\Delta W}_{hs} = 2 \int_0^{R_1} R \overline{\Delta P} dR = A_{whs} \overline{\Delta H}_s + A_{wks} \overline{\Delta P}_k, \quad (45)$$

где $A_{whs} = 2 \int_0^{R_1} R U_h dR$, $A_{wks} = 2 \int_0^{R_1} R U_k dR$.

Трансформированная функция расхода в несущем слое

$$\overline{\Delta Q}_{hs} = A_{qhs} \overline{\Delta H}_s + A_{qks} \overline{\Delta P}_k. \quad (46)$$

Силовая реакция несущего слоя в зазоре толщины H

$$\overline{\Delta W}_h = 2 \int_{R_1}^1 R \overline{\Delta P} dR = A_{wh} \overline{\Delta H} + A_{wk} \overline{\Delta P}_k, \quad (47)$$

где $A_{wh} = 2 \int_{R_1}^1 R U_h dR$, $A_{wk} = 2 \int_{R_1}^1 R U_k dR$.

Трансформанта расхода на входе в зазор толщины H

$$\overline{\Delta Q}_h = A_{qh} \overline{\Delta H} + A_{qk} \overline{\Delta P}_k. \quad (48)$$

Коэффициенты формул (44) – (48) найдены в результате четырехкратного решения (35) при значениях параметров $\lambda, \alpha_a, \beta_a, \alpha_b, \beta_b$, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Коэффициенты трансформант для частных случаев краевой задачи (35)

Зазор	λ	α_a	β_a	α_b	β_b	Коэффициенты
H_s	1	1	0	1	0	A_{qhs}, A_{qks}
	0	0	0	1	1	A_{whs}, A_{wks}
H	1	1	0	1	0	A_{qh}, A_{qk}
	0	1	1	1	0	A_{wh}, A_{wk}

Формула трансформанты расхода, обусловленного сжимаемостью воздуха в микроканавке 7, имеет вид

$$\overline{\Delta Q}_v = A_v s \overline{\Delta P}_k, \quad (49)$$

где $A_v = \sigma V_k, V_k = \frac{V_k}{\pi r_0^2 h_0}$ – безразмерный

объем микроканавки.

Функция расхода через дроссель 8 определяется по формуле

$$\overline{\Delta Q}_k = A_k \overline{\Delta P}_k. \quad (50)$$

Формула для безразмерной трансформанты силы инерции имеет вид

$$\overline{\Delta W}_i = M_s s^2 \overline{\Delta H}, \quad (51)$$

где $M_s = \frac{m_s h_0}{\pi r_0^2 t_0^2 p_a}$ – безразмерная масса вала 5.

Подставив (44) – (51) в (26) – (41), получили систему линейных уравнений с входной $\overline{\Delta F}$ и выходными функциями $\overline{\Delta H}, \overline{\Delta H}_s, \overline{\Delta H}_d, \overline{\Delta P}_k$

$$A \begin{bmatrix} \overline{\Delta V} \end{bmatrix} = [E] \overline{\Delta F}, \quad (52)$$

где A – комплексная матрица,

$$[V] = \begin{bmatrix} \overline{\Delta H} \\ \overline{\Delta H}_s \\ \overline{\Delta H}_d \\ \overline{\Delta P}_k \end{bmatrix}, [E] = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Динамическая податливость опоры определяется передаточной функцией (ПФ)

$$K(s) = -\frac{\overline{\Delta H}}{\overline{\Delta F}} = -\frac{|A_H|}{|A|}, \quad (53)$$

где $|A|$ – определитель матрицы A системы (52), A_H матрица, сформированная из матрицы A заменой первого столбца на $[E]$ в соответствии с правилом Крамера [10].

4. Характеристический полином и критерии динамического качества опоры

Модель динамики опоры является нелинейной системой с распределенными параметрами. После линеаризации она становится линейной, однако по-прежнему остается системой с распределенными

параметрами, поскольку ПФ (53) может быть получена численными методами на основе решения вышеупомянутых дифференциальных уравнений.

Для оценки динамического качества опоры ПФ (53) приближенно представляли в виде

$$K(s) = \frac{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + b_{n-m} s^{n-m}}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_n s^n}, \quad (54)$$

где $m < n, m > 0, n > 0; n, m$ – натуральные числа, a_i, b_i – вещественные числа.

Число m постоянно для передаточной функции $K(s)$ и определяется его наименьшим натуральным значением m , для которого

$$\lim_{s \rightarrow \infty} [s^m K(s)] \rightarrow \frac{b_{n-m}}{a_n} \neq 0.$$

Численные эксперименты показали, что для данной передаточной функции $m = 2$. Это соответствует разности порядков полиномов передаточных функций податливости газостатических и гидростатических опор, модели которых учитывают влияние инерции массы вала на их динамику [11, 12]. Неизвестные коэффициенты ПФ находили при помощи итерационного метода, изложенного в работе [13].

Для оценки динамического качества линейных систем использованы корневые критерии: степень устойчивости η и затухание колебаний за период ξ . Степень устойчивости η характеризует быстродействие системы, критерий ξ пригоден к оценке запаса устойчивости системы [9].

5. Динамические характеристики опоры

Расчет критериев динамического качества опоры проводили при единичной безразмерной массе $M_s = 1$, варьируя параметры $P_s, R_1, \chi, H_{d0}, \sigma, V_k$. На графиках рис. 5 – 7 приведены кривые для $P_s = 4, R_1 = 0.75, \chi = 0.45$. К числу параметров, которые не оказывают влияние на статические характеристики, но влияют на динамические характеристики опоры, относятся параметр деформации H_{d0} , число сдвливания σ и объем микроканавки V_k . Влияние этих параметров представляет особый интерес, ибо они являются ресурсом для оптимизации динамических характеристик опоры.

На графиках рис. 5 и 6 показаны зависимости степени устойчивости η и затухания за период ξ от объема V_k при фиксированном $\sigma = 25$ и разных значениях деформации H_{d0} для режима расчетной точки.

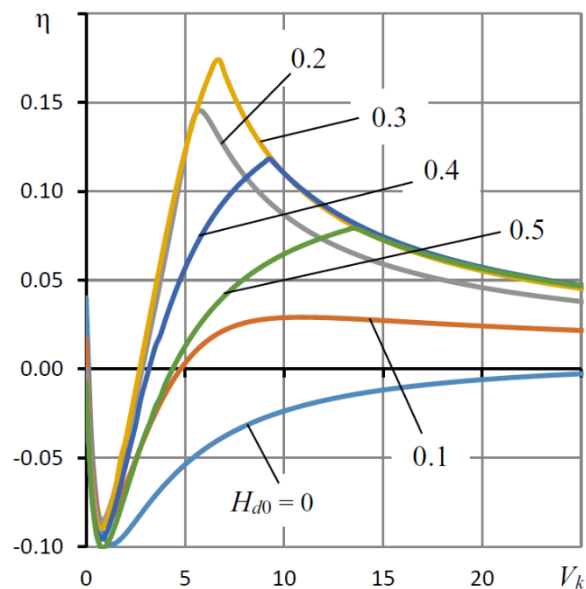


Рисунок 5. Графики зависимости степени устойчивости η от объема V_k при различных значениях параметра H_{d0} , $\sigma = 25$

Графики показывают, что обычная опора с жестким центром 5 ($H_{d0} = 0$) устойчива лишь при малых V_k . Однако, с увеличением H_{d0} , когда жесткий центр 5 приобретает способность совершать дополнительное смещение, опора становится устойчива и при объемах микроканавки, которые на порядок и более превосходят объем несущего слоя. Причем даже малое смещение оказывает существенное влияние на устойчивость опоры: так, неустойчивая обычная опора уже при $H_{d0} = 0.1$ становится устойчивой. Дальнейшее повышение H_{d0} способствует росту быстродействия, который в зависимости от значений других параметров может колебаться в значительных пределах $H_{d0} = 0.25 - 0.5$. Для графиков рис. 5 максимум быстродействия

приходится на $H_{d0} = 0.32$. Дальнейшее повышение H_{d0} ведет к уменьшению быстродействия, при этом опора остается устойчивой.

Приведенные на графике рис. 6 зависимости критерия ξ колебательности переходных характеристик позволяют судить о запасе устойчивости опоры. Видно, что при $H_{d0} > 0.1$ вблизи точек экстремума происходит быстрое нарастание значений критерия ξ , что свидетельствует о снижении колебательности системы и, следовательно, повышении ее демпфирования. Уже при $H_{d0} > 0.2$ для $V_k > V_{k,opt}$, где $V_{k,opt}$ — объем, соответствующий максимальному значению степени устойчивости η , критерий $\xi > 90\%$, что характеризует опору, как хорошо демпфированную динамическую систему [9].

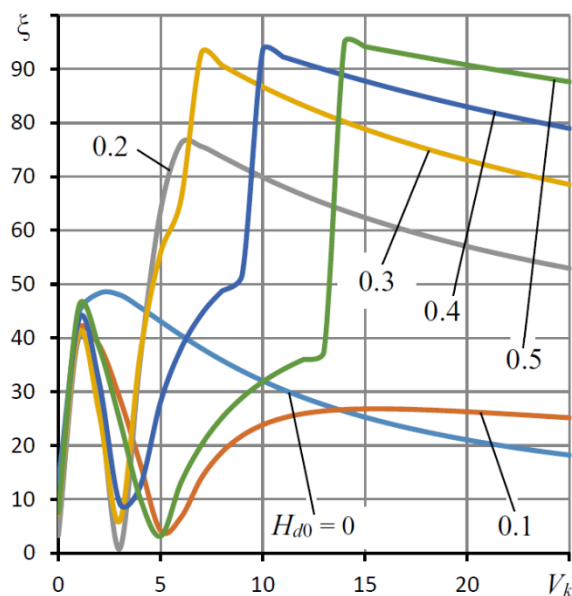


Рисунок 6. Графики зависимости затухания за период ξ от объема V_k при различных значениях параметра H_{d0} , $\sigma = 25$

На графиках рис. 7 показаны зависимости степени устойчивости η от параметра σ , который также оказывает влияние лишь на динамические свойства опоры. Видно, что в расчетной точке опоры может быть как устойчива ($\eta > 0$), так и неустойчива ($\eta < 0$). Увеличение объема V_k микроканавки способствует расширению области устойчивости и повышению быстродействия опоры. Зависимости $\eta(\sigma)$ также имеют экстремальный характер. Это значит, что каждому значению объема V_k соответствует оптимальное с точки зрения быстродействия значение числа σ . С увеличением V_k пик быстродействия смещается в сторону меньших σ , что соответствует, большим значениям размерного зазора h_0 . При этом сами пики описывают экстремальную кривую, что

свидетельствует о том, что существует и оптимальное по быстродействию значение V_k . Вкупе с ранее сделанными выводами это свидетельствует о том, что для каждого набора значений параметров P_s, R_1, χ существует оптимальный набор значений параметров H_{d0}, σ, V_k , оказывающих влияние лишь на динамику опоры. Впрочем, оптимизация режима расчетной точки не гарантирует, что опора будет иметь оптимальные динамические характеристики во всем диапазоне изменения нагрузки F . В этом диапазоне при больших объемах микроканавки такая опора может быть даже неустойчивой. Как показал анализ расчетных данных, область неустойчивости может занимать до половины этого диапазона, приходящейся на малые и умеренные нагрузки.

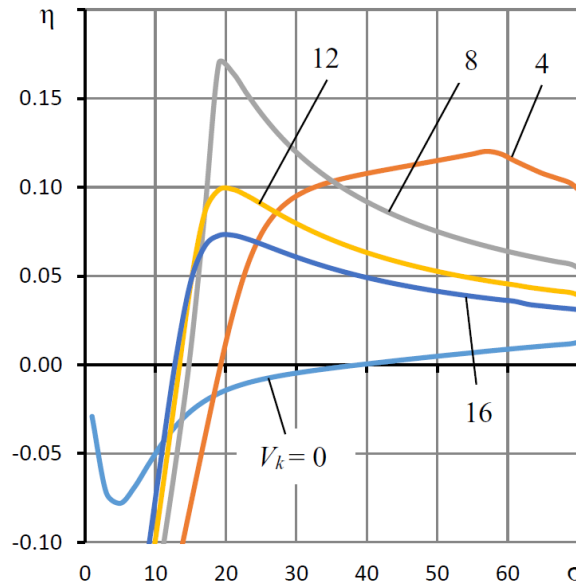


Рисунок 7. Графики зависимости степени устойчивости η от «числа сдавливания» σ при различных значениях объема $V_k, H_{d0} = 0.5$

Из графиков рис. 8, где приведены кривые зависимости степени устойчивости η от нагрузки F , видно, что при больших объемах V_k и малых деформациях H_{d0} в области малых и средних нагрузок

опора неустойчива. Устойчивость в этом диапазоне обеспечивается лишь при $H_{d0} > 0.4$.

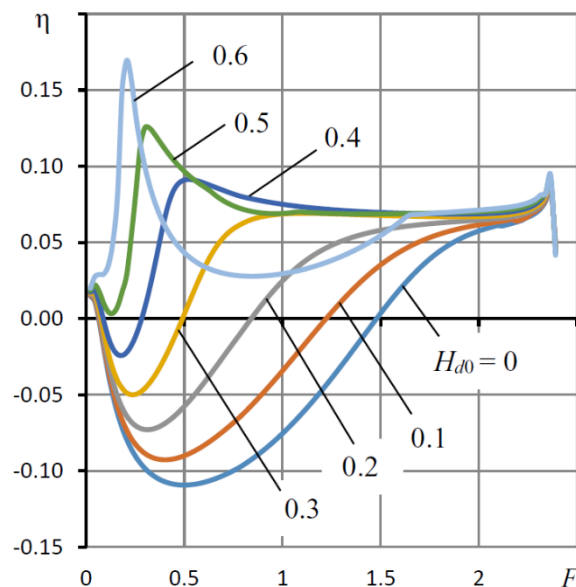


Рисунок 8. Графики зависимости степени устойчивости η от нагрузки F при различных значениях $H_{d0}, \sigma = 25, V_k = 16$

Анализа графиков рис. 8 показывает, что наилучшей с точки зрения быстродействия является кривая, соответствующая $H_{d0} = 0.5$. Для этого режима устойчивость имеет место во всем диапазоне нагрузок при $\sigma = 25$, $V_k = 16$.

6. Пример проектного расчета опоры

В заключение исследования приведем пример расчета размерных характеристик опоры, соответствующий $\sigma = 25$, $V_k = 16$.

Примем радиус опоры $r_0 = 40 \cdot 10^{-3}$ м, давление окружающей среды $p_a = 0.1 \cdot 10^6$ Па. Максимальная безразмерная нагрузка на опору $F_{max} = 2.42$, максимальная нагрузка $f_{max} = \pi r_0^2 p_a F_{max} = 1.2 \cdot 10^3$ Н. Безразмерная расчетная нагрузка при $\chi = 0.45$ составляет $F = 1.42$, размерная расчетная нагрузка $f = \pi r_0^2 p_a F = 0.71 \cdot 10^3$ Н.

