

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Научный журнал

Учредитель журнала
Сибирский Государственный
Университет Водного Транспорта

Журнал выходит
на русском языке с 2002 года

Периодичность – 4 выпуска в год

Журнал широкой научной тематики:

- Эксплуатация и экономика транспорта
- Путь. Путевое хозяйство
- Судовождение
- Теплоэнергетика
- Электроэнергетика
- Экология
- Транспортное образование

Редакционная коллегия:

Бернацкий Анатолий Филлипович – докт. техн. наук, профессор кафедры Строительного производства Новосибирского государственного университета архитектуры, дизайна и искусств

Гладков Геннадий Леонидович – докт. техн. наук, профессор кафедры Водных путей и водных изысканий Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова

Бунеев Виктор Михайлович – докт. экон. наук, профессор, заведующий кафедрой Управления работой флота Сибирского государственного университета водного транспорта

Иванова Елена Васильевна – докт. техн. наук, профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники Сибирского государственного университета водного транспорта

Манусов Вадим Зиновьевич – докт. техн. наук, профессор кафедры Электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета

Сальников Василий Герасимович – докт. техн. наук, профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники Сибирского государственного университета водного транспорта

Сичкарев Виктор Иванович – докт. техн. наук, профессор кафедры Судовождения Сибирского государственного университета водного транспорта

NAUCHNYE PROBLEMY TRANSPORTA SIBIRI I DAL'NEGO VOSTOKA

Science Magazine

The founder of the journal
Siberian State University
of Water Transport

The magazine is published
in Russian in 2002

Frequency – 4 issues per year

Science magazine with the headings:

- Transport operation and economics
- Infrastructure of transport routes
- Management and maintenance of means of transport
- Heat power industry
- Electric power industry
- Ecology
- Transport Education

Editorial team:

Anatolii Bernatskii – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Construction Industry in Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts

Vitalii Sedykh – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Waterways and Water Surveys of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Victor Buneev – Doctor of Economic Sciences, Professor at the Department of Fleet Management in Siberian State University of Water Transport

Elena Ivanova – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Electric Power Systems and Electric Engineering in Siberian State University of Water Transport

Vadim Manusov – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Electric Power Systems in Novosibirsk State Technical University

Vasilii Sal'nikov – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Electric Power Systems and Electric Engineering in Siberian State University of Water Transport

Victor Sichkarev – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Navigation in Siberian State University of Water Transport

ABOUT THE JOURNAL

Редакция журнала

Главный редактор

Палагушкин Борис Владимирович,
докт. техн. наук, профессор

Заместители главного редактора:

Бик Юрий Игоревич,
докт. техн. наук, профессор

Барановский Александр Михайлович

докт. техн. наук, профессор

Горелов Сергей Валерьевич,

докт. техн. наук, профессор

Межрегиональный редакционный совет:

Малов Владимир Юрьевич – докт. экон. наук,
профессор Института экономики и организации
промышленного производства СО РАН
(г. Новосибирск)

Черемисин Василий Титович – д-р техн. наук,
профессор Омского государственного
университета путей сообщения (г. Омск)

Худоногов Анатолий Михайлович – докт. техн.
наук, профессор Иркутского государственного
университета путей сообщения (г. Иркутск)

Кича Геннадий Петрович – докт. техн. наук,
профессор Морского государственного
университета имени адмирала
Г.И. Невельского» (г. Владивосток)

The editorial staff

Editor in Chief

Boris Palagushkin
Doctor of Technical Sciences, Prof.

Deputy chief editor:

Yurii Bik
Doctor of Technical Sciences, Prof.

Aleksandr Baranovskii

Doctor of Technical Sciences, Prof.

Sergei Gorelov

Doctor of Technical Sciences, Prof.

Interregional editorial board:

Vladimir Malov – Doctor of Economic Sciences,
Prof. of Institute of Economics and Industrial
Engineering of
SB RAS (Novosibirsk)

Vasilii Cheremisin – Doctor of Technical
Sciences, Prof. of
Omsk State Transport University (Omsk)

Anatolii Hudonogov – Doctor of Technical
Sciences, Prof. of
Irkutsk State Transport University (Irkutsk)

Gennadii Kicha – Doctor of Technical Sciences,
Prof. of Maritime State University named
after admiral G.I.Nevelskoi (Vladivostok)



СТРАТЕГИЯ ПОВЕДЕНИЯ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ НА РЫНКЕ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водногосударственного транспорта»

В.М. Бунеев, И.А. Пичурина

THE STRATEGY OF THE BEHAVIOR OF THE SHIPPING COMPANY IN THE MARKET OF TRANSPORT SERVICES

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Viktor M. Buneev (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Inna A. Pichurina (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: The methods of development, adoption and implementation of a strategy for the behavior of a shipping company in the market of transport services in the implementation of transportation by inland waterways are considered. The urgency of the problem is due to the need to ensure competitiveness, increase the viability of the enterprise in the future, as well as the solution of new, more complex tasks in a dynamic and uncertain environment. A methodical approach and an algorithm for substantiating the strategy of a shipping company's behavior in the transport services market based on strategic management methods adapted to solving the problems of river transport enterprises have been developed. Search directions and recommendations for their implementation are proposed.

Keywords: *transport services market, behavior strategy, river transport, shipping company.*

Рассмотрены методы разработки, принятия и реализации стратегии поведения судоходной компании на рынке транспортных услуг при осуществлении перевозок по внутренним водным путям. Актуальность проблемы обусловлена необходимостью обеспечить конкурентоспособность, повышение жизнеспособности предприятия в перспективе, а также решение новых, более сложных задач в условиях динамичности и неопределенности внешней среды. Разработан методический подход и алгоритм обоснования стратегии поведения судоходной компании на рынке транспортных услуг на основе методов стратегического управления, адаптированных к решению задач предприятий речного транспорта. Предложены направления поиска и рекомендации по их реализации.

Реформирование экономики, структурные преобразования в ее отраслях, развитие рыночных отношений, формирование и становление отраслевых рынков, риски и другие факторы определяют современные условия производственно-хозяйственной деятельности предприятий и организаций. В связи с этим важной, актуальной задачей является разработка рациональной стратегии их поведения на отраслевых рынках.

В качестве инструментария при ее решении приняты методы стратегического управления (стратегического менеджмента), а сам процесс практической реализации стратегии представляется как динамическая (подвижная) совокупность взаимоувязанных следующих один за другим действий и этапов, которые, как правило, логически вытекают один из другого/1,4/ Теоретической основой и методологией инструментария обоснованного выбора варианта стратегии и разработки конкретных предложений и рекомендаций по ее реализации в судоходной компании, либо фирм является сочетание элементов теорий менеджмента и маркетинга, подтвержденных практикой маркетинговой деятельности. При этом за основу приняты принципы комплексности и поэтапного решения задач, научной обоснованности разработок и системного подхода.