Используя выражение безразмерной массы вала при $M_s = 1$, найдем формулу для вычисления масштаба текущего времени

$$t_0 = \frac{1}{r_0} \sqrt{\frac{m_s h_0}{\pi p_a}}. \quad (55)$$

Подставив (55) в выражение для числа сдвливания σ задачи (32), получим формулу для вычисления зазора в расчетной точке

$$h_0 = r_0 \sqrt[5]{\frac{\pi r_0}{m_s p_a} \left(\frac{12\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (56)$$

Приняв массу вала $m_s = 5$ кг и вязкость воздуха $\mu = 17.2 \cdot 10^{-6}$ Па·с, по формуле (56) найдем зазор $h_0 = 18 \cdot 10^{-6}$ м. Используя формулу (55), найдем масштаб текущего времени $t_0 = 0.42 \cdot 10^{-3}$ с. Известная формула [9] для определения длительности t_{mn} затухания переходной характеристики при $\eta = 0.07$ дает

$$t_{mn} = \frac{3t_0}{\eta} = 0.02 \text{ с.}$$

При температуре $T = 293$ К, газовой постоянной $\mathcal{R} = 287.14$ м²/с²·С, показателе адиабатического расширения воздуха $\gamma = 1.4$ вычислим

$$\Gamma = 2\sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} = 1.7. \text{ Безразмерное давление в}$$

микроканавке $P_k = \sqrt{1 + \chi(P_s^2 - 1)} = 2.78$. Из условия равенства расходов Q_k и Q_h найдем критерий подобия дросселя $A_k = \frac{A_h(P_k^2 - 1)}{\Pi(P_s, P_k)} = 12.8$.

Примем число диафрагм $n_k = 3$. Используя (15), вычислим диаметр простых диафрагм

$$d = h_0 \sqrt{\frac{A_k p_a h_0}{3\mu n_k \Gamma \sqrt{\mathcal{R} T}}} = 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Воспользовавшись формулой (14), определим безразмерный расчетный расход смазки $Q = 23$. Раз-

$$q = \frac{\pi h_0^3 p_a^2}{12\mu \mathcal{R} T} Q = 2.4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Объем несущего слоя в расчетной точке $v_k = \pi r_0^2 h_0 [1 + R_1^2 (H_s - 1)] = 86 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$.

Площадь сечения микроканавки $s_k = \frac{v_k}{2\pi r_0 R_1} = 1.44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, глубина $l_k = \sqrt{s_k} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

7. Заключение

В работе предложено усовершенствованное техническое решение осевой газостатической опоры с упругим подвесом опорного диска, простыми диафрагмами и кольцевой микроканавкой. Представлены результаты математического моделирования и теоретического исследования стационарного и нестационарного режимов работы опоры, показана возможность улучшения её динамических характеристик за счёт уменьшения объёма центральной части несущего слоя. Установлено, что оптимальный выбор числа сдвливания, объёма микроканавки и коэффициента упругости подвеса, обеспечивающего смещение опорного центра, доставляет опоре высокое быстродействие и запас устойчивости. Дан пример проектного расчета конструкции.

Список Литературы

1. Космынин, А.В. Упорные газостатические подшипники. Оптимизация конструкции / А.В. Космынин, О.А. Красильникова, В.С. Виноградов. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т, 2011. – 109 с.
2. Constantinescu, V.N. Gas lubrication / V.N. Constantinescu. – New York: The American Society of Mechanical Engineers, 1969. – 709 p.
3. Al-Bender, F. Air Bearings: Theory, Design and Applications / F. Al-Bender. – New York: John Wiley & Sons Inc, 2021. – 500 p.
4. Rowe, W.B. Hydrostatic, Aerostatic and Hybrid Bearing Design / W.B. Rowe. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012. – 352 p.
5. Пинегин, С.В. Статические и динамические характеристики газостатических опор / С.В. Пинегин, Ю.Б. Табачников, И.Е. Сипенков. – М.: Наука, 1982. – 265 с.
6. Zhang, J. Numerical research of pressure depression in aerostatic thrust bearing with inherent orifice / J. Zhang, D. Zou, N. Ta, Z. Rao // Tribology International. – 2018. – Vol. 123. – P. 385-396.
7. Kodnyanko, V.A. Theoretical Study on Dynamics Quality of Aerostatic Thrust Bearing with External Combined Throttling / V.A. Kodnyanko, S.N. Shatokhin // FME Transactions. – 2020. – Vol. 46. – № 4. – P. 342-350.
8. Дасгупта, С. Алгоритмы / С. Дасгупта, Х. Пападимитру, У. Вазириани. – М.: МЦНМО, 2019. – 320 с.

9. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2003. – 752 с.

10. Юдин, Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Д.Б. Юдин. – Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 320 с.

11. Мальцев И.А. Основы линейной алгебры / И.А. Мальцев. – Изд. 2-е, исправ. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 480 с.

12. Kodnyanko, V.A. Quality of Dynamics of Gas-static Thrust Bearing with Movable Carrying Circle on Elastic Suspension / V.A. Kodnyanko, A.S. Kurzakov // Tribology in Industry. – 2019. – Vol. 41. – № 2. – P. 237-241.

13. Kodnyanko, V.A. Mathematical Modeling on Statics and Dynamics of Aerostatic Thrust Bearing with External Combined Throttling and Elastic Orifice Fluid Flow Regulation / V.A. Kodnyanko, S.N. Shatkhin, A.S. Kurzakov, Yu.A. Pikalov // Lubricants. – 2020. – Vol.8. – № 57.

АНАЛИЗ ЭНЕРГО-ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШИЛОК С ВЗВЕШЕННЫМ СЛОЕМ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

Сажин В. Б.

доктор технических наук, профессор, академик, директор Российского инвестиционно-инновационного Фонда «Научная Перспектива», Москва

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF DRYERS WITH A FLUIDIZED BED OF DISPERSED PARTICLES

Sazhin V.

Doctor of Technical Sciences, Distinguished Professor, Director of Russian Investment and Innovation Fund "Scientific Perspective", Moscow

Аннотация:

Исследована гидродинамика взвешенного слоя для наиболее распространённых в промышленности сушилок с взвешенным слоем дисперсного материала. Проведена оценка эффективности популярных гидродинамических режимов и указаны их особенности, влияющие на область рационального применения. Показано, что опора на данные теплового баланса существенно искажает выводы о энергоэффективности сушилок в сравнении с разработанным нами методом эксергетического анализа эффективности. сушилок, соответствующих современным требованиям с точки зрения интенсивности, экономии ресурсов, качества продукта, а также экологической чистоты.

Abstract:

The hydrodynamics of a suspended layer for the most widespread industrial dryers with a suspended layer of dispersed material has been investigated. An assessment of the effectiveness of popular hydrodynamic modes is carried out and their features are indicated that affect the area of rational application. It is shown that reliance on heat balance data significantly distorts conclusions about the energy efficiency of dryers in comparison with the exergy efficiency analysis method developed by us. dryers that meet modern requirements in terms of intensity, resource saving, product quality, as well as environmental friendliness.

Ключевые слова: сушка, материал, дисперсный, взвешенный

Keywords: drying, material, dispersed, suspended

Развитие промышленных производств в современных условиях предполагает ресурсосбережение и создание экологически чистых производств. В любой отрасли промышленности одной из самых затратных стадий производства с точки зрения ресурсов и экономики, является стадия сушки. Кроме того, это – одна из самых неблагоприятных стадий в экологическом отношении, прежде всего, из-за мощных пылевых и тепловых выбросов в атмосферу с отходящими газами после сушильных установок [1-6]. На сушку расходуется до 15-20% от всех энергетических затрат на промышленное производство страны. Кроме того, общеизвестно, что сушилки являются весьма металлоёмким оборудованием и занимают большие производственные площади. Это очень важно учитывать в современных условиях, так как вопросы экономии металла и производственных площадей еще долгие годы останутся в числе актуальных. Сушке подвергаются

многие тысячи продуктов во всех отраслях промышленности, в том числе, в химической. Причем, в химической промышленности большинство продуктов высушивается в дисперсном состоянии, что обусловило все возрастающее применение для их сушки различных гидродинамических режимов взвешенного слоя [1-7].

Большое количество разнообразных режимов с твердой фазой, появившихся в последнее время, в отличие от режима фильтрующего слоя (неподвижного или плотного движущегося) получило общее название «режимы взвешенного слоя». В настоящее время известны десятки различных режимов взвешенного слоя и число их продолжает увеличиваться.

Применительно к процессам сушки режимы взвешенного слоя весьма селективны. Поэтому подбор рациональной сушилки взвешенного слоя

для конкретного материала занимал несколько месяцев (а иногда и лет) и был связан с необходимостью создания целого ряда модельных и опытных установок с различными гидродинамическими режимами с целью последующей экспериментальной проверки на каждой из них возможности и целесообразности высушивания данного продукта. При этом, в случае возникновения альтернативных вариантов, как правило, отсутствовали критерии объективной оценки их конкурентной способности, что не позволяло осуществлять оптимизацию процесса сушки. Необходимо, чтобы для каждого продукта было свое оптимальное режимно-конструктивное решение стадии сушки, соответствующее конкретной технологической задаче. Учитывая многотысячный ассортимент подлежащих сушке материалов, анализ неизбежно приводит к необходимости классификации материалов как объектов сушки с учетом технологических требований и разработки для каждого класса материалов типовых сушильных аппаратов достаточно маневренных для того, чтобы настраиваться на решение разновидностей технологических задач внутри каждого класса (каждой группы) материалов с целью обеспечения оптимального проведения процесса сушки каждого материала данного класса с учетом индивидуальной специфики этого материала.

Нами показана возможность и необходимость подходить системно, на научной основе к проблеме создания эффективных сушильных аппаратов, соответствующих современным требованиям с точки зрения интенсивности, экономии ресурсов, качества продукта, а также экологической чистоты [1; 3; 5: 7-9].

Многие из гидродинамических режимов взвешенного слоя реализуются в аппаратах уносного типа (т.е. после интенсивной обработки материала происходит вынос твердой фазы из аппарата), и это требует установки системы пылеочистки. Поэтому решение проблемы пылеочистки после сушильных аппаратов представляет собой, бесспорно, важную задачу. Нами с сотрудниками и учениками в рамках международной научной школы академика Б.С. Сажина созданы научные основы техники сушки дисперсных материалов при эффективных гидродинамических режимах. Для этого был решен ряд основных задач [1-15]:

- Анализ методов исследования характеристик влажных материалов и выбор рациональных способов, позволяющих оперативно проводить комплексный анализ материалов как объектов сушки.

- Разработка классификации влажных материалов как объектов сушки, позволяющей в отличие от существующих, осуществлять прямой переход от статики сушки к выбору рационального гидродинамического режима сушки во взвешенном слое.

- Выявление характеристических особенностей типовых гидродинамических режимов взвешенного слоя и разработка соответствующей классификации.

- Аналитические и экспериментальные исследования наиболее важных гидродинамических режимов взвешенного слоя с целью создания методов их расчета и уточнения области рационального применения.

- Разработка методов количественной оценки активности и эффективности гидродинамических режимов взвешенного слоя с целью объективной оценки альтернативных вариантов при исследованиях новых аппаратов и практическом выборе рациональной конструкции.

- Анализ существующих решений и выбор оптимальных конструкций типовых аппаратов с взвешенным слоем для каждого класса влажных дисперсных материалов.

- Разработка методов расчета и моделирования типовых сушильных аппаратов с взвешенным слоем дисперсного материала.

- Исследование средств пылеочистки, использующих режимы взвешенного слоя с целью создания экологически чистых сушильных аппаратов или агрегатов с взвешенным слоем.

- Анализ сушильной установки в целом с точки зрения энергетических затрат и разработка рекомендаций по улучшению работы отдельных частей сушильной установки.

- Разработка инженерных методов выбора и расчета сушильных установок для конкретных продуктов на основе комплексного анализа материалов как объектов сушки, особенностей технологических задач с учетом требований по экономии энергоресурсов и экологии.

К настоящему времени создана система расчета, позволяющая без экспериментов перейти от статики к кинетике сушки во взвешенном слое на основе принципа соответственных состояний и кинетики сушки модельных материалов с осуществлением комплексного учета экономической целесообразности и экологической чистоты сушки. Впервые представлены анализ и решения, относящиеся к сушильной установке в целом, включая не только собственно сушильные аппараты, но и комплектующее оборудование. Разработана классификация влажных дисперсных и гранулированных материалов как объектов сушки, включающая шесть классов, причем классификация влажных материалов впервые приведена в соответствие с классификацией пор по радиусам, что позволяет при известном механизме переноса влаги в порах правильно оценивать диффузионное сопротивление порового пространства и время удаления влаги из пор при сушке во взвешенном слое.

Выявлены характеристические особенности типовых гидродинамических режимов взвешенного слоя и разработана соответствующая классификация. В частности установлено, что режим кипящего слоя (КС) имеет ограниченную область рационального применения в связи с недостаточной гидродинамической устойчивостью, неудовлетворительной гидродинамической моделью, близкой к модели идеального смешения; невысоким показателем допустимой полидисперсности, образова-

нием значительных зарядов статического электричества и ограниченной нагрузкой по газовой фазе. Проведено детальное изучение и математический анализ гидродинамики сушки в наиболее важных и малоисследованных гидродинамических режимах взвешенного слоя с позиций сушильной техники (псевдооживление и фонтанирование, вихревой слой, закрученные потоки и др.). Осуществлено математическое описание поведения дисперсной и сплошной фазы при переменной массе частиц полидисперсной фазы с учетом изменения размеров частиц в процессе сушки и других особенностей поведения полидисперсной двухфазной системы с переменной массой при сушке во взвешенном слое.

Разработаны методы количественной оценки эффективности гидродинамических режимов взвешенного слоя при сушке дисперсных материалов, в том числе с использованием эксергетического анализа и эксергетического коэффициента полезного действия. Рассмотрен вопрос о конструктивном совершенстве (на примере аппаратов ВЗП – с встречными закрученными потоками) с использованием уравнения Фоккера-Планка и характеристических функций; сформулированы принципы конструктивной оптимизации применительно к процессам сушки и пылеулавливания.

Впервые проведен эксергетический анализ работы сушильных установок химической промышленности. Проведено сравнение балансового теплового анализа (энергетический баланс) и эксергетического анализа. Показана несостоятельность простого энергетического баланса как метода оценки работы сушильных установок и преимущества эксергетического анализа, позволяющего вскрыть реальные резервы и наиболее несовершенные узлы сушильной установки. С помощью эксергетического метода показана возможность снижения энергоемкости при использовании эффективных гидродинамических режимов [7-10; 12; 15]. Разработаны методы выбора, расчета и моделирования типовых сушилок с взвешенным слоем для каждого класса влажных дисперсных материалов предложенной классификации.

Вся система научного анализа доведена нами до инженерных решений. Разработана стратегия выбора оптимального состава сушильных установок (основного аппарата с оптимальным гидродинамическим режимом для сушки любого конкретного материала с комплектом вспомогательным оборудованием: питатели-дозаторы, тягодутьевые средства, нагреватели, пылеуловители и др.). Таким образом можно для каждого материала (включая ранее неизвестные и десятки тысяч известных высушиваемых материалов) на основе комплексного анализа как объекта сушки с использованием доступных практик приборов и предлагаемых инженерных методик осуществить выбор эффективного гидродинамического режима и типового аппарата с взвешенным слоем материала.

Применение разработанных методов позволяет значительно сократить затраты времени на проведение исследовательских работ, необходимых для создания и испытания экспериментальных

сушильных установок с целью выбора рационального аппарата и режима сушки, а во многих случаях даже исключить эту стадию исследования. Предлагаемые типовые аппараты с эффективными гидродинамическими режимами имеют в десятки раз меньшую металлоемкость по сравнению с традиционными аппаратами и занимают значительно меньшие производственные площади.

Разработчики новых сушильных аппаратов с взвешенным слоем материала могут на основании предложенных нами рекомендаций осуществить объективную оценку целесообразности своих разработок, сравнивая эксергетические КПД имеющихся и предлагаемых аппаратов. Проектировщики, используя разработанные нами результаты и рекомендации, могут создать оптимальную для каждой технологической задачи сушильную установку, отличающуюся высокой эффективностью, обеспечивающую необходимое качество высушенного продукта и экологическую чистоту установки. При этом, как конструкторы, так и проектировщики могут осуществить не только необходимые технологические и гидродинамические расчеты, но и тепловые расчеты с использованием разработанных приемов и эксергетического анализа сушильных аппаратов и сушильной установки в целом, что обеспечит экономию энергоресурсов [5-9; 13; 14].