Отмечается наличие особенностей менеджмента и маркетинговой деятельности на речном транспорте, которые учитываются при разработке стратегии поведения судоходной компании на региональном (бассейновом) рынке транспортных услуг. Они обусловлены спецификой функционирования и развития этого вида транспорта, его ролью в транспортном обслуживании экономики и социальной сферы регионов, участием в актуальных экономических проектах развития производительных сил, общественного производства и хозяйственного освоения новых территорий. При этом речным транспортом осуществляется доставка промышленной продукции, строительных материалов, оборудования, энергоносителей, продовольствия и других необходимых грузов. Такой сценарий освоения нефтегазовых месторождений реализован в Западно-Сибирском экономическом регионе. В процессе формирования и развития здесь нефтегазодобывающего комплекса создана транспортная инфраструктура, построены автомобильные и железные дороги. Как следствие такого сценария развития региональной экономики роль речного транспорта постепенно снизилась, автомобильный и железнодорожный транспорт составили ему серьезную конкуренцию. Изменения произошли и в

структуре регионального рынка транспортных услуг в пользу сухопутных видов транспорта. Сфера деятельности речного транспорта в регионе переместилась на север для участия в освоении газоносных месторождений на Ямале [1,2].

Таким образом, на основе анализа регионального рынка транспортных услуг на территории Сибири, оценки роли речного транспорта и района тяготения установлены сферы его деятельности. Ведущее положение речной транспорт занимает в северном завозе груза, районах Заполярья, Якутии и Дальнего Востока. Так, в общем грузообороте при завозе на территорию Республики Саха (Якутия) доля речного транспорта составляет свыше 40% [2]

Конкурентные преимущества и недостатки речного транспорта известны. При разработке и реализации стратегии поведения судоходной компании на рынке транспортных услуг их влияние учитывается индивидуально в зависимости от уровня подготовки менеджеров и эффективности маркетинговой деятельности. Предлагаются методический подход и алгоритм решения актуальной для судоходных компаний задачи обоснования конкурентной стратегии. С позиций системного подхода осуществляется декомпозиция рассматриваемой задачи с дальнейшей поэтапной реализацией [3]:

- оценка и анализ своих транспортных возможностей (провозной способности речного флота), а также возможных (или потенциальных) конкурентов;
- сегментирование (или разделение рынка) рынка транспортных услуг и определение сферы интересов судоходной компании с учётом оценки поведения возможных и действующих конкурентов;
- разработка системы мер и комплекса мероприятий по привлечению грузов и пассажиров, переориентация их с сухопутных видов транспорта, диверсификация транспортного производства, расширение сферы услуг с учетом потребностей рынка;
- анализ и оценка уровня конкурентоспособности субъектов рынка транспортных услуг на основе изучения их возможностей и поведенческого сценария;
- выработка рациональной стратегии поведения судоходной компании на рынке транспортных услуг и системы конкурентных преимуществ;
- реализация конкурентной стратегии с учётом адаптации к постоянно изменяющейся ситуации.

Миссия и цели являются основным механизмом, на основе которого разрабатывается стратегия поведения компании. Миссия включает в себя формирование целевых ориентиров, сферы деятельности, философии компании, возможностей и способов осуществления деятельности, а также определенного имиджа компании в представлении внешней среды. В целом миссия организаций и компаний речного транспорта должна включать завоевание определенного ключевого места (сектора) на рынке транспортных услуг, расширение сферы деятельности транспортной компании и диверсификация транспортного производства, повышение качества услуг и товаров при одновременном снижении цен и тарифов, социальные и экологические цели и т.д. В частности, судоходная компания на рынке транспортных услуг, осуществляя перевозки грузов и пассажиров на определенных направлениях, перегрузочные работы, транспортно-экспедиторское обслуживание и другие виды основной деятельности, стремится к их расширению и повышению качества исполнения этих услуг. Расширение сферы деятельности организации или компании, может быть, реализовано в рамках действующих лицензий.

Миссия компании любой экономической направленности, в том числе и транспортная компания, дополняется и уточняется конкретными целями и задачами. Цели компании – это определенное конкретное состояние отдельных качественных характеристик компании, достижение которых для неё является желательным и на достижение которых направлена деятельность компании. При этом цели и задачи компании должны отвечать следующим основным требованиям: конкретность, измеримость, гибкость, достижимость, совместимость, приемлемость [8].

В крупной транспортной компании, какой является судоходная компания (например, ПАО «Томская судоходная компания»), формируется иерархия целей, которая представляет собой декомпозицию целей более высокого уровня в цели более низкого уровня. Иерархия целей играет важную роль, так как она определяет и устанавливает структуру организации и обеспечивает ориентацию всех подразделений судоходной компании на достижение целей верхнего уровня. Если иерархия целей судоходной компании построена правильно, то подразделение (или служба компании), достигая своих целей, вносит определенный вклад в деятельность компании по достижению её целей.

На практике руководство организаций и компаний при определении целей организации на первое место обычно ставит прибыль. Получение максимального результата прибыли (максимизация прибыли) — это определенный общепринятый ориентир, в своем роде идеальный.

Однако, в реальной хозяйственной деятельности прибыль не всегда может являться единственной целью организации. В конечном итоге оно функционирует не только ради получения прибыли, как конечного результата своей деятельности, а ради достижения какой-либо выгоды потребителям. Любые заработанные финансовые средства следует куда-то вкладывать. В связи с этим, помимо получения прибыли, к целям относятся расширение бизнеса и непрерывность деятельности организации. Как правило, достижение этих целей входит в противоречие с целью максимизации прибыли, поскольку на поддержание непрерывности и развитие организации требуется огромное количество финансовых ресурсов. Причем отдача этих ресурсов может быть реализована в долгосрочной перспективе.

Таким образом, выбор целей при формировании миссии предприятия - сложный и ответственный процесс, при котором рассматриваются разные варианты быстрого либо стабильного роста, сокращения и другие. При этом важную роль играет стратегия его поведения на отраслевых рынках услуг и товаров. Кроме того, такая стратегия, «конкурентная» по определению М. Портера [7], в современных условиях хозяйствования является обязательной составляющей менеджмента. Она определяет пути и направления обеспечения конкурентоспособности, укрепления рыночной позиции и стабильного развития компании.

Формирование конкурентной стратегии заключается в разработке четких средств и действий ведения конкурентной борьбы для достижения целевых ориентиров. При выборе стратегии поведения на рынке могут быть рассмотрены рекомендации М. Портера [7]. По его мнению, существуют три основных варианта стратегии:

- позиционирование компании, при котором ее потенциал обеспечивается за счет минимизации издержек производства, что способствует реализации своей продукции по более низкой цене и увеличению присутствия на рынке;
- стремление компании к лидерству за счет специализации в производстве продукции высокого качества, а потребители выбирают эту продукцию, несмотря на достаточно высокую цену;
- фиксация (закрепление) определенного сегмента рынка и концентрация усилий компании на нем при достаточной потребности в определенном продукте, а компания должна стремиться к снижению издержек, либо проводить политику специализации, а также возможны эти два подхода.

В процессе анализа состава перевозимых грузов, их характеристик и свойств, технического состояния флота, его структуры, типов судов и их характеристик, перегрузочных и других технических средств, участвующих в транспортном процессе и обслуживающие его уставлено следующее. Качество транспортных услуг по перевозке грузов судоходными компаниями за счет перечисленных факторов одинакового уровня и это позиция не может быть конкурентным преимуществом.

Итак, на основе анализа рынка транспортных услуг в водотранспортных бассейнах Сибири и Дальнего Востока, оценки спроса и предложения, условий судоходства и осуществления эксплуатационной деятельности судоходных компаний с учетом их транспортных возможностей в качестве основного варианта конкурентной стратегии принят первый. Таким образом, рекомендована следующая общая формулировка конкурентной стратегии - стремление к увеличению присутствия на рынке за счет минимизации издержек транспортных и производства и снижения тарифов на услуги. При её реализации в рамках конкретной судоходной компании рекомендуются следующие организационно-технические и организационно-экономические мероприятия общего характера [6]:

- повышение эффективности использования имеющихся технических средств: транспортный и вспомогательный флот, перегрузочные машины и оборудование;
- внедрение новейшей современной техники, передовой технологии, предложенной отечественными и зарубежными компаниями, и рациональной организации транспортного производства, обеспечение высокого уровня производительности труда;
- экономия всех имеющихся наличных ресурсов и применение бережливой технологии в их использовании;
- формирование и реализация рациональной тарифной политики транспортной компании, которая сформирована на системе гибких, научно-обоснованных тарифов и скидок;
- разработка и внедрение стратегии использования флота судоходной компании на

грузовых перевозках с учётом особенностей его работы в весенний (полноводный) и меженный (маловодный) периодов навигации, а также с учетом факторов риска и неопределенности.

По результатам научных исследований, выполненных в университете, сформулирован перечень возможных конкретных мероприятий для включения в систему конкурентных преимуществ [1]:

- эксплуатация на основных направлениях перевозок и участках работы оптимальных типов составов;
- внедрение (или рационализация) стратегии использования речного флота на перевозках с учётом оценки факторов риска и неопределенности, вызванных нестабильностью грузовых потоков и вероятностным характером изменения глубины судового хода и других факторов, влияющих на эксплуатационные показатели работы флота;
- разработка и внедрение энергосберегающих технологий работы буксирного флота, основанных на рационализации режимов работы судовых двигателей и движения типовых составов;
- оптимизация процесса организации перевозок грузов речным транспортом, в основе которой лежат разработки и внедрения логистических систем и технологий;
- разработка и внедрение в практическую деятельность воднотранспортных систем доставки грузов;
- расширение сферы деятельности компаний за счёт оказания спектра логистических услуг и сервиса;
- внедрение новых технологий, предложенных отечественными и зарубежными компаниями, и материалов в судоремонте и техническом обслуживании флота;
- совершенствование системы менеджмента и маркетинга судоходной компании;
- оптимизация организационных структур управления судоходной компанией;
- разработка и внедрение информационных систем и технологий, применение современных цифровых технологий, совершенствование информационно-телекоммуникационной системы в менеджменте судоходной компании.

Рассмотрим решение некоторых из этих задач на конкретных примерах. В частности, при определении и реализации рациональной стратегии использования грузового флота, используемого на перевозках транзитных грузов, учтены факторы риска, вызванные нестабильностью грузовых потоков и вероятностным характером изменения глубины судового хода на примере Западно-Сибирского пароходства. Рассмотрено три варианта грузопотоков и столько же глубин судового хода: пессимистический – вероятность $P1=0,5$; расчётный - вероятность $P2=0,35$; оптимистический – вероятность $P3=0,15$. По каждому из них рассчитана провозная способность типов судов и эксплуатационные расходы в зависимости от глубины судового хода и направления перевозок груза. Полученные данные заносятся в матрицы расстановки флота для каждого из вариантов. Поиск оптимального плана варианта расстановки осуществляется любым из методов линейного программирования. Полученные результаты анализируются с позиций оценки рисков (таблица 1). Анализируя их с позиций максимума экономической выгоды, приоритет получает первый вариант, так как предполагаемая ожидаемая прибыль выше, чем у остальных вариантов, а риск ниже, чем по второму варианту, но выше, чем по третьему варианту. Второй вариант представленного расчета менее привлекателен, чем остальные варианты, так как имеет самую низкую ожидаемую прибыль и самый высокий уровень риска. Компания принимает окончательное решение, учитывая полученные результаты, в зависимости от предпочтения риска или нет.

Таким образом, стратегия использования флота на перевозках грузов содержит несколько вариантов (по крайней мере три) плана его расстановки. В зависимости от оперативной обстановки реализуется тот или иной вариант. При увеличении перевозок вводится в эксплуатацию требуемое количество судов. В случае увеличения глубин судового хода эксплуатируются крупнотоннажные суда с полной загрузкой, а при уменьшении глубин загрузка снижается и используются на маловодных участках малотоннажные суда с перевалкой в дальнейшем на крупнотоннажные (опыт организации перевозок грузов на Верхней Лене). Такая стратегия поведения судоходной компании позволяет сократить эксплуатационные расходы по содержанию флота и снизить степень экономического риска.

Таблица 1 – Оценка рисков решений по выбору плана расстановки флота

Номер стратегии использования флота по вариантам	Прибыль в зависимости от оценки плана перевозок			Предполагаемая прибыль (Π_i), млн. рублей	Риск (δ_i), млн. рублей
	$P_1=0,50$	$P_2=0,35$	$P_3=0,15$		
1	18,3	24,3	38,3	23,40	6,83
2	16,9	22,3	38,4	22,02	7,31
3	17,5	22,7	36,6	22,12	6,36

Следующая задача в системе конкурентной стратегии «Ресурсосберегающие технологии работы буксирных судов и их ремонта». Идея заключается в том, что экономия топлива на буксирах – толкачах при вождении составов вниз, по течению может быть достигнута за счет снижения числа оборотов главных двигателей до уровня не ниже 30% от номинального уровня. Результаты расчётов на примере Ленского бассейна приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Себестоимость перевозок при разных режимах работы двигателя и движения состава

Направление перевозок грузов	Тип состава	Число оборотов двигателя	Себестоимость перевозок, руб./т
Устье р. Алдан – Якутск – Устье р. Алдан	P-33ЛТ+2×P-56	500	144
		450	139
		400	135
		350	130
	P-33ЛТ+2×16800	500	126
		450	121
		400	117
		350	113
Осетрово – Якутск – Осетрово	1741+2×P-56	750	1654
		700	1617
		650	1580
		600	1544
	P-33ЛТ+2×16800	550	1508
		500	1700
		450	1635
		400	1571
		350	1508

В процессе анализа себестоимости перевозок при разных режимах работы двигателя и движения состава выявлено, что работа судовых двигателей на долевых (частичных) режимах (не более 30%) позволяет снизить себестоимость перевозок на 11–13% за счет снижения расхода моторного топлива. Время ходового режима при этом увеличивается на 8–9 %, а провозная способность флота снижается на 2–3%. Следовательно, эффективность такой технологии работы буксирного флота доказана [1].

Внедрение новых материалов и передовых технологий в судоремонте является одним из элементов системы экономии ресурсов. Разработана и успешно применяется технология нанесения на рабочие поверхности износостойких, жаростойких и других покрытий. Таким способом возможно восстановить различные детали судовых двигателей, корпуса судов, движительно-рулевой комплекс и т.д.