Проведён анализ гидродинамики сушилок со взвешенным слоем и рассмотрены основные факторы, определяющие гидродинамику сушильных аппаратов. Показано, что при сушке дисперсных материалов гидродинамическая обстановка играет решающую роль, так как сушка дисперсных материалов соответствует, как правило, внешней или смешанной задачам массообмена. Нами впервые введено понятие «эффективные гидродинамические режимы» вместо термина «активные гидродинамические режимы», т.к. это понятие, по мнению автора, более точно отражает три важнейших составляющих оптимальной гидродинамической обстановки: интенсивность, достигаемая средствами гидродинамики; экономичность и качество высушенного продукта. Показана перспективность использования для сушки дисперсных материалов гидродинамических режимов взвешенного слоя [1-4, 7; 11-15].

Нами разработан метод количественной оценки активности гидродинамического режима при сушке дисперсных материалов [1; 7; 11; 13]. Для оценки активности гидродинамической обстановки в сушильной установке можно использовать косвенный показатель, связанный с коэффициентом межфазной теплоотдачи α в процессе сушки:

$$\alpha s_q(t - \theta)\eta = -\frac{dU}{d\tau} m_q(r_n + \Delta r) \quad (1)$$

или
$$\frac{s_{q,yo}}{r_n + \Delta r} \overline{\alpha \tau}_h(t - \theta)\eta = (U_h - U_k) \quad (2)$$

Обычно
$$\overline{\alpha \tau}_h \Delta t \eta = const \quad (3)$$

Оценка активности гидродинамического режима с помощью комплекса (3) осложняется тем, что объективной процедуры выбора рационального значения (3) не существует.

Указанные затруднения могут быть преодолены, если для оценки активности гидродинамического режима в аппарате использовать его эксергетические характеристики.

Балансовые соотношения:

$$G_m \Delta h_m + W r_n = \alpha F \Delta t_{cp} \quad (4)$$

$$G_m \Delta u_m = \beta F \Delta x_{cp} \quad (5)$$

$$\Delta h_c = c \Delta t_c + h_n \Delta x_c \quad (6)$$

Из (4)-(6) следует

$$\Delta h_c = G_m \Delta h_m \frac{c}{\delta \alpha F} + \frac{c \beta}{\delta \alpha} \Delta x_{cp} h_n + \Delta x_{cp} h_n \quad (7)$$

Вводя безразмерные комплексы

$$Le = c \beta / \alpha, \quad g = G_c / G_m, \quad n = \beta F / G_c \quad (8)$$

получим из (7) и (8):

$$\Delta h_c = \frac{Le}{gn} \Delta h_m + \left(1 + \frac{Le}{\delta}\right) \Delta x_{cp} h_n \quad (9)$$

где $\delta = \Delta t_{cp} / \Delta t_c$

Используя эксергетическую температурную функцию для перехода от тепловых характеристик к эксергетическим, получим:

$$\frac{\Delta e_n}{\Delta e_c} = \eta_e = \frac{1 - Le \Delta e_m}{gn \Delta e_c (1 + Le / \delta) \Delta x_{cp}} \quad (10)$$

где Δe – изменение удельной эксергии.

Соотношение (10) позволяет путем сопоставления значений эксергетического КПД для различных вариантов режимов выбрать оптимальный вариант, соответствующий максимальному значению этого показателя. Учитывая энергозатраты, обусловленные выделением высушенного продукта из газовой фазы (независимо от того, проводится этот процесс непосредственно в сушильном аппарате или вне его), получим:

$$\eta_9 = \frac{K_1 \eta_e + K_2 \eta_{cen}}{2} \quad (11)$$

Коэффициенты K_1 и K_2 характеризуют относительный уровень ущерба, наносимого окружающей среде тепловыми и пылевидными загрязнениями от сушилки. В обычных условиях можно принять $K_1 = K_2 = 1$.

С учетом энергетических затрат на процесс сепарации имеем:

$$\eta_{cen} = \frac{\eta_z + \eta_{ул}}{2} \quad (12)$$

$$\text{где } \eta_z = \frac{\ln(p^{6x} - \Delta p) - \ln p_0}{\ln p^{6x} - \ln p_0} \quad (13)$$

Учитывая стохастичность процесса уравнение для функции распределения f твердых частиц в аппарате:

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} + \varphi \frac{\partial f}{\partial r^2} - b \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} = \frac{\partial \varphi}{\partial r} f \quad (14)$$

Дополним уравнение (14) граничными и начальными условиями:

$$f|_{r=0} = F(r) \quad (15)$$

$$\left(p_0 f + q_0 \frac{\partial f}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_0} = 0 \quad (16)$$

$$\left(p_1 f + q_1 \frac{\partial f}{\partial r} \right) \Big|_{r=R} = 0 \quad (17)$$

$$\int_0^R f(r, 0) dr = 1 \quad (18)$$

где коэффициенты p_0, p_1, q_0, q_1 характеризуют конструктивные особенности сепаратора, а уравнение (18) является условием нормировки искомой функции. Решение представленной краевой задачи дает количество твердой фазы $G_{ул}$, задержанной в аппарате (например, СВЗП) за время среднего пребывания материалов в аппарате, что позволяет оценить η_{cen} :

$$\eta_{cen} = \frac{G_{ул}}{G_{ex}} \quad (19)$$

В случае агрегации пыли в сепараторе можно использовать зависимость:

$$f(d) = cd^{\chi-1} \exp(-\lambda d) \quad (20)$$

где c, χ – параметры процесса, λ – кинетический коэффициент, определяющий скорость процесса, d – диаметр агломерата.

Используя условие нормировки функции $f(d)$ и определяя ее моменты, получим:

$$c = \lambda^\chi / \Gamma(\chi), \quad M(d) = \chi / \lambda, \quad \delta^2 = \chi / \lambda^2 \quad (21)$$

тогда

$$f(d) = \frac{(\bar{d} / \sigma)^{2\chi}}{\Gamma(\bar{d} / \sigma)} (d / \bar{d})^\chi \exp\left(-\frac{\bar{d}}{\sigma^2} d\right) \quad (22)$$

Примем для кинетики процесса степенную зависимость

$$\frac{d(\bar{d})}{d\tau} = \chi \bar{d}^{-K_r} \quad (23)$$

где χ, K_r – константы скорости процесса, определяемые экспериментально.

Для оценки среднего размера агломерата получаем:

$$\bar{d} = \frac{1}{\left[(d_0)^{1-K_r} + \chi(1-K_r)\tau \right]^{K_r-1}} \quad (24)$$

Во всех случаях эксергетический КПД более точно отражает реальную картину распределения подведенных энергоресурсов и эффективность использования той составляющей этих ресурсов, которая направляется на создание заданной гидродинамической обстановки. Анализ работы типовых сушилок со взвешенным слоем показывает, что

наиболее активная гидродинамическая обстановка создается в аппаратах со встречными закрученными потоками, для которых $\eta_e = 0,7 \div 0,8$. По гидродинамической активности этим аппаратам несколько уступают трубы-сушилки, работающие в режиме пневмотранспорта, для которых $\eta_v = 0,65 \div 0,7$. Наименьший эксергетический КПД соответствует установкам с кипящим слоем ($\eta_e =$

$0,3 \div 0,4$). Следует отметить, что в сушилках с встречными закрученными потоками (СВЗП) основной технологический процесс – сушка – совмещается с сепарацией готового продукта из газовой фазы, что существенно улучшает общий показатель эффективности [8-11; 12; 14].

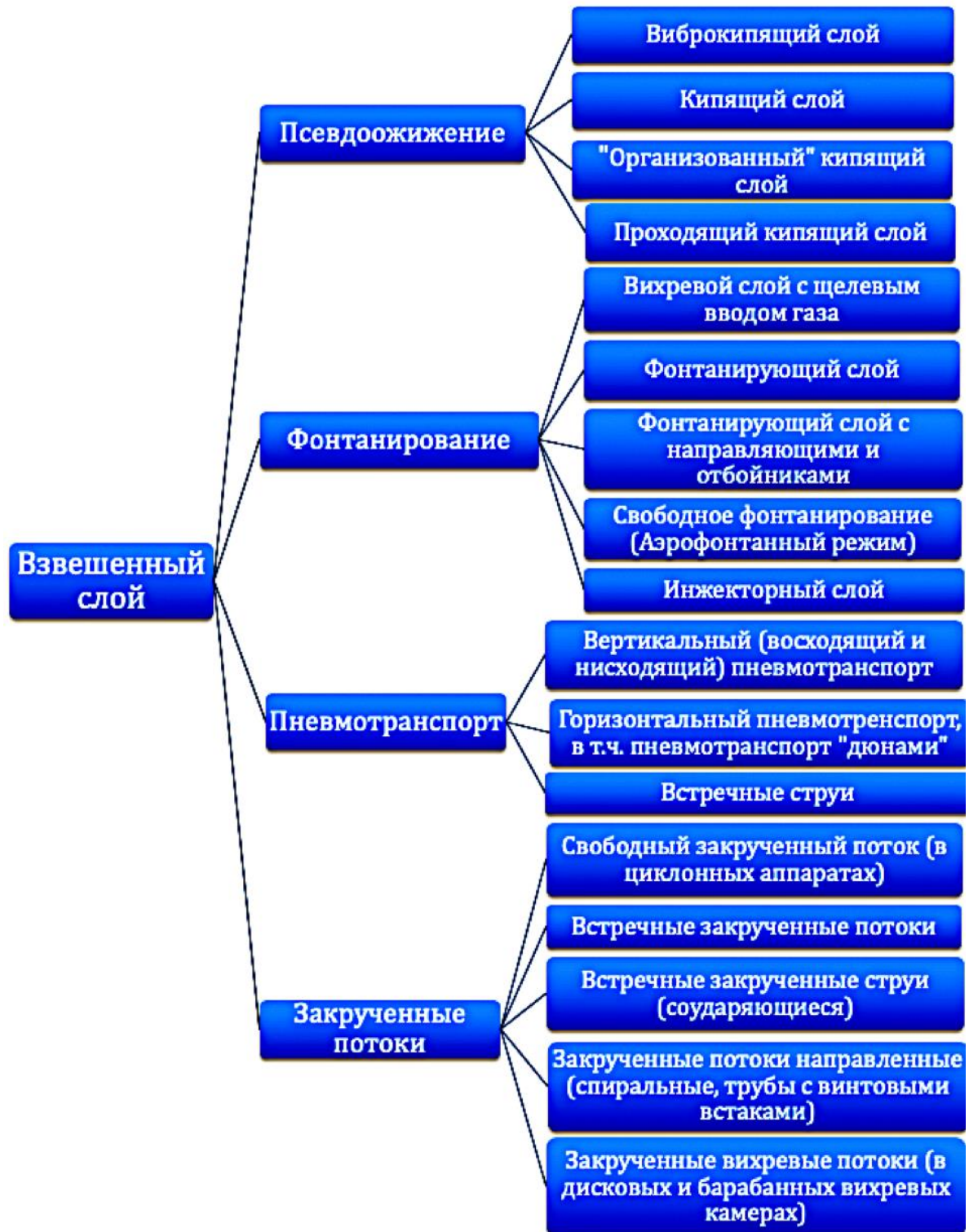


Рис. 1. Классификация гидродинамических режимов взвешенного слоя (Классификация Б.С. и В.Б. Сажиных)

Представлены классификации Б.С. и В.Б. Сажиных материалов как объектов сушки (таблица 1) и гидродинамических режимов взвешенного слоя (рисунок 1), а также схемы основных типов промышленных сушилок, реализующих эти режимы (рисунок 2).

Табл. 1.

Классификация дисперсных материалов как объектов сушки (Классификация Б.С. и В.Б. Сажиных)

Показатель технологической задачи (Bi')	Класс материалов	Шифр (класс, группа, разряд)	Критический диаметр пор $d_{кр}$, нм	Группа пор	Ранг адгезионно-аутогезионного коэффициента K_a	Показатель дисперсности		Характеристика пористой структуры материала и вида связи влаги	Продолжительность сушки в эффективном гидродинамическом режиме							
						Грубодисперсные	Тонкодисперсные									
$Bi' < 0,1$	Первый	1.1.1.	Более 100	0	2	1	2	Непористые материалы со свободной влагой	0,5-2,0 с							
		1.1.2.				2										
		1.2.1.				3										
		1.2.2.				2										
$Bi' < 1$	Второй	2.1.1.	100-8	1	2	1	2	Широкопористые материалы со слабо связанной влагой (Испарение жидкости из жидкой пленки)	3,0-5,0 с							
		2.1.2.				2										
		2.2.1.				3										
		2.2.2.				2										
		2.3.1.				4										
		2.3.2.				2										
$Bi' < 10$	Третий	3.1.1.	8-6	2	2	1	2	Высоковлажные материалы с переходными порами со свободной и связанной влагой (Кнудсеновская диффузия)	10-40 с							
		3.1.2.				2										
		3.2.1.				3										
		3.2.2.				2										
		4.1.1.				2										
		4.1.2.				2										
$Bi' < 20$	Четвертый	4.2.1.	6-4	3	3	1	2	Тонкие поры со свободной и связанной влагой (Кнудсеновская и поверхностная диффузия)	0,5-2,0 мин							
		4.2.2.				2										
		5.1.1.				2										
		5.1.2.				2										
		$Bi' \geq 20$				Пятый				4-2	4	2	1	2	Микропоры со связанной влагой (поверхностная диффузия)	2-20 мин
$20 < Bi' < 30$	Шестой	6.1.1.	Менее 2	5	1	До 1 мм	-	Ультрамикропоры соизмеримые с размерами молекул (твердотельная диффузия)	2-20 мин							