Наиболее перспективным методом повышения ресурса комплекса винт-насадка является восстановление и упрочнение рабочих поверхностей судовых гребных винтов и насадок способами плазменного напыления и металлической наплавки, при использовании которых срок службы комплекса винт-насадка увеличивается в 2 и более раза. Кроме того, снижается расход топлива на 5% за счёт уменьшения потребляемой движителем мощности.

Изложенное в статье авторское представление о стратегии поведения предприятия речного транспорта на отраслевом рынке транспортных услуг и методические разработки ее обоснования содержат научную новизну. В частности, адаптирован и реализован системный

подход решения комплекса задач, разработан алгоритм обоснованного выбора конкурентной стратегии судоходной компании. Предложены пути и направления ее формирования, определены конкретные мероприятия технического, технологического и организационно-экономического характера.

При этом наиболее востребованной является стратегия использования флота на перевозках грузов с учетом влияния факторов риска на результаты решения поставленных задач и система конкурентных преимуществ, реализация которых позволит достичь намеченных целей организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forecasting of traffic flows and development in the implementation of the transport strategy in the far north. Buneev V., Vinichenko V., Maslennikov S.: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03010.
2. Бунеев В.М. 2020 Особенности стратегического менеджмента на водном транспорте/ В.М.Бунеев, В.А. Виниченко, Т.В.Глоденис // Вестник транспорта. - 2020. - № 1, с. 32-34.
3. Деружинский Г. В. 2008 Угрозы как источники рисков снижения качественных параметров инвестиционного потенциала региона: инструменты управления Экономический вестник Ростовского государственного университета Том 6 Номер 3 - 3 с. 303 – 306.
4. Дмитриенко В.Д. 2017 Совершенствование управления эксплуатацией водного транспорта с использованием методов исследования операций. Транспортное дело России - №5. Москва: с. 180-185.
5. Жуков В. А. 2009 Стратегическое регулирование региональной составляющей национальной транспортной системы . Экономический вестник Ростовского государственного университета Том 7 № 3 (часть 3) с. 201 – 205.
6. Мамаев Э. А., Тараев Э. Л., Филатов И. Н. 2007 Экономические основы логистических технологий на транспорте Экономический вестник Ростовского государственного университета Том 5 Номер 4 - 2 с. 163 – 164.
7. Портер М. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / Пер. с англ. И.Минерина – М.: «Альпин Паблишер». - 2015. - 454 с.
8. Фурсов В.А. 2006 Особенности маркетинга транспортных услуг. Экономический вестник Ростовского государственного университета, №4 С. 148 – 152.

REFERENCES

1. Forecasting of traffic flows and development in the implementation of the transport strategy in the far north. Buneev V., Vinichenko V., Maslennikov S.: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03010.
2. Buneev V.M. 2020 Features of strategic management in water transport / V.M. Buneev, V.A. Vinichenko, T.V. Glodenis // Bulletin of transport. - 2020. - No. 1, p. 32-34.
3. Deruzhinsky G. V. 2008 Threats as sources of risks of reducing the qualitative parameters of the investment potential of the region: management tools Economic Bulletin of Rostov State University Volume 6 Number 3 - 3 p. 303 – 306.
4. Dmitrienko V.D. 2017 Improving water transport operation management using operations research methods. Transport business of Russia - No. 5. Moscow: p. 180-185.
5. Zhukov V. A. 2009 Strategic regulation of the regional component of the national transport system. Economic Bulletin of the Rostov State University Volume 7 No. 3 (part 3) p. 201-205.
6. Mamaev E. A., Taraev E. L., Filatov I. N. 2007 Economic fundamentals of logistics technologies in transport Economic Bulletin of Rostov State University Volume 5 Number 4 - 2 p. 163-164.
7. Porter M. Competitive strategy: Methods of analysis of industries and competitors / Per. from English. I. Minerina - M.: "Alpin Publisher". - 2015. - 454 p.
8. Fursov V.A. 2006 Features of marketing of transport services. Economic Bulletin of the Rostov State University, No. 4, pp. 148 – 152.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рынок транспортных услуг, стратегия поведения, речной транспорт, судоходная компания.
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Виктор Михайлович Бунеев, докт. техн. наук., профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Инна Анатольевна Пичурина, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОВЕРОЧНОМ СТЕНДЕ СЕКСТАНА, ОБЛАДАЮЩЕГО ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ БОЛЬШОГО ЗЕРКАЛА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водногоспорта»

С.И. Бабич

MEASUREMENT RESULTS ON THE SEXTANT VERIFICATION STAND WITH TWO DEGREES OF FREEDOM OF A LARGE MIRROR

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Sergei I. Babich (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: Practically, based on the results of bench tests, functional errors were obtained and presented when measuring the difference in heights and azimuths of two luminaries located on different almucantars, data are given for calibrating the azimuthal limb of a sextant with two degrees of freedom of a large mirror. The identified errors should be taken into account either as corrections to the measured height differences, or as additional functional calculations of the azimuth difference before applying the main algorithm for calculating the observed coordinates from the measured difference navigation parameters.

Keywords: a sextant with a swivel large mirror, functional errors in measuring the difference in heights and azimuths of two luminaries by a sextant with two degrees of freedom of a large mirror, a universal two-coordinate calibration stand

Практически по результатам стендовых испытаний получены и представлены функциональные погрешности при измерении разности высот и азимутов двух светил, находящихся на разных альмукантаратах, приведены данные для тарировки азимутального лимба секстана обладающим двумя степенями свободы большого зеркала. Выявленные погрешности должны учитываться либо как поправки к измеренным разностям высот, либо как дополнительные функциональные вычисления разности азимутов перед применением основного алгоритма расчёта обсервованных координат по измеренным разностным навигационным параметрам.

Несмотря на достаточно высокий уровень автоматизации определения места судна в море, проблема разработки резервных методов и приборов для мореходной астрономии остаётся актуальной. Это связано с необходимостью независимого контроля места судна альтернативными спутниковой навигации методами, а также с невозможностью использовать методы спутниковой навигации в нештатных ситуациях. При этом использование традиционного секстана как измерителя высот светил связано с известными ограничениями, которые могут быть преодолены введением в оборот дополнительных типов навигационных параметров.

Секстан, обладающий двумя степенями свободы большого зеркала (СПБЗ) (рисунок 1), содержит только детали, дополняющие механическую систему традиционного секстана механической системой поворота большого зеркала в азимутальной плоскости.



Рисунок 1 – Секстан с поворотным большим зеркалом

Особенность СПБЗ состоит в том, что он в полностью автономный, не требует электропитания, а процесс наблюдения сводится к совмещению изображений прямовидимого светила и отражённого в зеркалах, что занимает менее одной минуты времени. Новая техническая идея в лице СПБЗ защищена патентом Российской Федерации № 2 523 100 МП G 01 C 1/08 [2].

Как и все углоизмерительные приборы, СПБЗ нуждается в точной тарировке шкал и

проверке снятия показаний. Ряд проведенных стендовых исследований с прибором показал, что при измерении разности азимутов двух светил возникает возрастающая функциональная погрешность [3], вскоре явление этой зависимости было теоретически подтверждено и описано в научных трудах [4]. Однако на больших азимутальных углах, полученные теоретические значения погрешностей разнятся с данными, полученными в ходе первых стендовых испытаний, причиной тому стало не совершенство методики стендовых измерений, в частности малая точность снятия показаний. Анализ полученных результатов привёл к необходимости создания более совершенного поверочного стенда для исследования функциональной погрешности.

На примере действующего поверочного стенда для проверки традиционных секстансов - гониометра фирмы «Фрайбергер» (Германия) имеющего только один лимб – горизонтальный, схема прибора показана на рисунке 2, был разработан универсальный двухкоординатный поверочный стенд.

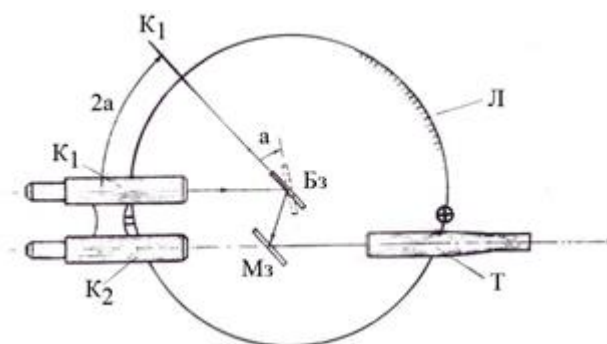


Рисунок 2 – Схема гониометра

Универсальный поверочный стенд «Сфера», рисунок 3, благодаря наличию как горизонтального, так и вертикального лимбов имеет возможность производить замеры по двум координатам одновременно, схемы УПС «Сфера» представлены на рисунках 4, 5.

Целью исследования является получение техническим способом в процессе стендовых измерений на приборе обладающим высокой точностью снятия величин, данные о функциональные погрешности появляющейся при измерении разности высот и азимутов двух светил двух с помощью СПБЗ. Задачи: выполнить выверку секстанса, произвести установку секстанса на стенд с его центровкой относительно лимбов стенда, произвести сличения данных полученных на СПБЗ с поверочным стендом в диапазоне высот от нуля до 10 градусов с шагом два градуса, на каждой из высот, произвести сличение разности азимутов в диапазоне 60 градусов в каждую из сторон с шагом 5 градусов.



Рисунок 3 – Поверочный стенд «Сфера» с установленным СПБЗ вид сбоку: 1 – Высотный лимб; 2 – Коллиматор высотного лимба с отсчетно-стопорным устройством; 3 – Кронштейн высотного лимба; 4 – Поворотный стол; 5 – Азимутальный лимб; 6 – Отсчетно-стопорное устройство азимутального лимба; 7 – Кронштейн для крепления секстанса; 8 – СПБЗ

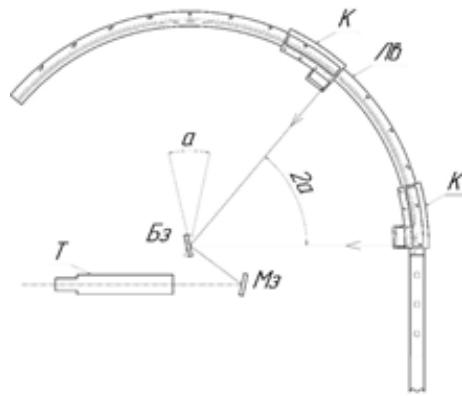


Рисунок 4 – Схема измерения вертикальных углов

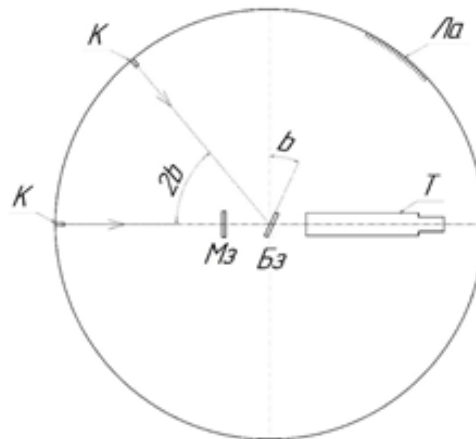


Рисунок 5 – Схема измерения горизонтальных углов

Перед установки СПБЗ на стенд была произведена первичная выверка секстана: установка малого зеркала (Мз) секстана перпендикулярно высотной плоскости секстана, рисунок 6, и установка большого зеркала (Бз) параллельно малому на удалённый объект, соответствующий проектному расстоянию высотного лимба стенда до центра большого зеркала секстана равному 280 мм. Стенд предварительно выставляется в горизонтальной плоскости с помощью регулировки ножек платформы на котором установлен. Контроль установки азимутального и высотного лимба стенда производится пузырьковыми гидроуровнями.



Рисунок 6 – Проверка перпендикулярности малого зеркала по равенству уровней верхних кромок прямовидимого и отражённого лучей диоптров

В процессе установки секстан был выставлен и закреплен в положении - большим зеркалом в точке с общим центром двух осей стенда, выполнена проверка параллельности высотного лимба стенда с высотным лимбом секстана. Дневная труба (Т) закреплена на раму секстана параллельно ей же в неподвижном состоянии.

В методике измерений считается, что секстан постоянно направлен на прямовидимое светило (ПС), таким образом ось подзорной трубы имитирует ПС, а световая точка

коллиматор (К) имитирует дважды отраженное светило (ДОС). При параллельном положении большого и малого зеркал, то есть, когда углы α и β по секстану равны 0° , ось коллиматора должна быть совмещена с осью зрительной трубы, рисунок 7. При этом отсчёт этих углов станда будет 01.

Для совмещения оси дневной трубы с осью коллиматора необходимо повернуть большого зеркала на углы α и β , а коллиматор станда и его азимутальный лимб на углы 2α и 2β соответственно, рисунок 8. При этом отсчёт этих углов станда будет 02. Разность отсчётов 02–01 и есть поправка, применяемая к углам измеренных секстаном. Таким методом производятся сличения углов, измеренных секстаном, с их истинными значениями, снятыми по станду.

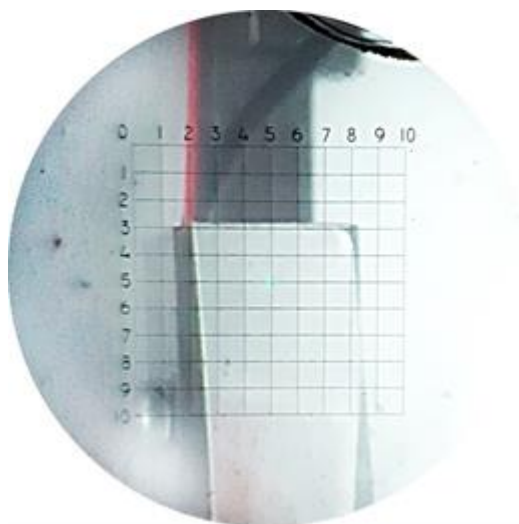


Рисунок 7 – Совмещение оси дневной трубы с осью коллиматора, вид через подзорную трубу



Рисунок 8 – Совмещение оси трубы с осью коллиматора, вид на станд

По завершению исследования по сличения результатов полученных СПБЗ и стандовых принятых за истинные был получен большой объём данных, по десять измерений на каждом из диапазона высот. Результаты исследования были обработаны, отсеяны случайные ошибки измерений и приведены к средним значениям (рисунок 9).

Так же были получены данные для тарировки шкалы азимутального лимба СПБЗ имеющие линейный вид (рисунок 10).