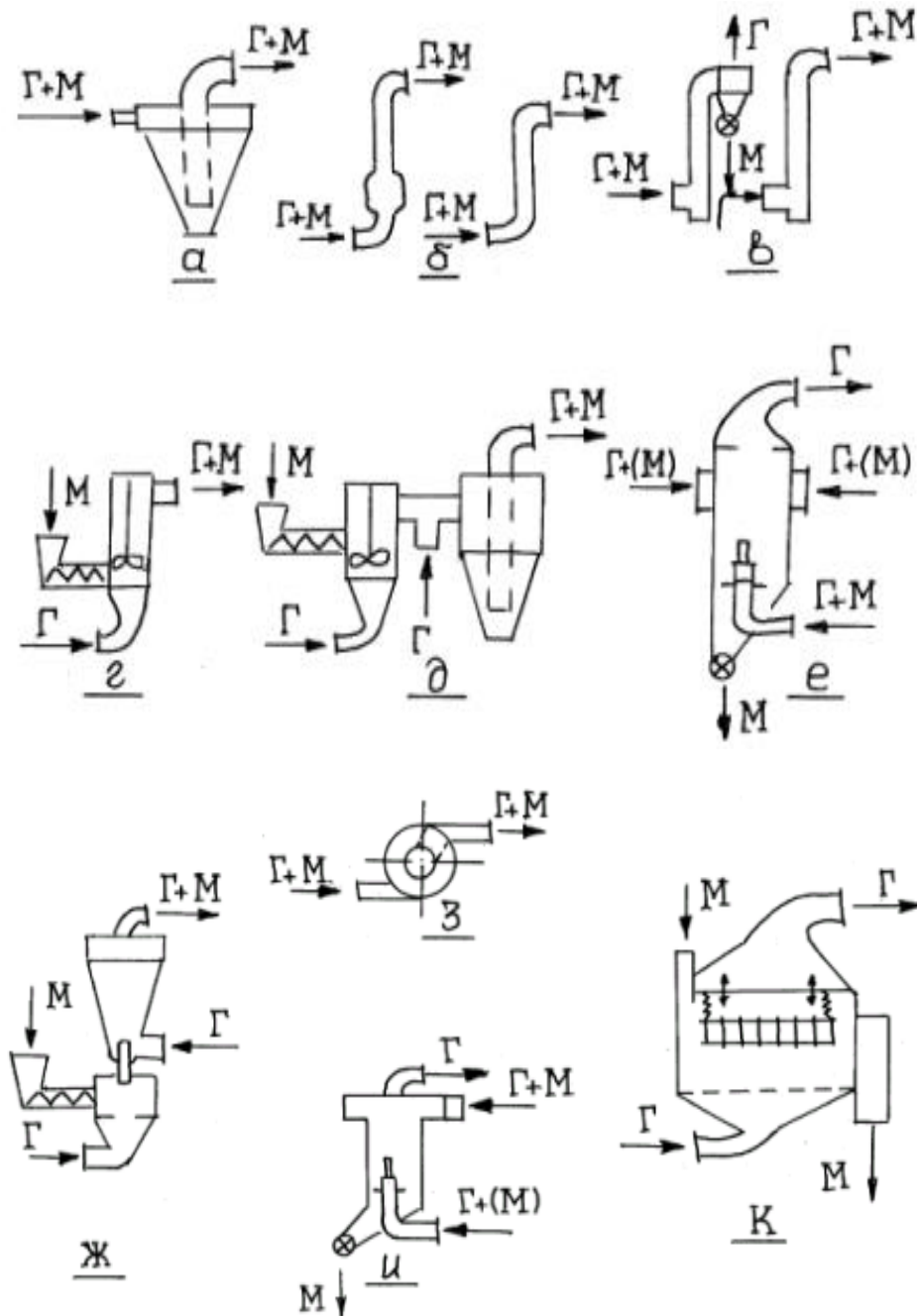


Рис. 2. Схематическое изображение основных типовых сушилок со взвешенным слоем материала: а - циклонная сушилка (ЦС); б - одноступенчатая труба-сушилка (ТС-1); в - двухступенчатая труба-сушилка (ТС-2); г - сушилка с проходящим кипящим слоем (СПКС); д - комбинированная циклонная сушилка (КЦС); е - сушилка со встречными закрученными потоками (СВЗП); ж - комбинированная аэрофонтанная сушилка (КАС); з - вихревая сушилка (ВС); и - комбинированная безуносная сушилка с закрученными потоками (СВЗП-ВК); к - сушилка с вибрирующими поверхностями нагрева, погруженными в слой (КСВПН); Г – сушильный агент, М – материал

Проведен анализ достоинств и недостатков основных гидродинамических режимов взвешенного слоя и сопоставление их показателей с соответствующими показателями классического кипящего слоя (таблицы 2 и 3).

Классификация дисперсных полимерных материалов как объектов сушки во взвешенном слое.

Структура материала и вид связи влаги с ним	Адгезионно-аутогезионный коэффициент Ка	Критический диаметр пор, нм	Продолжительность сушки во взвешенном слое, с	Тип сушилки*
Непористые и широкопористые со свободной и слабосвязанной влагой	1-3	>100	1-2	Одноступенчатая ТС-1; ЦС
Высоковлажные с переходными порами со свободной и связанной влагой	1-5	100-6	20-40	Двухступенчатая ТС-2; КЦС; КАС
Тонкопористые со свободной и связанной влагой	1-3	6-4	50-150	ВС
Микропористые со свободной и связанной влагой	1-3	4-2	200-1000	ВКС
Ультрамикропористые со свободной и связанной влагой; $d_{ч} \leq 1 \mu\text{м}$	3	<2	1000-1500	ВКС

*ТС - труба-сушилка; ЦС - циклонная сушилка; КЦС - комбинированная циклонная; КАС - комбинированная аэрофонтанная; ВС - вихревая сушилка; ВКС - с виброкипящим слоем.

Определены области рационального применения каждого из основных гидродинамических режимов взвешенного слоя, где они могут считаться эффективными. Критерием является то, что в области рационального применения достоинства режима важны для решения соответствующей технологической задачи, а недостатки не имеют существенного значения.

При исследовании гидродинамики типовых сушильных аппаратов нами разработаны гидродинамические модели ряда базовых сушилок и открыты ранее неизвестные эффекты.

Показатели гидродинамических режимов взвешенного слоя [2-4]

Наименование	ГДУ	ГДМ	ня (число псевдосекций)	СЭ, кВ	Ранг активности	Режимные параметры		
						ΔP , кПа	v , м/с	$\epsilon_{ср}$
Кипящий слой (КС)	1	1	1-3	5	2	1,5-5,0	0,1-1,5	0,6-0,75
Проходящий кипящий слой (ПКС)	4	6	5-10	1	10	0,2-0,5	1,5-15	0,7-0,85
Фонтанирующий слой (ФС)	6	3	3-5	3-5	3	3,0-30	8-60	0,65-0,8
Режим свободного фонтанирования (СФ)	5	6	5-10	1	4	0,1-0,3	10-40	0,9-0,99
Виброкипящий слой (ВКС)	5	10	40-100	0,5-2	6	0,1-0,2	0,05-0,8	0,6-0,7
Вихревой слой (ВС)	6	6	5-10	1-3	8	1,5-2,5	10-80	0,65-0,8
Пневмотранспорт (ПТ)	6	8	20-30	0,5-1	9	0,2-1,0	10-30	0,8-0,99
Закрученные потоки (ЗП)	8	6	5-10	1	10	0,6-2,0	15-40	0,85-0,95
Встречные закрученные потоки (ВЗП)	10	6	5-10	1	10	0,5-2,5	10-40	0,8-0,99

Примечание. ГДУ – гидродинамическая устойчивость;
ГДМ – гидродинамическая модель; СЭ – статическое электричество

Например, гидродинамическая модель сушилки фонтанирующего слоя с дополнительными, хордально установленными вводами теплоносителя, интересна тем, что свидетельствует о возможности при определенных параметрах пробивания хордальными струями малоподвижной (балластной) периферийной зоны фонтанирующего слоя (и это подтверждается практикой, способствуя существенной активизации гидродинамического режима. Представлена также модель режима свободного фонтанирования с дезагрегацией материала в процессе сушки (в том числе и за счет инертного носителя).

В связи с особым значением закрученных потоков рассмотрены гидродинамические модели для различных режимов закрученных потоков. При рассмотрении гидродинамики дисковых вихревых сушилок вскрыта природа, на первый взгляд, парадоксальных явлений: отсутствие зависимости удерживающей способности вихревых сушилок от свойств высушиваемого материала в докритической зоне и от расхода газа в закритической зоне, а также резкое уменьшение сопротивления камеры при увеличении концентрации высушиваемого материала в объеме аппарата.

Движение газовой фазы в вихревых аппаратах нами впервые описано с учетом зависимости тангенциальной и радиальной составляющих скорости газа от угловой координаты. Такой подход для данных аппаратов является новым.

Получены формулы для расчета полей радиальной и тангенциальной скоростей газового потока в плоском вихревом аппарате при равномерном и неравномерном стоках газа. На основании разработанной нами математической модели движения газовой фазы в плоском вихревом аппарате проведена серия расчётных экспериментальных исследований. Сделан вывод о необходимости для существенного снижения сопротивления камеры предусматривать в конструкции пережим на выходе газа для равномерного стока газа и усреднения профиля скоростей по угловой координате.

Рассмотрено движение газовой и твердой фаз в плоском вихревом аппарате с позиций механики взаимодействующих, взаимопроникающих сплошных сред (континуумов). Из уравнений движения гетерогенной гидродинамики в стационарном варианте для газа и частиц материала для стоксовского

$$C_M G(\theta_2 - \theta_1) = C_r L(t_1 - t_2) - r(\bar{U}_1 - \bar{U}_2)G = \alpha(\bar{t} - \bar{\theta})F \quad (25)$$

Безразмерное влагосодержание материала может быть представлено в общем виде:

$$\frac{U - U_p}{U_H - U_p} = f\left(\text{Re}; \text{Ar}; \text{Pr}; \text{Fo}; \text{Ko}; \frac{c_r \cdot L}{c_M G}; \frac{t_1 - \theta_1}{\theta_1}; \frac{\alpha_r}{\alpha_M}; \frac{d}{D}; \frac{Eh}{D}\right) \quad (26)$$

За время $d\tau$ к частице материала, находящейся в аппарате, подводится количество тепла

$$dQ = \alpha \cdot f(\bar{t} - \theta) d\tau \quad (27)$$

Подведенное тепло расходуется на нагрев материала и испарение влаги из него, т.е.:

$$dQ = V \cdot \rho_M \cdot r \left[1 + \mu/r + c/r \frac{\partial \theta}{\partial U} \right] \frac{\partial U}{\partial \tau} d\tau \quad (28)$$

Приравнявая (27) и (28) и решая относительно $\frac{\partial U}{\partial \tau}$, получим выражение для скорости сушки материала.

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = - \frac{1}{r \left(1 + \frac{\mu}{r} + \frac{c}{r} \frac{\partial \theta}{\partial U} \right)} \cdot \frac{\alpha f}{V \cdot \rho_M} (\bar{t} - \theta) \quad (29)$$

Таким образом скорость сушки равна произведению величин, характеризующих свойства влажного материала на интенсивность подвода тепла к единице массы материала. Учитывая отсутствие периода постоянной скорости для интенсивных режимов, можно для температуры материала записать соотношение:

$$\frac{dU}{d\tau} = -K \frac{\alpha f}{V \rho_M} \left[\bar{t} - \theta_H - \int_{u_H}^u \frac{r}{c_M + \bar{u} c_{ж}} R\theta(u) dU \right] \quad (31)$$

Используя кусочно-линейную аппроксимацию зависимости $R\theta = f(U)$ для каждого участка можно принять $R\theta = Au + B$. Тогда продолжительность сушки материала на любом участке от влагосодержания u_i до u_{i+1} :

режима обтекания получены соответствующие расчетные уравнения, положенные в основу инженерного расчета плоских вихревых аппаратов. При определении времени пребывания частиц материала в вихревых сушилках проводилось моделирование с использованием теории случайных марковских процессов. Воздействие на частицы случайных сил, обусловленных стохастической природой движения и взаимодействия фаз, учитывалось случайной функцией, которая считалась δ -коррелированной во времени. Плотность вероятности определялась из кинетического уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка. Кроме аналитического получено численное решение для начального распределения, заданного в виде дельта-функции вблизи боковой стенки. получены дифференциальные кривые распределения частиц по временам пребывания в вихревом аппарате при различных параметрах процесса, во многом определяющие качество готового продукта.

Для расчета кинетики сушки в вихревых камерах можно исходить из уравнений теплового и материального баланса [1]:

$$\theta = \theta_H + \int_{u_H}^u \frac{r}{c} R\theta(U) dU \quad (30)$$

где $R\theta = \frac{c}{r} \frac{\partial \theta}{\partial U}$ - критерий Ребиндера, являющийся однозначной функцией влагосодержания и в первом приближении не зависящий от температуры теплоносителя, относительной влажности газа и скорости обдува материала. Используя это свойство можно производить пересчет скорости сушки, полученной экспериментально в периодическом процессе на непрерывный.

Из уравнения (29) можно получить выражение для скорости сушки в непрерывном процессе.

Используя кусочно-линейную аппроксимацию зависимости $R\theta = f(U)$ для каждого участка можно принять $R\theta = Au + B$. Тогда продолжительность сушки материала на любом участке от влагосодержания u_i до u_{i+1} :

$$\tau_1 = \frac{rV\rho_M}{f\alpha} \left[- \int_{u_i}^{u_{i+1}} \frac{du}{E - \frac{Ar}{2c}u^2 - \frac{Br}{c}u} + \frac{c}{r} \ln \frac{\bar{t} - \theta_i}{E - \frac{Ar}{2c}u_{i+1}^2 - \frac{Br}{c}u_{i+1}} \right] \quad (32)$$

где

$$E = \frac{Ar}{2c}u_i^2 + \frac{Br}{c}u_i + (\bar{t} - \theta_i) \quad (33)$$

В частном случае, когда $R\epsilon = B = const$

$$\tau_i = \frac{V\rho_M}{f\alpha} \cdot c \left(\frac{B-1}{D} \right) \ln \frac{\bar{t} - \theta_i}{(\bar{t} - \theta_i) + B \frac{r}{c}(u_i - u_{i+1})} \quad (34)$$

Общая продолжительность сушки материала равна сумме продолжительности сушки по отдельным этапам.

$$\tau = \sum_{i=1}^{i=n} \tau_i \quad (35)$$

Средняя влажность высушенного материала определяется из соотношения

$$\bar{u} = \int_0^{\infty} E(\tau) u_{\tau} d\tau \quad (36)$$

где $E(\tau)$ - дифференциальная функция распределения времени пребывания материала в аппарате.

В соответствии с разработанным методом для определения продолжительности сушки материала в непрерывном процессе необходимо знать зависимость критерия Ребиндера от влагосодержания периодического процесса, близкого по своему температурному режиму к непрерывному, и величину коэффициента теплообмена между газом и дисперсным материалом. Проведенное экспериментальное исследование в широком диапазоне геометрических и режимных параметров сушилок (включая лабораторные, полупромышленные и промышленные аппараты) на большом количестве разных дисперсных материалов, подтвердили корректность теоретических исследований и позволили получить все необходимые данные для выбора типоразмера и расчета вихревых сушилок.

Так как основным недостатком вихревых сушилок является полный вынос высушенного продукта из аппарата, рассмотрены модели гидродинамики безуносных сушилок со встречными закрученными потоками, в частности, поле скоростей газовой фазы в комбинированной сушилке СВЗП-ВК, сочетающей достоинства дисковых вихревых камер ВК с регулируемой гидродинамикой и высокой интенсивностью процесса, и сушилок со встречными закрученными потоками СВЗП, обеспечивающих полное улавливание высушенного продукта. При исследовании гидродинамики и сушки дисперсных материалов в вихревых сушилках нами впервые описано движение газовой фазы

в вихревых аппаратах с учетом зависимости тангенциальной и радиальной составляющих скорости газа от угловой координаты.

Проведены аналитические и экспериментальные исследования безуносной сушилки со спутными закрученными потоками. Впервые для аппаратов данного класса осуществлено численное моделирование движения газовой фазы на основе K_{τ} - ϵ модели турбулентности. Рассмотрено установившееся движение газовой фазы в прямоточном аппарате на основе совместного решения системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса для осесимметричной задачи, уравнения непрерывности и двух уровней K_{τ} - ϵ модели турбулентности.

В заключение следует подчеркнуть, что в аппаратах ВЗП нам удалось реализовать совместное протекание процессов сушки и пылеулавливания в одном аппарате, что ранее считалось невозможным. Причём, в них эффективно высушиваются все основные виды материалов с одновременным улавливанием пыли высушиваемого материала (с порами 60 ангстрем) на 99% и выше [1-4; 7; 10; 12; 15].

Список литературы:

1. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. М.: Наука, 1997. – 448 с.
2. B.S. Sazhin and V.B. Sazhin Scientific Principles of Drying Technology /New York –Connecticut (USA)-Wallingford (U.K.): Begell House Inc.-2007.- 506 PP.
3. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы термовлажностной обработки дисперсных и рулонных материалов. – М.: Химия, 2012. – 776 с.
4. Сажин, В.Б. Научные основы стратегии выбора эффективного сушильного оборудования/В.Б. Сажин, Б.С. Сажин. М.: Химия, 2013, 544 с.
5. Сажин В.Б, Сажина М.Б. Выбор и расчёт аппаратов со взвешенным слоем. – М.: РосЗИТЛП, 2001. – 336 с.
6. Сажин, В.Б. Сушка в закрученных потоках: теория, расчёт, технические решения/ В.Б. Сажин, М.Б. Сажина. Москва. 2001. – 324 с.
7. Сушка в активных гидродинамических режимах /Сажин Б.С., Сажин В.Б. //Теоретич. основы химич. технологии, 2008, том 42, №6, с. 638-653.