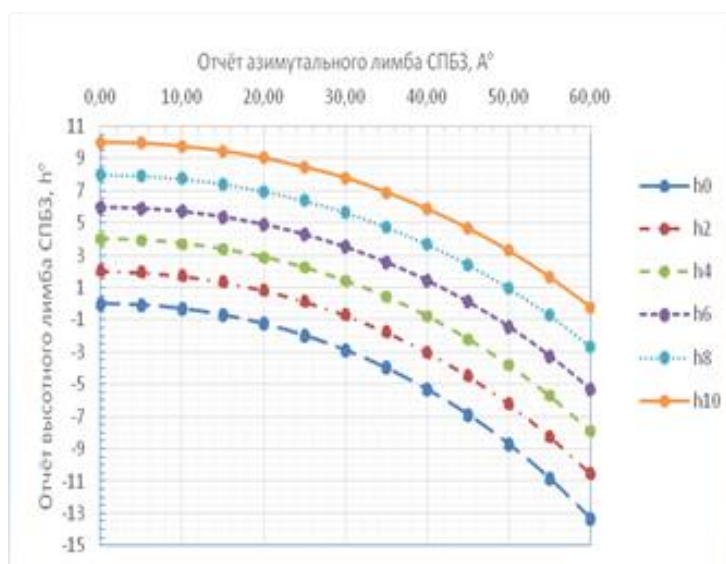


Рисунок 9 – Функциональная погрешность измерения разностей высот и азимутов светил, находящихся на разных альмукуантаратах секстаном с двумя степенями свободы большого зеркала

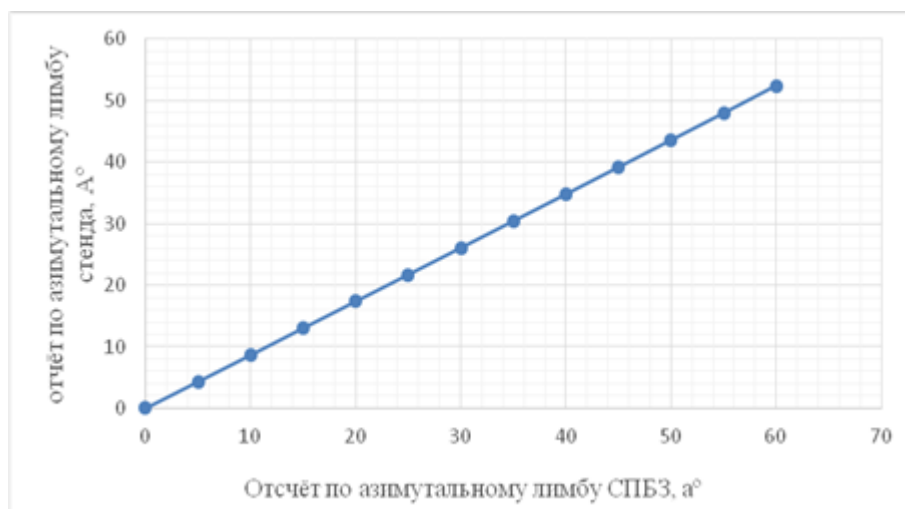


Рисунок 10 – Сравнение отчётов азимутальных лимбов стенда и секстана по средним значениям измерений

В процессе исследования максимальная разница между измерениями по одному азимутальному направлению не превысила двух угловых минут, а при сличении одинаковых углов разных азимутальных направлений разница измерений возрастала до четырех угловых минут. Это вызвано наличием люфта червячного механизма стенда, не совершенствовании коллиматора, влиянием вибрации на процесс высокоточных измерений и возможным неровностям в деталях самого стенда.

Полученные результаты доказывают практическую возможность поверки используя данный метод как секстанов с большим поворотным зеркалом, так и традиционных секстанов. Подтверждено наличие функциональной ошибки за эксцентриситет большого зеркала и выявлены поправки необходимые для учёта при использовании поверенного образца СПБЗ, также применимые на этапе тарировки шкал новых секстанов обладающими двумя степенями свободы большого зеркала.

Результаты эксперимента были сравнены с разработанной теоретической частью [4], описывающей полученную функциональную погрешность. Функциональная погрешность f имеет следующий вид

$$f = 90^\circ - \varepsilon_0 - \arcsin [\cos(\varepsilon_0 + \omega) \cos \beta], \quad (1)$$

где ε_0 – угол наклона малого зеркала к оси глаза наблюдателя;

ω – угол поворота большого зеркала относительно малого зеркала в вертикальной плоскости;

β – угол поворота большого зеркала относительно малого зеркала в горизонтальной плоскости.

В качестве поправки к измеряемому значению разности высот предлагает использовать выражение (1) с противоположным знаком. Результаты сравнения по (1) (при 0; 4; 10; 70 °) графически представлены на рисунке 11.

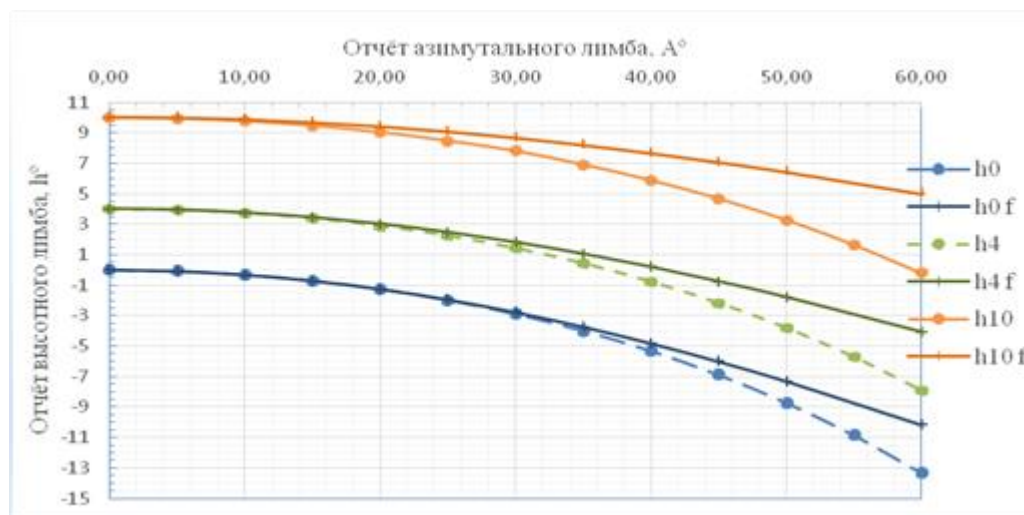


Рисунок 11 – Графическое сравнение результатов эксперимента с теоретической базой: h_0, h_4, h_{10} – практические стендовые измерения с разностью высот 0, 4, 10; $h_0 f, h_4 f, h_{10} f$ – теоретические расчёты по (1) с разностью высот 0, 4, 10

На рисунке 10 видно, что при измерении двух светил, находящихся на одном альмукантарате при разности азимутов до 30 ° полученные результаты достаточно близки с теорией, но результаты измерений на разных высотах и больших азимутальных расстояниях значительно отличаются, это говорит о необходимости в более детальной работе над теоретическими знаниями о методических погрешностях измерения разностей высот и азимутов светил секстаном с двумя степенями свободы большого зеркала.

Поставленная цель и задачи исследования выполнены в полном объёме, получены и опубликованы поправки к функциональной ошибке за эксцентриситет большого зеркала, пригодные для вычисления разности углов и азимутов светил измеренными СПБЗ с ошибкой не более четырёх угловых минут. Метод поверки, используемый в поверочном стенде, подходит к поверке и тарировке шкал секстанов. Для массового производства нового типа секстана и конструирования высокоточного универсального поверочного стенда, обладающим точностью измерений не более одной угловой минуты необходимо опираться на полученный опыт и методику исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сичкарёв В.И. Новый секстан для измерения разности высот и азимутов светил / В.И. Сичкарёв, С.В. Титов, С.И. Бабищ // Речной транспорт (XXI век), №1, 2017. – С. 57-58.
2. Сичкарёв В.И. Секстан. Патент на изобретение РФ № 2523100 от 22.05.2014, МПК G01C 1/08 (2006.01). Приоритет от 28.02.2013
3. Солюянов Е.В. Измерения поправок высот секстана с поворотным большим зеркалом / Е.В. Солюянов, Л.В. Дьячков, С.И. Бабищ // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, № 3,4. - 2016. – Новосибирск: СГУВТ, 2016. – С. 71-74.
4. Сичкарёв В.И. Методическая погрешность измерения разностей высот и азимутов звезд секстаном с двумя степенями свободы большого зеркала, Навигация-2018, Новосибирск, СГУВТ.2018. С. 3-14.
5. Габбасов Ф.Ш. и Бабищ С.И. Принцип действия поверочного стенда секстана с двумя

REFERENCES

1. Sichkarev V.I. A new sextant for measuring the difference in heights and azimuths of the luminaries / V.I. Sichkarev, S.V. Titov, S.I. Babich // River transport (XXI century), No. 1, 2017. - P. 57-58
2. Sichkarev V.I. Sestan. Patent for the invention of the Russian Federation No. 2523100 dated May 22, 2014, IPC G01C 1/08 (2006.01). Priority from 28.02.2013
3. Soluyanov E.V. Measurements of height corrections of a sextant with a rotary large mirror / E.V. Soluyanov, L.V. Dyachkov, S.I. Babich // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East, no. 3,4. - 2016. - Novosibirsk: SGUVT, 2016. - S. 71-74
4. Sichkarev V.I. Methodological error in measuring the differences in heights and azimuths of stars by a sextant with two degrees of freedom of a large mirror, Navigation-2018, Novosibirsk, SGUVT.2018. pp. 3-14.
5. Gabbasov F.Sh. and Babich S.I. Operating principle of a sextant test stand with two degrees of freedom of a large mirror // Morskoy vestnik. 2020. No. 1(73) pp. 114-115.

степенями свободы большого зеркала // Морской вестник. 2020. № 1(73) С. 114-115.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

секстан с поворотным большим зеркалом, функциональная погрешности при измерении разности высот и азимутов двух светил секстаном с двумя степенями свободы большого зеркала, универсальный двухкоординатный поверочный стенд

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Сергей Игоревич Бабич, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЕЗЕРВНЫХ МЕТОДОВ НАХОЖДЕНИЯ МЕСТА СУДНА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водногосударственного транспорта»

В.И. Сичкарев, С.И. Бабич

DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF RESERVE METHODS FOR LOCATION OF A VESSEL

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Victor I. Sichkarev (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Sergei I. Babich (Graduate student of SSUWT)

ABSTRACT: The issue of organizing the safety of navigation is being considered. The advantages and disadvantages of satellite navigation systems are considered. The main part is devoted to the development of fully autonomous backup methods for determining the position of the vessel, the shortcomings are described and a technical solution is proposed to eliminate the existing shortcomings of the current navigation device - the sextant, while maintaining its functions in full. It is proposed to consider the current literature on the use of astronavigation methods for determining the position of the vessel and the direction for the development of methodological information with practicality and simplicity, suitable for use by specially unprepared crew members.

Keywords: a sextant with a swivel large mirror, functional errors in measuring the difference in heights and azimuths of two luminaries by a sextant with two degrees of freedom of a large mirror, a universal two-coordinate calibration stand

Рассматривается вопрос об организации безопасности мореплавания. Рассмотрены достоинства и недостатки спутниковых навигационных систем. Основная часть посвящена вопросу развития полностью автономных резервных способов определения места судна, описаны недостатки и предложено техническое решение для устранения имеющихся недостатков действующего навигационного прибора – секстана, с сохранением его функций в полном объеме. Предложено рассмотреть действующую литературу по применению астронавигационных методов определения места судна и направление на разработку методической информации обладающей практичностью и простотой, подходящую для применения специально не подготовленным членам экипажа.

Современное судоходство в настоящее время – это большая конкуренция по оказанию услуг в перевозке груза и пассажиров, число судов постоянно растёт так же, как и растёт их валовый тоннаж. Увеличение трафика судов привело к необходимости обеспечения безопасности мореплавания по средствам использования высокоточных методов нахождения места судна, не требующих длительных расчётов и применимых в любое время суток. Таким методом обсервации стал метод нахождения места судна с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, обеспечивающим предельную погрешность определения места – не более 100 м, а с получением данных от контрольно-корректирующей станции (ККС) дифференциальной глобальной системой определения места (DGPS) - даёт среднюю квадратичную погрешность определения места в зависимости от расстояния до ККС 1-10 м [1]. Наряду с высокой точностью определения места положения с помощью спутниковых навигационных систем (СНС) у этих систем имеется ряд недостатков:

- Возможность отключения пользователей от системы;
- Выходы из строя приёмоиндикаторов земных станций пользователей и их антенн;
- Выход из строя спутников системы.

Первый недостаток в настоящее время активно устраняется - ведь за последние 30 лет количество СНС возросло с одной до четырех: Американская GPS, Российская ГЛОНАСС, Европейская Galileo и Китайская Beidou, а их методы и средства постоянно совершенствуются. В связи этим задача астронавигационного определения места судна в открытом море отнесена к резервным методам судоходства.

Навигационный секстан - простой, безотказный, высокоточный морской угломерный инструмент, для которого разработаны различные методы как навигационного, так и астронавигационного использования (рисунок 1).



Рисунок 1 – Традиционный секстан

В силу своей простоты и надёжности он, наряду с магнитным компасом, входит в число предметов обязательного навигационного снабжения морских судов и служит целям навигации в аварийных условиях, а также при сбоях в работе спутниковых навигационных систем [2]. Многие судоходные компании согласно с положениями системы управления безопасностью компании требуют от судоводителей производить обсервации двумя и более способами, а в открытом море кроме астронавигационных методов нахождения места положение судна, обладающих достаточной точностью, чтобы проверить достоверность полученных координат места судна по СНС попросту нет. Поэтому работы по совершенствованию этих приборов нужно вести так же активно, как и работу с повседневно актуальными навигационными приборами [3].