8. Сажин Б.С., Булеков А.П., Сажин В.Б. Экспериментальный анализ работы промышленных установок. – Москва. 2000. – 297 с.
9. V.B. Sazhin. Taking into account the dependence of thermal characteristics of wet dispersed materials on temperature and humidity when calculating dryers // Danish Scientific Journal (DSJ) No42/2020 (ISSN 3375-2389) in 4 vv. – Vol. 1. 2020. - 64 p. – P. 46-53.
10. V.B. Sazhin & B.S. Sazhin. Actual contemporary problems of effective drying of dispersed materials in swirled flows [Article] // Sciences of Europe, # 34, 2018, Vol. 1. - PP. 50-63.
11. V.B. Sazhin & B.S. Sazhin. The problem of analysis of dispersed materials as objects of drying and the strategy for its solution / *SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT* #24. - Warszawa: Diamond trading tour, 2019. - Str. 35-41.
12. Сажин, В.Б., Сажин Б.С. Оценка эффективного применения гидродинамических режимов взвешенного слоя // Международный Академический Вестник (ISSN: 2312-5519), №2(8), 2015. С. 123-128
13. Сажин В.Б., Сажин Б.С. Создание эффективной сушильной установки и разработка промышленного кода: технологическая задача и её решение // Межд. Академический Вестник, №5(11), 2015. С. 99-102.
14. V. Sazhin & B. Sazhin Principles classifying materials as processing objects for the processes of drying and washing [article] / «Fundamental science and technology – promising developments V»: in 2 vv. Vol. 1. - «SPC Academic», North Charleston, SC, USA 29406, 2015. - 225pp. (ISBN: 978-1508657552). P. 135-140.
15. V. Sazhin & B. Sazhin Procedure discrimination alternatives in implementing the strategy of choice for efficient drying installation of dispersed materials / «Fundamental science and technology – promising developments IV»: in 3 vv. Vol. 2. - «SPC Academic», North Charleston, SC, USA 29406, 2014.- 281pp. (ISBN: 978-1502702210). P.102-106.

SOCIOLOGICAL SCIENCES

КУДА ПРИШЛА РОССИЯ

Казарова Т.В.

Профессор Государственного академического университета гуманитарных наук

WHERE RUSSIA HAS COME

Kazarova T.

Professor, State Academic University of Humanities

Аннотация.

В статье рассматривается социальная и политическая ситуация в современной России. Автор определяет ее как признак катастрофы Российской цивилизации, если следовать концепциям А. Тойнби и Л.Н. Гумилева, где проблема катастрофы раскрыта наиболее социологически состоятельно. Основные её причины в России, по мнению автора, состоят в социальной пассивности населения, в страхе перед полицейским насилием, вымирания основной этнической группы, а также в желании политической и финансовой элиты сохранить власть. Дается характеристика современной российской элиты и традиционного для России отношения власти к народу.

Abstract.

The article examines the social and political situation of modern Russia. The author defines it as a sign of the catastrophe of Russian civilization. The author refers to the signs of a catastrophe by concepts of A. Toynbee and L.N. Gumilyov as the most sociological consistent. Its main reasons are social passivity of the population, fear of police violence, extinction of the main ethnic group and also the desire of the political and financial elite to maintain power. The characteristic of the modern Russian elite and the traditional for Russia attitude of power to the people is given.

Ключевые слова: социальный и политический тупик, цели элиты, катастрофа цивилизации, отношение власти к народу.

Keywords: social dead end political dead end, the goals of the elite, the catastrophe of civilization, the attitude of the authorities to the people

Когда-то в 90-х годах под руководством известного социолога Заславской Т.И. и благодаря ей проводились почти ежегодные конференции, по материалам которых издавались сборники статей с названием «Куда идет Россия?» .Это было время свободы слова и мысли – это было время *выбора*. Прошло 20 лет и 8 после смерти Татьяны Ивановны, и теперь ясно, куда пришла Россия. В тупик - социальный и политический.

Если политический режим является объектом анализа и критики не только многих аналитиков, но и, так сказать, обывателей, то социальный тупик, хотя процессы взаимосвязаны, намного меньше вызывает интерес и анализ сводится к экономическим проблемам.

Что значит социальный тупик? Уже само слово «тупик» означает, что движение невозможно. Сегодня в России общество как система социальных связей и отношений, предполагающих солидарность, т.е. «общество» в социально-философском понимании, отсутствует. В итоге мы представляем не общество, где общие ценности являются скрепами нации, а население, весьма жестко контролируемое силовыми структурами. "Русская Система - это такой способ взаимодействия ее основных элементов, при котором Русская Власть - единственный социально значимый субъект [6, 8]. Сегодня это определение Ю.В. Пивоварова как никогда характеризует Россию. А у населения цели и желания могут быть самые разные, его основная задача выживание, но главное – это сохранить «свое»: семью,

дом, рабочее место. Замечу, что сходство ценностей не то же самое, что **общая** ценность, поскольку это «*мои дети*», «*моя семья*», «*мой дом*».

Результат: дезинтеграция российского общества, дистанцирование власти, а также всей элиты от него, критическое состояние самой нации, когда актуализировались этнические и конфессиональные идентификации.

Тупик - это признак катастрофического состояния страны или цивилизации, весьма отличающегося от политических или экономических кризисов.

Как отмечают авторы комплексного исследования «Анатомия кризисов», кризисы выполняют очень важные функции в ходе развития социально-политической и экономической системы. Полезность кризисов выражается в разрушении консолидированных структур, без чего невозможно дальнейшее изменение и развитие цивилизации [1, 217]. Кризис можно считать «точкой бифуркации» в эволюции цивилизации. Институциональная система частично изменится, сохранив свои существенные черты, и тогда происходит развитие, «модернизация» цивилизации, которая продолжает свое существование. Своевременная и продуманная совокупность мер может способствовать разрешению кризиса.

Катастрофа возникает как результат синхронизации различных кризисов, аккумуляции огромного числа ошибок, которые долгое время не исправляются, когда общество предполагает не реформирование, а кардинальное изменение всей

институциональной системы и ее элементов. Катастрофа - это признак гибели цивилизации. Не всегда цивилизация погибает в результате революции, как например, Российская империя. Это может быть дисфункция социальных институтов, утрата культурного кода, вымирание основного этноса и замещение его другими инородными этносами. Результат – утрата цивилизацией собственной идентичности и, в конечном счете, разрушение всей цивилизационной системы.

Причины объяснения гибели цивилизации, если исключить природную катастрофу или физическое уничтожение более организованным народом (пример тому гибель Киевской Руси), то самыми состоятельными мне представляются концепции А.Тойнби и Л.Н.Гумилева.

Самое интересное, что обе они характеризуют современное состояние России. По А.Тойнби, это закрытость элиты для творческих представителей народа, ее интеллектуальное вырождение и неспособность к адекватным «ответам на вызовы среды». Но в нынешнее время эта ситуация теоретически разрешима путем демократических честных выборов. Хотя как показали последние выборы, в России эта задача неразрешима в ближайшие годы.

Идея Л.Н.Гумилева о доминировании в народе субпассионариев как причине надлома и гибели цивилизации не является популярной и нередко подвергается критике. Причина тому в обосновании Гумилевым наличия как тех, так и других (пассионариев) энергетическими эффектами. Но если речь идет о России, то истинная причина в том, что выбита и уничтожена лучшая часть народа - в двух мировых войнах, в гражданской, афганской, двух чеченских и сталинскими репрессиями. Сталинские репрессии уничтожили наиболее предприимчивую, активную и самостоятельную часть трудового крестьянства – «кулаков». А в войнах погибают, первую очередь, лучшие – самые смелые, честные, патристически мотивированные. По информации из Википедии в Афганской войне 1979 -1986 погибли 13 835 человек. Это без учета умерших от ран в госпиталях. В первой чеченской погибших — 5042, пропавших без вести — 690 человек. В ходе антитеррористической операции, т.е. во второй чеченской кампании, с 1 октября 1999 года по декабрь 2002 года потери федеральных вооруженных сил и Министерства внутренних дел составили 4,7 тысячи человек убитыми. Я уж не говорю о тысячах эмигрантах первой волны - один «философский пароход» чего стоил. Выжили те, кто адаптировался к советской политической системе. И именно они, занявшие высокие партийные и руководящие должности, и их дети в 70-х (я имею ввиду в основном городское население, в том числе маргиналов, приехавших из деревень) подхватили «вирус потребительства» – ковры, хрусталь, машины – а потом часть из них максимально использовала экономическую анархию 90-х годов в личных целях. Не все, разумеется. Для многих распад СССР стал личной трагедией.

Современная Россия – страна доминирующих субпассионариев, лежащих после работы с пивом

на диване и плящимся в ТВ, либо пишущих возмущенные тексты о правительстве, Путине и т.д. в Интернете, но отнюдь не готовых выйти на протестные акции. Причина – страх за детей, за семью. В последние годы российская власть сделала много для культивирования подобного страха. Сегодня в силовых структурах России работает 2,6 миллионов человек, не считая армию. Но не последняя роль принадлежит социально-политической пассивности и отсутствию веры в возможность изменить ситуацию. Об этом свидетельствует факт, что в последних выборах в Думу приняла участие только половина взрослого населения (51,8 %).

Россия уже более 12 лет находится в состоянии «застоя», именуемом сегодня «стабильностью». К чему привела стабильность брежневской эпохи известно. И все же тогда существовало общество, так называемый «советский народ», который разрушил эту стабильность, и роль М.Горбачева, Б.Ельцина и Госдепа незначительны, как бы их не преувеличивали.

Я не верила в способность современного населения России на массовый (всероссийский) протест против фальсификации результатов выборов и полицейского произвола. Социальная ситуация показала, что я не ошиблась в своем предположении. А это означает, что социальных перемен в России не будет – вот это и есть социальный тупик как признак катастрофы страны.

«Политика этатизма, сосредоточения в руках государства как экономических, так и политических рычагов управления, объявленная эффективным механизмом оперативного распределения ресурсов на важнейшие направления модернизации, в действительности оказалась скрытой формой олигархического присвоения национального богатства. Большая часть доходов от экспорта ресурсов сосредоточивалась в руках реальных хозяев страны, которые вовсе не были склонны делиться ими. Элита не собиралась отказываться от быстрых и легких доходов (продажи сырой нефти и природного газа) и вкладывать средства в новые отрасли с отложенной отдачей капитала» [4]. Так похоже на Россию, только это не Россия. Э. Паин описывает ситуацию, сложившуюся в Иране в результате политики, проводимой шахом Мохаммедом Пехлеви и закончившейся Исламской революцией. Хочется привести еще одну выдержку из данной статьи. «Иранский шах расплачивался со своими приближенными тем, что предоставлял им защиту от закона. Иранский этатизм поставил чиновников шаха над законом. Например, председатель сената Дж. Шариф-Имами, прозванный за взяточничество “господином пять процентов”, не только не привлекался к уголовной ответственности, но и получал награды от монарха. Уличенный в казнокрадстве генерал Ф. Джем все же был наказан, но не слишком сурово – отправлен послом в Испанию» .

Социальная политика, проводившаяся Атаюрком в 20–30 годах, иранской элитой во главе с шахом, а после аятоллой Хомейни, проводимая ныне компартией в Китае. Сингапуре и др. в социологии называется «авторитарная модернизация».

Суть ее в том, что она проводится определенной политической группой во главе с ее лидером, стоящим у власти, т.е. властвующая элита является субъектом реформирования системы и при этом единственным. Авторитаризм, как указывает В. Гельман, помогает проводить реформы, изолируя их от влияния со стороны политических партий и общественных предпочтений, т.е. без всяких игр в демократию. Рассматривая сущность и инварианты авторитарной модернизации, включая российскую, а также причины ее безуспешности в современной России, автор видит их в институциональной системе и в неверной, по его мнению, идеологии. «Низкое качество государства, и особенно бюрократии, оперирующей в рамках неопатримониальной модели государственного управления, все же представляется слабым звеном российской модернизации на протяжении десятилетий, если не веков, и постсоветский период ситуацию в этом отношении как минимум не улучшил» [2, 28]. Существует также экономическое объяснение неудач модернизации хозяйственной системы России как в прошлом, так и в настоящем. «Все российские модернизации проходили в условиях, когда цели экономического роста определялись государством. Оно же выступало и основным источником инвестиций – собранные подати и налоги, как и природная рента, направлялись в отрасли, признанные приоритетными. Это порождало, с одной стороны, сокращение «производительного» класса и рост бюрократии, и с другой стороны, огромное количество бессмысленных активов» [3].

Почему одна и та же модель модернизации оказалась успешной в Турции под руководством Атаатюрка, Китае, Южной Корее и даже в Иране после Исламской революции, если считать основным ее признаком социально-экономический рост, и оказалась несостоятельной в шахском Иране или в современной России? Преимущественное число исследователей, изучающих данный вопрос, подчеркивают разрыв между преобразованиями в экономической системе и в политической, которая мало менялась, и считают ее основной причиной торможения процессов модернизации как в Иране 70-х годов, так и в современной России. Однако не менее важным фактором в авторитарной модернизации является социальная природа и моральные качества лидера государства и элиты, а также ее поведение и отношение к народу, поскольку именно они являются субъектами модернизации.

В России взаимоотношение власти (государства) и общества (народа) остается в рамках традиции, сложившейся еще при Иване Грозном. Исторический путь Российской цивилизации с момента начала ее формирования и до наших дней охватывает более пятисот лет. Политический облик российского общества менялся: от Московского царства Ивана Грозного к империи Петра Великого и Екатерины, от Российской республики, возглавляемой Временным правительством, к большевизму и сталинской системе, от советского государства 70-х годов к «путинской» России. Тем не менее, на

протяжении истории оставалось неизменным отношение власти к своему народу. Выделим его основные черты:

- отношение к населению как к материалу, который следует использовать для создания «великого государства». Петербург построен Петром не только на болотах, но и на человеческих костях, так же были созданы все крупные предприятия, каналы, железнодорожные сети в период сталинской индустриализации;

- отношение власти к народу как к сырьевому придатку государственной машины, что выразилось в репрессивно-насильственных методах эксплуатации труда и подавлении недовольства масс (расстрел в Новороссийске в СССР), в игнорировании жизненных интересов населения и др. Вместе с тем власть в России всегда побаивалась своего народа (правда, небезосновательно) и опасается до сих пор;

- пренебрежительное отношение элиты к народу, характерное российскому дворянству и бугеме, а в постсоветской России - для политической элиты и чиновников. Напомним слова А. Чубайса, сказанные в начале 90-х годов о том, что часть населения вымрет, но рынок будет. Смертность в России в 2020 году выросла на 18%, или на 323,8 тыс. человек, из них только около половины — это умершие с COVID-19, следует из данных Росстата. Часть населения вымерла, и оно будет сокращаться далее;

- государство в России вовсе не защитник человеку, ибо на первом месте стоит свой, аппаратный, интерес. Так было с подлодкой «Курс», в Беслане, в Нордосте и т.д.;

в России *государственная власть никогда не служила народу*, т.е. не выполняла свою главную функцию, напротив, использовала его для укрепления своих позиций на внутривнутриполитическом и международном пространстве. Общие потери России в войнах за весь XVIII в. превысили 700 тыс. человек. Это составляло 13% военных потерь армий всех европейских государств. В исследовании военных историков общие потери русской армии в Первой Мировой войне оцениваются в 2,25 млн. человек [7,100].

Причина «застоя» в современной России состоит, во-первых, в отношении власти к человеку. Именно пренебрежение к народу и одновременно страх перед ним являются причиной создания препон для развития малого бизнеса. Сформировать своими руками класс производителей, то есть экономически самостоятельных и свободных субъектов – это значит вырыть себе политическую могилу.

Вторая причина – это нравственная сущность и социальная природа российской элиты, сформировавшейся в 90-е годы и позже. Поскольку власть – это путь к богатству, а богатство открывало путь в высшие эшелоны власти, то современную российскую элиту (политическую и финансовую) составляют те, кто использовал по максимуму возможности обогащения и приватизации путем различных

махинаций, связей, личных отношений и т.п. В начале нынешнего века российская элита, разбогатев на присвоенном национальном достоянии (природные ресурсы или их обработка), на финансовых спекуляциях и хорошо зная сущность российской государственной машины, психологически и финансово рассталась с Россией. Примечательно, что подобное характеризует иранскую элиту и клан Мохаммеда Пехлеви. Так, все сбежавшие после Исламской революции, жили в Европе и США и отнюдь не бедствовали, хотя сам шах умер через год после изгнания. Эти факты свидетельствуют о том, что, во-первых, иранская элита и власть вкладывали деньги в западные банки вместо инвестирования в экономику и в социальную сферу. Во-вторых, сам Пехлеви недооценил уровень недоверия народа к его власти и персоне. Одной из важнейших причин Исламской революции Э. Паин называет именно утрату доверия населения к власти. То же самое характеризует современную Россию. Поэтому силовые структуры путинской власти, в отличие от наивного Пехлеви, становятся самостоятельной силой, поскольку их задача – это подавление даже слабых, маломощных протестов.

Современная российская элита рациональна и цинична. Большинство ее представителей вполне ассоциировалось с мировой финансовой и промышленной элитой. Они обеспечили себе реальное или потенциальное гражданство посредством вкладов и недвижимости, они готовы выехать из России в любой момент. Как писал в начале XXI века А.С. Панарин, «страной правит глобальная элита, которая уже совершила свое тайное расставание с нацией и не считает «этот» народ своим. ... Сегодня быть элитой и реализовать себя как элита означает поставить себя в независимое положение от национальных интересов и национальных чаяний» [5,8].

Сегодня власть старается укрепить российское государство – не сохранить народ, о чем свидетельствует разрушение системы образования и здравоохранения – а именно укрепить государство.

Основные бюджетные средства расходуются на следующие программы:

- строительство магистралей для удержания географического пространства *государства*;
- интенсивное освоение новых месторождений и дальнейшее развитие ТЭК для сохранения экономической прибыли *государства*
- перевооружение, и финансирование армии, полиции, национальной гвардии для обеспечения обороноспособности *государства* и защиты *власти*;
- предотвращение нарастания социального недовольства масс (различные социальные программы - компенсации, индексация пенсий, имитация борьбы с коррупцией и контроль за действиями

региональной администрации) в целях предупреждения выступления народа против *государственной власти*;

- интеграция населения с помощью пропаганды спорта, культурно- массовых мероприятий, альянса с православной церковью и т.п. для восстановления в массовом сознании *государственной (т.е. политической) идентификации*.

Эта политика обеспечивает поддержку власти со стороны части массы, что лишней раз указывает на сохранение такого *традиционного* для России феномена как надежда на власть. Но принимая во внимание «дистанцирование власти от популяции» (Ю.В.Пивоваров) как специфическую черту российской цивилизации, не следует полагать, что власть будет служить интересам общества. У нас всегда были *богатое государство и бедный народ, сильное государство и слабое общество*, если иметь в виду способность и возможности населения в воздействии на власть.

И все же основная причина политического тупика – это стремление финансовой и политической элиты сохранить власть, пока есть что красть. «Обнуление» сроков президентства В.Путина – это политический анекдот, но если бы только анекдот... Это политический тупик.

Из него был бы возможен выход, если бы два процесса – стремление элиты сохранить власть и социальная пассивность населения – не оказались бы параллельными.

Список литературы:

1. Анатомия кризиса. Арманд А.Д., Люри Д.Н., Жерехин В.В. и др. М., Наука, 1999.
2. Гельман В.Я. Авторитарная модернизация в России – миссия не выполняема? // Мир России. – 2017. – № 2.
3. Зубов, В.М. Почему любая модернизация в России заканчивается тупиком [Электронный ресурс] / В.М. Зубов, В.Л. Иноземцев. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/opinions/economics/29/09/2014/542578b1cbb20f7362ab05c>
4. Паин, Э.А. Иранская или турецкая? Сравнительный анализ моделей и социальных условий управляемой модернизации [Электронный ресурс] Э.А. Паин. – Режим доступа: – <http://www.intelros.ru/readroom/druzhbana- narodov/druzhba-narodov-10-2011> Паин/
5. Панарин, А.С. Искушение глобализмом [Текст]: монография / А.С. Панарин. – М.: ЭКСМО-Пресс, 2002.
6. Пивоваров Ю.С. Русская Система и реформы [Текст] / Ю.С. Пивоваров, А.И. Фурсов // «Pro et Contra». – 1999. – Т. 4. – № 4
7. Россия и СССР в войнах XX века: статистическое исследование. М., Олма-пресс. 2001.

TECHNICAL SCIENCE

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

Михайлов Є. П.

к.т.н., доцент, доцент кафедри підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, Державний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

Лінгур В.М.

к.т.н., доцент, завідувач кафедри підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, Державний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

Джамлі Фасз

бакалавр кафедри підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, Державний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

Гайдай Д.О.

здобувач, кафедра підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, Державний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

STAND FOR RESEARCH OF ROBOT-MANIPULATOR CONTROL ALGORITHMS

Mykhaylov Ye.P.,

Ph.D., Ass. Prof., Ass. Prof. of department of Lifting and Transport and Robotic Equipment, Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine

Lingur V.M.,

Ph.D., Ass. Prof., Head of the Department of Lifting and Transport and Robotic Equipment, Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine

Jamli Fayeze,

Bachelor of the Department of Lifting and Transport and Robotic Equipment, Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine

Haidai D.A.

applicant, Department of Lifting and Transport and Robotic Equipment, Odessa Polytechnic State University, Odessa, Ukraine

Анотація

Наведені результати розробки робота-маніпулятора, призначеного для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота на основі комп'ютерних розрахунків, за допомогою яких здійснюється перерахунок переміщення робочого органу маніпулятора в переміщення окремих ланок. Наведена кінематична модель та розрахункова схема переміщення окремих ланок, описана структура та склад робота. Розглянуті питання програмної реалізації алгоритмів керування за допомогою контролера Arduino. Наведені приклади використання стенда в лабораторних роботах.

Abstract

The results of the development of a robot manipulator, designed to study the algorithms for controlling the movement of the robot on the basis of computer calculations, which are used to recalculate the movement of the working body of the manipulator in the movement of individual links. The kinematic model and the calculated scheme of movement of separate links are resulted, the structure and structure of work is described. The issues of software implementation of control algorithms using the Arduino controller are considered. Examples of the use of the stand in laboratory works are given.

Ключові слова: робот-маніпулятор, кінематична схема, комп'ютерні розрахунки, програмне керування, система керування, системи координат, сервопривод.

Keywords: robot manipulator, kinematic scheme, computer calculations, software control, control system, coordinate systems, servo.

Вступ

Сучасні промислові системи широко використовують автоматизовані маніпулятори, які є типовим прикладом обладнання на основі мехатронних пристроїв, тому дуже важливо здійснити навчання фахівців, які здатні здійснити проектування, виготовлення та налагодження робототехнічних пристроїв на основі автоматизованих маніпуляторів.

Вирішити задачу забезпечення поєднання в освітньому процесі освітньої, наукової та інноваційної діяльності дозволяє використання в освіт-

ньому процесі навчального обладнання у вигляді стендів, що за своїми можливостями наближається до реальних виробничих систем. Підвищення якості навчання можливо здійснити шляхом залучення здобувачів освіти до проектування та виготовлення лабораторних стендів, що дають можливість здійснити дослідження окремих компонент, що входять до складу робототехнічних та підйомно-транспортних систем.

Тому були розглянуті питання створення лабораторного стенду для дослідження алгоритмів ке-

рування рухом маніпулятора на основі комп'ютерних методів розрахунку, які здійснюють перерахунок переміщення робочого органу маніпулятора в переміщення окремих ланок за допомогою математичних функцій, що використовуються для вирішення прямої та зворотної задач кінематики.

1. Аналіз існуючих засобів дослідження маніпуляційних систем

Для дослідження маніпуляційних систем часто використовують стенди, які представляють собою діючі макети маніпуляторів, або зменшені зразки промислових роботів [1-7].

На рис. 1 наведений діючий макет промислового 3-D робота фірми fischertechnik з вакуумним та затискним захоплюючим пристроєм фірми [2-3], у склад якого входять 4 двигуна, контактні датчики та контролер, що здійснює керування роботом.

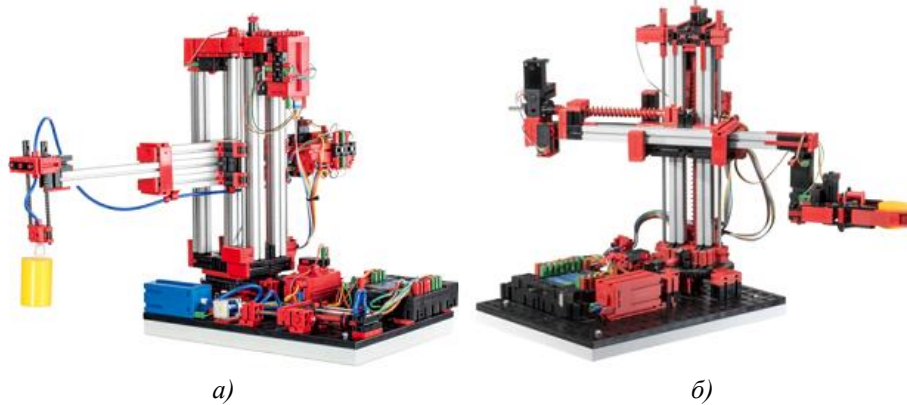


Рисунок 1. Діючі макети промислового 3-D робота з вакуумним (а) та затискним (б) захоплюючим пристроєм

На рис. 2 наведені мехатронні системи навчання, включаючи стенди промислових роботів, пропонує фірма Festo Didactic [4].



Рис. 2. Мехатронні системи навчання фірми Festo Didactic

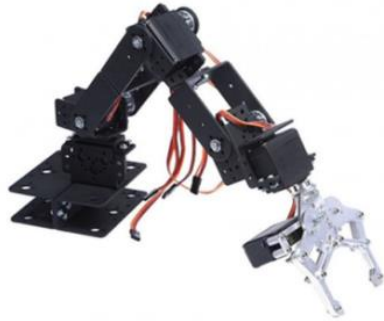
Системи навчання фірми Festo Didactic будуються на основі промислових систем, або систем, що по своїм параметрам близькі до промислових. Так, наприклад, для керування цими системами використовують промислові контролери фірми SIEMENS.

В Інтернеті наведена велика кількість досить простих маніпуляторів, які можна використовувати для навчання, наприклад, маніпулятор 4DOF DIY MiniArm, що є розробкою Гонконгського університету для ВУЗів та технічних гуртків [5], наведений на рис. 3.



Рисунок 3. Маніпулятор 4DOF DIY MiniArm

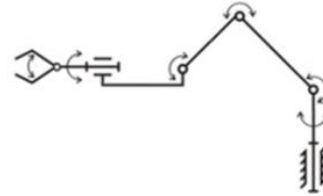
Для переміщення ланок маніпулятора використовуються сервоприводи SG-90, керування здійснюється за допомогою контролера Arduino Nano. Для спрощення підключення використовується модуль розширення для Arduino nano (рис. 1.3, а) або плата розширення з чотирма потенціометрами для ручного керування маніпулятором (рис. 3, б).



а)

Пропонуються різні конструктивні варіанти маніпулятора з металевими ланками та шістьма ступенями руху, враховуючи захоплюючий пристрій.

Зовнішній вигляд одного з таких маніпуляторів - 6 DOF Robotic Arm наведений на рис. 4, а, а його кінематична схема на рис. 4, б [6].



б)

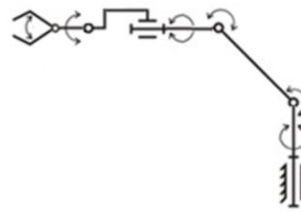
Рисунок 4. Маніпулятор 6 DOF Robotic Arm

Для переміщення ланок цього маніпулятора використовуються сервоприводи MG 996R, що забезпечують поворот валу від 0 до 180° та пусковий момент до 12 кг * см (при 6 В напруги живлення).



а)

Існує ряд пропозицій самостійного виготовлення маніпулятора за допомогою 3D-принтера. Зовнішній вигляд одного з таких маніпуляторів DIY Arduino Robot Arm наведений на рис. 5, а, а його кінематична схема на рис. 5, б [7].



б)

Рис. 5. Маніпулятор виготовлений за допомогою 3D-принтера

Для переміщення ланок маніпулятора використовуються сервоприводи SG-90 та MG 996R. Керування здійснюється за допомогою контролера Arduino Uno. Пульт керування виготовлений на основі смартфона.

Оскільки метою є створення лабораторного стенду для дослідження алгоритмів керування маніпулятора на основі комп'ютерних методів розрахунку, за допомогою яких здійснюється перерахунок переміщення робочого органу маніпулятора в переміщення окремих ланок, то для розробки автоматизованого маніпулятора, за допомогою якого можна здійснити таке дослідження, визначені такі вимоги.

1. Кількість ступенів свободи та переміщення робочого органу маніпулятора повинні дати можливість наглядно показати, використання комп'ютерних методів розрахунку з мінімальною складністю алгоритмів керування,

2. Виконавчі пристрої повинні забезпечити простий алгоритм позиційного керування.

3. Пристрій керування повинен забезпечити можливість здійснювати комп'ютерні розрахунки

за допомогою математичних функцій, що використовуються для вирішення прямої та зворотної задач кінематики.

При цьому треба вирішити такі задачі.

1. Розробити алгоритми комп'ютерних розрахунків, які треба використовувати для реалізації переміщення робочого органу в позицію з вказаними координатами та навести приклади програмної реалізації цих алгоритмів.

2. Провести вибір та розрахунок основних механізмів автоматизованого маніпулятора.

3. Показати можливості проведення досліджень щодо використання комп'ютерних методів розрахунку з використанням розробленого стенду та емулятора UnoArduSim, що дає можливість проводити експериментальні дослідження під час дистанційного навчання.

2. Розробка алгоритмів керування переміщенням маніпулятора

Для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота на основі комп'ютерних розрахунків був розроблений стенд маніпулятора з чотирма

ступенями рухливості, не включаючи захоплюючий пристрій.

Маніпулятор представляє собою спрощений варіант маніпулятора DIY Arduino Robot Arm.

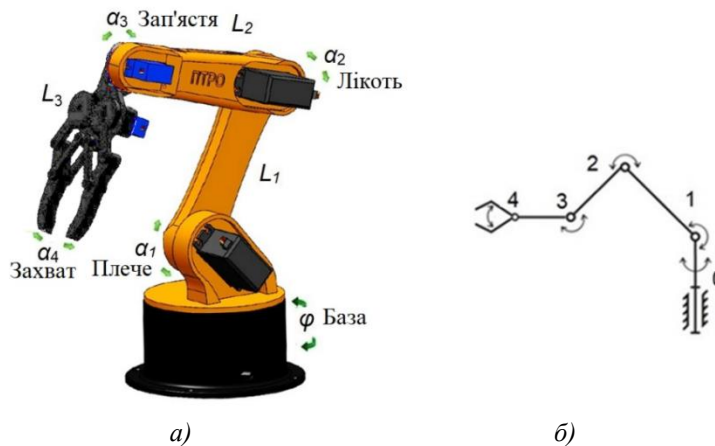


Рис. 6. Маніпулятор для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота

Встановимо такі позначення для сервоприводів, що здійснюють поворот ланок маніпулятора: база (сервопривод 0) здійснює поворот усієї руки на кут φ , плече (сервопривод 1) здійснює поворот ланки L_1 на кут α_1 , лікоть (сервопривод 2) здійснює поворот ланки L_2 на кут α_2 , зап'ястя (сервопривод 3) здійснює поворот ланки L_3 (захват) на кут α_3 , захват (сервопривод 4) здійснює поворот на кут α_4 (відкриває та закриває захват).

Розглянемо, як здійснюється переміщення окремих ланок маніпулятора [8, 9, 10]. У прямокутній системі координат маніпулятор здійснює переміщення робочого органу в позицію (x, y, z) . При цьому орієнтація робочого органу не змінюється.

З кінематичної схеми маніпулятора (рис. 6, б) видно, що ланка 4 забезпечує ротацію робочого органу (захвату) 5, ланки 1, 2 і 3 переміщуються в од-

ній площині, а ланка 0 забезпечує поворот цих ланок навколо вертикальної осі Z , що дає можливість використовувати для опису переміщення циліндричну систему координат (ρ, φ, z) для всього маніпулятора (рис. 7, а) і прямокутну (декартову) систему координат (ρ, z) для ланок 1, 2 і 3 (рис. 7, б).

На рис. 7 використовують такі позначення: (x, y, z) – положення робочого органу; L_1, L_2, L_3 , довжина ланок, відповідно, 1, 2, 3; α_1 – кут повороту ланки 1 відносно осі ρ ; α_2 – кут повороту ланки 2 відносно ланки 1; α_3 – кут повороту ланки 3 відносно ланки 2; α_{31} – кут повороту ланки 3 відносно осі ρ ; L_{12} – відстань до кінцевої позиції ланок 1 і 2; α – кут повороту L_{12} щодо осі ρ ; α_{21} – кут повороту ланки 2 щодо осі ρ ; α_{31} – кут повороту ланки 3 (захоплення) щодо осі ρ ; (ρ_1, φ_1, z_1) – кінцева позиція ланки 1; (ρ_2, φ_2, z_2) – кінцева позиція ланки 2; (ρ_3, φ_3, z_3) – кінцева позиція ланки 3 (позиція захоплення).

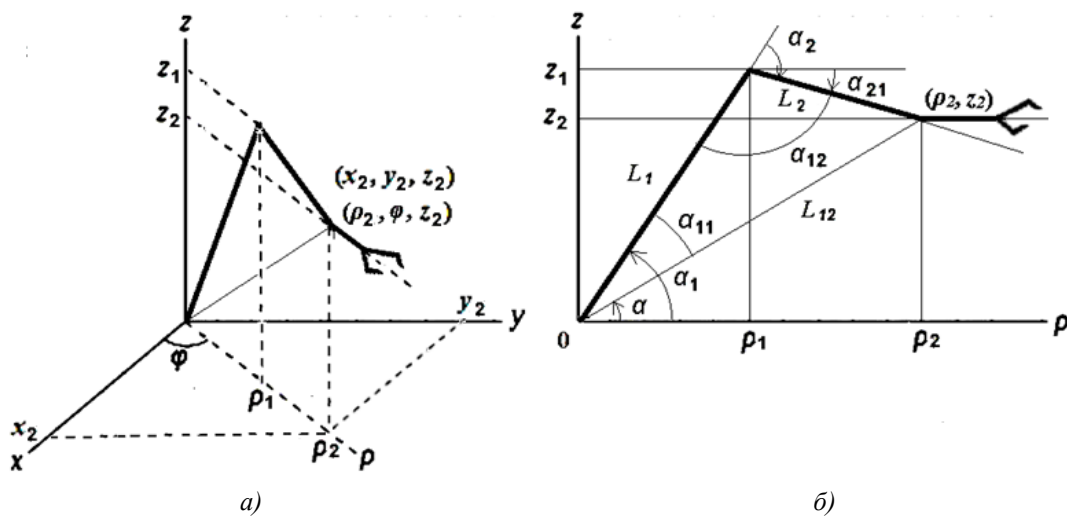


Рис. 7. Кінематична модель руху окремих ланок з використанням циліндричної (а) і декартової (б) систем координат

Розглянемо задачу переміщення робочого органу в позицію (x, y, z) .

Для цього потрібно знайти відповідні значення кутів $\varphi, \alpha_1, \alpha_2$, а для визначення орієнтації робочого органу, значення кута α_3 .

Перехід з тривимірної прямокутної системи координат в циліндричну здійснюється за допомогою формул [2]:

$$\rho = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg(y/x) \quad (2)$$

$$z = z. \quad (3)$$

В даному випадку кут φ визначає кут повороту ланки 0, а величини φ і z використовуються для визначення положення ланок 1 і 2. У ряді випадків, коли здійснюється паралельний перенос об'єкта, орієнтація ланки 3 не змінюється і можна обмежитися схемою переміщення, наведеною на рис. 9 б.

Для цього потрібне виконання умови:

$$\alpha_3 = -(\alpha_1 + \alpha_2). \quad (4)$$

Розглянемо, як визначити значення кута повороту α_1 ланки L_1 відносно осі ρ і кута повороту α_2 ланки L_2 відносно ланки L_1 для заданого положення робочого органу (ρ_2, z_2) аналогічно тому, як було показано в [11, 12].

Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці ланки L_2 .

Знаходимо кути α_1 і α_2 , що дозволяють маніпулятору з ланками L_1 і L_2 помістити робочий орган у задану точку (ρ_2, z_2) .

Проведемо пряму L_{12} , що з'єднує начало координат 0 з точкою (ρ_2, z_2) .

$$L_{12} = (\rho_2^2 + z_2^2)^{1/2}. \quad (5)$$

Знайдемо кут α_1 .

Виходячи з рис. 3 для кута α_1 маємо

$$\alpha_1 = \alpha_{11} + \alpha. \quad (6)$$

де α_{11} – кут між L_1 і L_{12} ,

α – кут між віссю 0ρ і L_{12} .

α знаходимо, виходячи з того, що

$$\rho_2 = L_{12} \cdot \cos(\alpha), \text{ або}$$

$$z_2 = L_{12} \cdot \sin(\alpha).$$

Звідси маємо:

$$\alpha = \arccos(\rho_2 / L_{12}) \text{ або } \alpha = \arctg(z_2 / \rho_2). \quad (7)$$

α_{11} знаходимо за допомогою теореми косинусів:

$$L_2^2 = L_{12}^2 + L_1^2 - 2 \cdot L_{12} \cdot L_1 \cdot \cos(\alpha_{11}). \quad (8)$$

Звідси маємо

$$\alpha_{11} = \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1), \quad (9)$$

$$\alpha_1 = \alpha + \alpha_{11} = \arccos(\rho / L_{12}) +$$

$$+ \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1). \quad (10)$$

Знаходимо кут α_2 .

Виходячи з рис. 3, для кута α_2 маємо

$$\alpha_2 = \pi - \alpha_{12}, \quad (11)$$

де α_{12} – кут між L_1 і L_2

Відповідно з теоремою косинусів

$$L_{12}^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\alpha_{12}) =$$

$$= L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\pi - \alpha_2), \quad (12)$$

$$\alpha_{12} = \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2), \quad (13)$$

звідки

$$\alpha_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2). \quad (14)$$

Оскільки робочий орган орієнтується щодо ланки L_2 , необхідно визначити кут нахилу α_{21} ланки L_2 відносно осі ρ .

$$\alpha_{21} = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (15)$$

Таким чином отримані математичні формули для розрахунку параметрів управління маніпулятором для переміщення в позицію (x, y, z) , а саме кути:

$$\varphi = \arctg(y/x), \quad (16)$$

$$\alpha_1 = \arccos(\rho / L_{12}) +$$

$$+ \arccos((L_1^2 - L_2^2 + L_{12}^2) / 2 \cdot L_{12} \cdot L_1), \quad (17)$$

$$\alpha_2 = \pi - \arccos((L_1^2 + L_2^2 - L_{12}^2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2), \quad (18)$$

де $L_{12} = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$.

$$\alpha_{21} = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (19)$$

3. Основні компоненти автоматизованого маніпулятора

Для проведення дослідження роботи маніпулятора був розроблений макет що складається з маніпулятора, контролера Arduino Nano, та пульта керування в ручному режимі, що здійснюють відповідне переміщення сервоприводів myservo0, myservo1, myservo2, myservo3, myservo4.

Схема підключення маніпулятора до контролера Arduino Nano наведена на рис. 8.

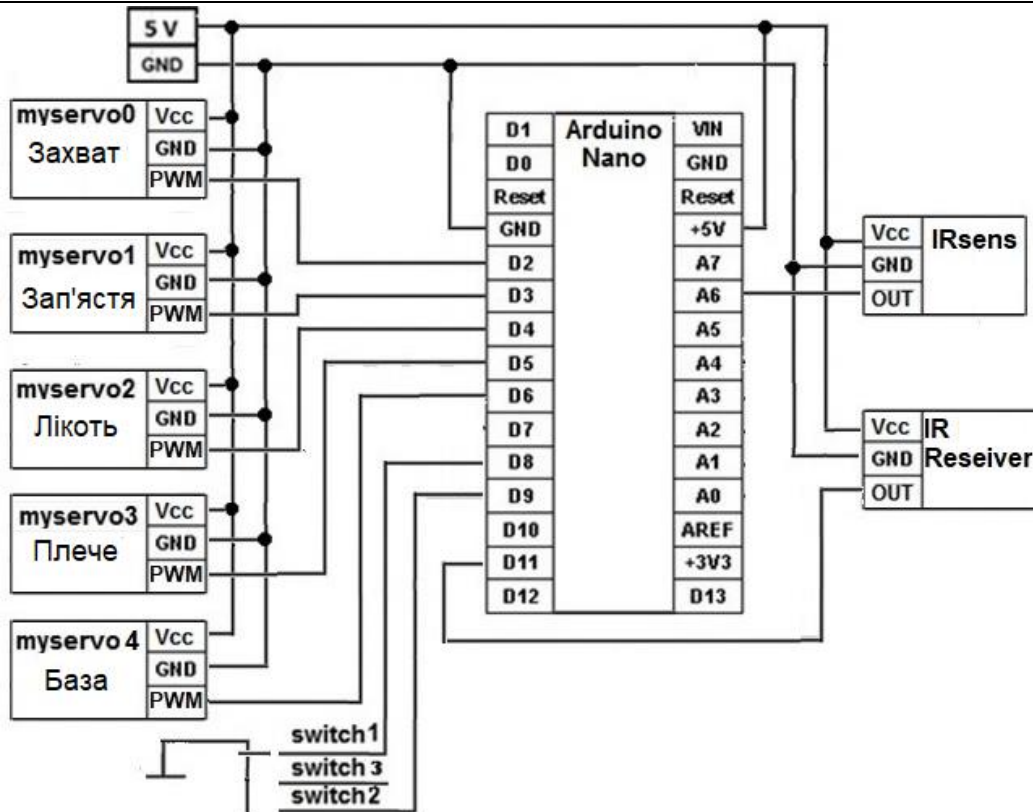


Рис. 8. Схема підключення компонентів маніпулятора до контролера Arduino Nano

Для переміщення ланок маніпулятора використовуються сервоприводи MG-90s (myservo0, myservo1) та MG 996R (myservo2, myservo3, myservo4).

Для спрощення алгоритму та програми керування сервоприводів на основі контролерів Arduino використовується бібліотека VarSpeedServo.master, яка дає можливість здійснити переміщення до вказаного кута. Крім того ця бібліотека дозволяє одночасно використовувати до 8 сервоприводів, встановлювати швидкість переміщення для кожного сервопривода та здійснювати очікування, поки робота сервоприводу не буде завершена.

Перемикач з трьома положеннями визначає режим роботи, а саме switch1- ручний, switch2 – автоматичний, switch 3 – стан спокою.

Інфрачервоний датчик IRsens визначає наявність об’єкту, який треба перемістити.

Наявність ручного керування на основі інфрачервоного пульта дозволяє зробити дослідження різних режимів навчання робота, оскільки при керуванні положення окремих кінематичних пар (кут повороту) можна вивести на екран комп’ютера, або запам’ятати з метою подальшого програмування переміщення маніпулятора по послідовності положень.

Проведемо розрахунок двигунів для маніпулятора виходячи з максимального крутного моменту. Максимальний крутний момент виникає у тому випадку, коли усі ланки маніпулятора розташовані паралельно поверхні, на який встановлено маніпулятор (рис. 9).

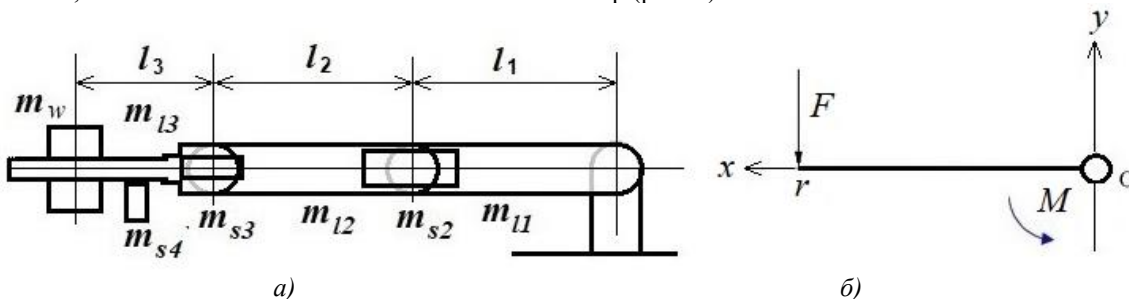


Рис. 9. Розташування ланок маніпулятора для отримання максимального крутного моменту (а) та визначення крутного моменту M (б)

Виходячи з того, що крутний момент M визначається як

$$M = F * r. \tag{20}$$

Сила F , яку повинен подолати двигун для повороту руки маніпулятора визначається як

$$F = m*(a + g), \tag{21}$$

де m — маса руки маніпулятора; a — прискорення тіла; g — прискорення вільного падіння.

$$m = \sum_i m_i, \tag{22}$$

де m_i — маса i -ї компоненти, що входить до складу руки маніпулятора.

За заданим законом зміни швидкості руху точки M ланки V_M від 0 до максимальної V_{Mmax} (рис. 10) можна визначити її прискорення за час розгону Δt , вважаючи, що розгін і гальмування відбувається

з постійним прискоренням на ділянках траєкторії $0,25T$, де T – повний час переміщення точки r , ланки маніпулятора, куди прикладена сила F (рис. 9, б) [7].

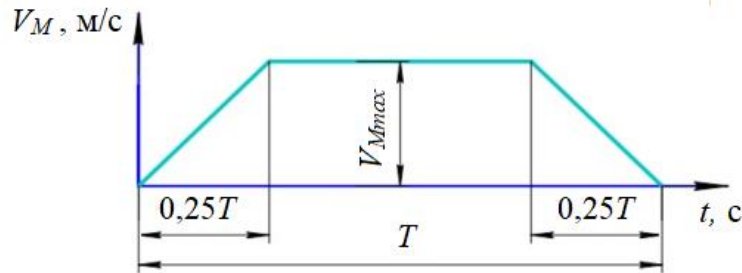


Рис. 10. Діаграма швидкості точки M ланки маніпулятора

У технічних характеристиках сервоприводів визначається швидкість обертання, що задається як час, за який здійснюється поворот на вказану кількість градусів. Так для сервопривода MG 996R при напрузі живлення 4,8 В ця величина складає $0,17 \text{ с} / 60$ градусів, звідки кутова швидкість $\omega = 3,08$ рад/с, а для SG-90 – $0,1 \text{ с} / 60$ градусів, або $\omega = 5,236$ рад/с.

Так для сервопривода MG 996R при напрузі живлення 4,8 В ця величина складає $0,17 \text{ с} / 60$ градусів, звідки кутова швидкість $\omega = 3,08$ рад/с, а для SG-90 – $0,1 \text{ с} / 60$ градусів, або $\omega = 5,236$ рад/с.

Кутове прискорення $\varepsilon = d\omega/dt$.

Переміщення l_{ra} за дугою окружності з радіусом r при повороті на кут α дорівнює:

$$l_{ra} = r\alpha,$$

тому лінійне прискорення визначається як:

$$a = dl/dt = r d\omega/dt.$$

Якщо визначити час розгону як Δt , то прискорення за час від початку руху до досягнення максимальної швидкості ω можна визначити як:

$$a = r \omega_{max} / \Delta t. \quad (23)$$

Для визначення точки, на яку впливає сила, треба знайти центр мас (центр ваги).

Центр мас визначається як:

$$r_c = \sum_i m_i r_i / \sum_i m_i, \quad (24)$$

де r_c — радіус центру мас, r_i — радіус i -ї точки системи, m_i — маса i -ї точки.

Маса та розміри компонент руки маніпулятора, що впливають на крутний момент приводів руки маніпулятора наведені на рис. 11, де використовуються такі позначення: m_{l2} , m_{l3} , m_{l4} , відповідно, маси, а l_1 , l_2 , l_3 довжина ланок L_1 , L_2 , L_3 ; m_{s3} , m_{s4} , відповідно, маси двигунів s_2 , s_3 , s_4 , m_w маса вантажу.

Відповідні радіуси у даному випадку визначаються, як:

$$r_{l1} = l_1/2, r_{l2} = l_2/2, r_{l3} = l_3/2, r_{s1} = l_1, r_{s2} = l_2, r_{s3} = l_3/2.$$

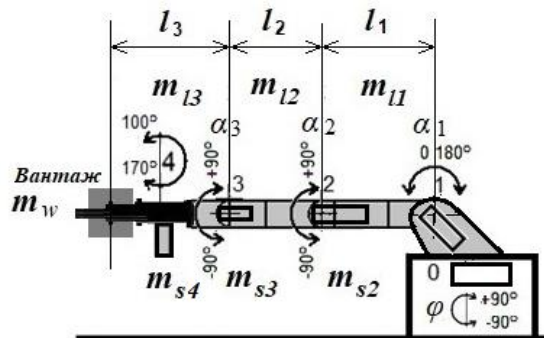


Рис. 11. Маса та розміри компонент руки маніпулятора

Розроблений стенд маніпулятора має такі параметри:

$$m_{l1} = 0,05 \text{ кг}, m_{l2} = 0,05 \text{ кг}, m_{l3} = 0,04 \text{ кг},$$

$$m_{s2} = 0,055 \text{ кг}, m_{s3} = 0,009 \text{ кг}, m_{s4} = 0,009 \text{ кг}.$$

$$l_1 = 0,1 \text{ м}, l_2 = 0,1 \text{ м}, l_3 = 0,08 \text{ м}$$

$$r_{l1} = l_1/2 = 0,05 \text{ м}, r_{l2} = l_2/2 = 0,05 \text{ м}, r_{l3} = l_3/2 = 0,04 \text{ м},$$

$$r_{s1} = l_1, r_{s2} = l_2, r_{s3} = l_3/2.$$

На рис. 12 наведена схема розрахунку крутного моменту для привода, що здійснює підйом руки.

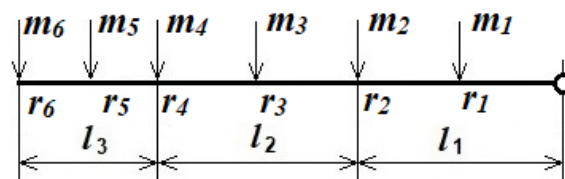


Рис. 12. Схема розрахунку крутного моменту

Вказані значення мас та радіусів мають такі значення:

$$r_1 = l_1 / 2, r_2 = l_1, r_3 = l_1 + l_2 / 2, r_4 = l_1 + l_2, r_5 = l_1 + l_2 + l_3 / 2,$$

$$r_6 = l_1 + l_2 + l_3,$$

$$m_1 = m_{l1}, m_2 = m_{s2}, m_3 = m_{l2}, m_4 = m_{s3}, m_5 = m_{l3} + m_{s4}, m_6 = m_w.$$

Використовуючи параметри маніпулятора, отримаємо

$$r_1 = 0,05 \text{ м}, r_2 = 0,1 \text{ м}, r_3 = 0,15 \text{ м}, r_4 = 0,2 \text{ м}, r_5 = 0,24 \text{ м},$$

$$r_6 = 0,28 \text{ м},$$

$$m_1 = 0,05 \text{ кг}, m_2 = 0,055 \text{ кг}, m_3 = 0,05 \text{ кг}, m_4 = 0,009 \text{ кг}, m_5 = 0,049 \text{ кг},$$

Використовуючи формули (20-24), отримаємо момент утримання руки без вантажу:

$$m = 0,213 \text{ кг},$$

$$r_c = 0,029906 / 0,213 = 0,13643 \text{ м}$$

$$M = 0,284788 \text{ н/м} = 2,882 \text{ кг/см}.$$

MG 996R має крутний момент 9 кг/см (для напруги живлення 4.8 В). Для утримання вантажу залишається 6,1 кг/см. Ураховуючи, що радіус утримання вантажу складає $r_6 = 0,28 \text{ м}$, отримаємо $m_w = 0,218 \text{ кг}$.

4. Приклади задач для дослідження алгоритмів керування переміщенням маніпулятора

Алгоритм керування переміщенням маніпулятора з використанням перерахунку координат робочого органу маніпулятора (x, y, z) у відповідні кути повороту ланок $\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_{21}$, наведений на рис 13.

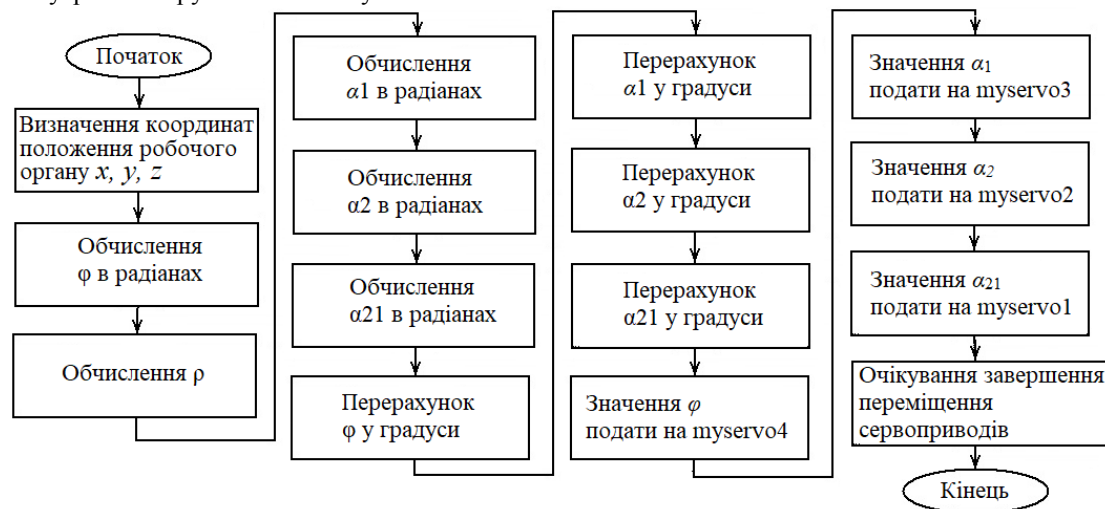


Рис. 13. Алгоритм керування переміщенням маніпулятора

Розглянемо, як здійснюється вказане перерахування у системі керування маніпулятором на основі контролера Ардуіно.

У програмі управління роботом при використанні контролера Ардуіно, що використовує мову C++ [11], яка має усі математичні функції, які використовуються у формулах (20-24) для обчислення значень кутів повертання ланок $\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_{21}$, виходячи з заданих розмірів ланок L_1, L_2 , та координат робочого органу x, y, z .

Фрагмент програми, що здійснює такі обчислення, має наступний вигляд [12]:

```
// обчислення φ в радіанах
PhiRad = atan(Y/X);
// обчислення ρ
P = sqrt(sq(X) + sq(Y));
// обчислення α1 в радіанах
A1rad = acos(P / sqrt(sq(P) + sq(Z))) +
acos((sq(L1) - sq(L2) + sq(P) + sq(Z)) / (2* L1*
(sqrt(sq(P) + sq(Z)))));
// обчислення α2 в радіанах
A2rad = PI - acos((sq(L1) + sq(L2) - sq(P) - sq(Z))
/ (2* L1* L2));
// обчислення α21 в радіанах
```

```
A21rad = A1rad - A2rad;
PhiDeg = PhiRad * RAD_TO_DEG; //результат φ
в градусах
```

```
A1Deg = A1rad * RAD_TO_DEG; //результат
α1 в градусах
```

```
A2Deg = A2rad * RAD_TO_DEG; //результат
α2 в градусах
```

```
A21Deg = A21rad * RAD_TO_DEG; //результат
α21 в градусах
```

Програма використовує такі позначення для змінних у форматі float: L1 для L_1 ; L2 для L_2 ; X для x ; Y для y ; Z для z ; P для ρ ; Phi для φ в радіанах; PhiDeg для φ в градусах; A1rad для α_1 в радіанах; A2rad для α_2 в радіанах; A21rad для α_{21} в радіанах; A1Deg для α_1 в градусах; A2Deg для α_2 в градусах; A21Deg для α_{21} в градусах.

Отримані значення кутів в градусах можуть безпосередньо використовуватися для управління сервоприводами.

Результати виконання програми можна отримати за допомогою інструменту Монітор порту. На рис. 14 показано, як здійснюється введення вихідних даних L_1, L_2, x, y, z , та отримання результату обчислення значень $\varphi, \alpha_1, \alpha_2$ і α_{21} .

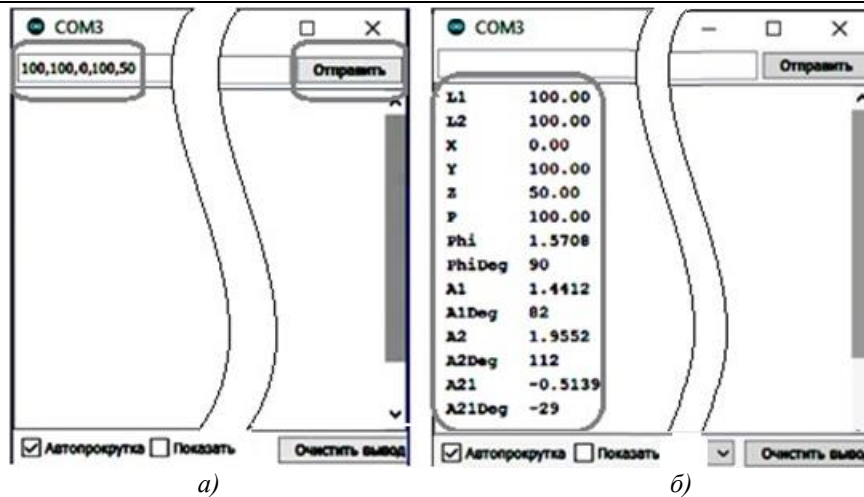


Рис.14. Введення вихідних даних L_1 , L_2 , x , y , z , (а), результат обчислення значень φ , α_1 , α_2 и α_{21} (б)

Висновки

В результаті проведеного аналізу існуючих стендів маніпуляторів, які можна використовувати для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота на основі комп'ютерних розрахунків був розроблений стенд маніпулятора з чотирма ступенями рухливості, який дозволяє здійснювати переміщення робочого органу у тривимірному просторі.

Проведена розробка алгоритму комп'ютерних розрахунків, які треба використовувати для реалізації переміщення робочого органу в позицію з вказаними координатами, та отримані формули, за допомогою яких можна здійснити відповідні обчислення.

Наведені приклади програмної реалізації цих алгоритмів та розрахунків.

Показаний приклад вибору та проведення розрахунків основних механізмів автоматизованого маніпулятора.

Наведені можливості проведення досліджень щодо використання комп'ютерних методів розрахунку з використанням розробленого стенду

Розроблений стенд дозволяє провести дослідження алгоритмів керування маніпуляторів з метою виявлення оптимальних алгоритмів керування.

Список літератури

1. Михайлов Е. П., Кнюх О.Б., Козеровська В. О. Стенд для дослідження мехатронних пристроїв логістичних систем. *Подъемно-транспортная техника*, 2019. №2 (61), с.60-74.
2. Інтернет ресурс. FISCHERTECHNIK. Конструктор Trainingsmodelle 3-D робот. URL: <https://erc.ua/ware/283174-fischertechnik-konstruktor-trainingsmodelle-3-d-robot/>
3. Інтернет ресурс. FISCHERTECHNIK. Industriekatalog 2019 englisch Gesamt. URL: https://www.google.com/search?q=Industriekatalog_2019_englisch_Gesamt&oq=Industriekatalog_2019_englisch_Gesamt&aqs=chrome..69i57.3115j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#

4. Інтернет ресурс. FESTO Learning Systems. Modular Systems for Mechatronics Training. URL: <https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/mps.pdf>

5. Інтернет ресурс. Arduino. Моделирование. Механическая рука 4 степени свободы. URL: <https://arduinka.biz.ua/ru/mehanicheskaya-ruka-robot-4-stepeni-svobody-akril-p598c81.html>

6. Інтернет ресурс. Robotpark 6 DOF Aluminum Robot Arm Kit. URL: <http://www.robotpark.com/Robotpark-6-DOF-Aluminum-Robot-Arm-Kit>

7. Інтернет ресурс. Dejan. DIY Arduino Robot Arm with Smartphone Control. HowToMechatronics. Arduino Tutorials, Projects. Education Website. URL: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control/>

8. Тарабарин В.Б. Исследование и проектирование манипуляторов промышленных роботов. Курсовое проектирование по «Теории механизмов и механике машин» Учебное пособие. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. — 29 с.

9. Заславский А. А. Геометрические преобразования. — М.: МЦНМО, 2004. — 86 с. 2-е изд., стереотипное. ISBN 5-94057-094-1

10. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркін А.А., Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2016. — 108 с.

11. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry John Wiley & Sons, Inc., 2013.—385 с.—ISBN: 978-1-118-54936-0.

12. Конспект лекцій з дисципліни "Комп'ютерні методи розрахунку роботів" для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальність: 131 - Прикладна механіка, освітні програми: Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем / Укл.: Михайлов Є. П. - Одеса: ОНПУ, 2021. - 112 с. Рег. ном. КЛ11701 05.03.2021 №7777 PC2021 URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/11432>

VOL 1, No 45 (2021)

Österreichisches Multiscience Journal (Innsbruck, Austria)

The journal is registered and published in Austria.

The journal publishes scientific studies, reports and reports about achievements in different scientific fields.

Journal is published in German, English, Hungarian,

Polish, Russian, Ukrainian, and French.

Articles are accepted each month.

Frequency: 12 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

Edition of journal does not carry responsibility

for the materials published in a journal.

Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws.

Chief editor: Fabian Huber

Managing editor: Daniel Müller

Matthias Leitner - Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Moritz Winkler - Universität Salzburg

Philipp Mayr - Johannes Kepler University

Sebastian Berger - Medizinische Universität Wien

Sophia Hartl - Technische Universität Graz

Jonas Aigner - Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

Elias Holzer - Donau-Universität Krems

Simon Lackner - Fachhochschule Wiener Neustadt

Marie Brandstatter- Fachhochschule Technikum Wien

Julian König - Management Center Innsbruck

«Österreichisches Multiscience Journal»

Editorial board address: Universitätsstraße 22, 6020 Innsbruck, Austria

E-mail: editor@osterr-science.com

Web: <http://osterr-science.com>