Традиционным секстаном астронавигационные измерения высот светил ведутся относительно видимого горизонта, поэтому им можно пользоваться только днём (измерение высот солнца) или в непродолжительное время утренних или вечерних сумерек, когда ещё виден горизонт и уже видны звёзды. Весь ночной период, когда хорошо видно много звёзд - не видно горизонта, и традиционные определения места судна астронавигационными методами невозможно использовать. Кроме того, по гидрометеорологическим причинам (низовой туман, значительное волнение, лёд) иногда горизонт оказывается недостаточно чётким и в дневную пору, что дополнительно уменьшает промежутки возможного использования традиционного секстана. Имеются недостатки и в процессе обработки измеренных высот светил. Из нескольких вводимых поправок поправка за наклонение видимого горизонта может не соответствовать реальному значению до 6–15', что приводит к ошибке линии положения в 6–15 миль. Попытки ликвидировать зависимость астронавигации от видимого горизонта предпринимались и ранее. Были созданы секстаны с искусственным горизонтом, использующие свойства гироскопов. Для питания гироскопов требовалось подключение секстана к бортовой электросети, а для устранения колебательных движений гироскопа – достаточно длительное (до получаса) удержание светила в поле наблюдения. Это существенно ограничивало автономность прибора [4].

Описанные недостатки традиционного секстана можно преодолеть, переходя от измерения высот светил над видимым горизонтом к измерению разности высот двух светил, т.е. к измерению превышения одного светила над другим. В этом случае снимаются все проблемы видимого горизонта и неточности поправки за наклонение видимого горизонта. Но, поскольку два светила на одном вертикале встречаются не часто, необходимо вертикал одного светила приводить к вертикалу другого светила. Это делается сообщением большому зеркалу секстана дополнительной степени свободы – поворота в горизонтальной плоскости (патент РФ № 2 523 100 МПК G 01 C 1/08) [5], а измерение угла поворота позволяет получить дополнительный навигационный параметр – разность азимутов наблюдаемых светил. Таким образом, за одно измерение секстан с поворотным большим зеркалом (СПБЗ), рисунок 2, даёт два навигационных параметра – разность высот и разность азимутов двух светил, что позволяет рассчитать обсервованное место судна.



Рисунок 2 – Секстан с поворотным большим зеркалом

При этом в полном объёме сохраняет возможность измерения высот светил аналогично традиционному секстану – от горизонта. Для новых навигационных параметров разработан алгоритм прямого вычисления обсервованных координат и метод линий положения с использованием счислимого места. Выявлены выгодные условия расположения светила, и порядок наблюдения для повышения точности обсервации.

Необходимо отметить, что использование методов астронавигации требует специальной литературы, которая находится на борту судна, но в случае покидания судна на спасательных средствах, она попросту может быть оставлена на борту. Использование специальной литературы Российских и Зарубежных издательств: Морской Астрономический Ежегодник, МТ-2000, ВАС-58, ТВА-57, The Nautical Almanac, Brown's Nautical Almanac, Norie's Nautical Tables и других не требует специальной подготовки, но требует, как минимум ознакомления и практического опыта в решении астрономических задач. Не секрет, что у членов экипажа в отличие от подготовленных специалистов судоводителей могут возникнуть проблемы с их использованием. Одним из вариантов решения данной проблемы можно назвать разработку и внедрение во входящие в обязательное снабжение спасательных средств – «руководства по оставлению судна, инструкции по сохранению жизни в спасательной шлюпке и спасательном плоту» более подробной и понятной информации об алгоритмах решения астронавигационных задач, определение места судна по Солнцу и звездам, применению секстана, звездного глобуса, звездных карт и планшета для определения места судна.

Первые опыты практической работы с опытным образцом модернизированного секстана позволили подтвердить принципиальную возможность измерения указанных навигационных параметров, работоспособность модернизированных узлов и достаточную простоту процесса измерения. В то же время обнаружались и некоторые недостатки конструкции. Основную часть этих недостатков удалось устранить в рамках возможностей имеющейся конструкции модернизированных узлов, но некоторые потребуют работы по усовершенствованию конструкции всего секстана в целом с перспективой разработки нового типа секстана с поворотным большим зеркалом [6,7]. В настоящее время уже собран опытный образец двухкоординатного поверочного стенда для определения инструментальной поправки и тарировки шкал как СПБЗ, так и традиционных секстанов.

Направление на совершенствование резервных приборов и способов обсервации напрямую влияет на организацию безопасности мореплавания и защиту окружающей среды в нештатных ситуациях, спасения человеческих жизней в аварийных ситуациях. Достаточно простое техническое решение в модернизации традиционного секстана даёт возможность использовать дополнительный к высотному методу линий положения [7] совмещенный метод разности высот и азимутов двух светил, расширяя границы времени обсервации с

сохранением достаточной точности в определении места положения судна.

Новые разработки в этой сфере способствуют повышению интереса у исследователей в более доскональном изучении астронавигационных методов и технических решений, изложенных в трудах М.И.Гаврюка, Р.А. Скубко, Р.Ю. Титова, Б.И. Красавцева и других ученых.

Следует отметить, существует необходимость в автоматизации современных алгоритмов решения навигационных задач, создания электронных средств, способных решать многие навигационные задачи без использования СНС в условиях выживания на море в спасательном средстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адм. № 3003. Радиотехнические средства навигационного оборудования России // Управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации, 2020.
2. Сичкарёв В.И. Основные задачи мореходной астрономии / В.И. Сичкарёв. – Новосибирск: Изд-во СГУВТ, 2016. – 191 с.
3. Бабич С.И. Принцип действия поверочного стенда для секстана с двумя степенями свободы большого зеркала / Ф.Ш. Габбасов, С.И. Бабич // Морской вестник, № 1(73), 2020. – Санкт-Петербург: С. 114 – 115.
4. Сичкарёв В.И. Новый секстан для измерения разности высот и азимутов светил / В.И. Сичкарёв, С.В. Титов, С.И. Бабич // Речной транспорт (XXI век), №1, 2017. – С. 57 – 58.
5. Сичкарёв В.И. Секстан. Патент на изобретение РФ № 2523100 от 22.05.2014, МПК G01C 1/08 (2006.01). Приоритет от 28.02.2013.
6. Сичкарёв В.И. Направления совершенствования секстана для измерения разностей высоты и азимута / В.И.Сичкарёв // Судовождение-2016: сб. науч.трудов. – Новосибирск: СГУВТ, 2016. – С. 40 – 53.
7. Бабич С.И. Техническая доработка секстана с поворотным большим зеркалом / С.И. Бабич // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, № 3,4, 2016. – Новосибирск: СГУВТ, 2016. – С. 74 - 78.
8. Гаврюк М.И. Астронавигационные определения места судна. – М.: Транспорт, 1973. – 176 с.

REFERENCES

1. Adm. No. 3003. Radio technical means of navigation equipment of Russia // Department of Navigation and Oceanography of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2020.
2. Sichkarev V.I. The main tasks of nautical astronomy / V.I. Sichkarev. - Novosibirsk: Publishing House of SGUVT, 2016. - 191 p.
3. Babich S.I. The principle of operation of a test stand for a sextant with two degrees of freedom of a large mirror / F.Sh. Gabbasov, S.I. Babich // Morskoy Vestnik, No. 1(73), 2020. - St. Petersburg: P. 114 - 115.
4. Sichkarev V.I. A new sextant for measuring the difference in heights and azimuths of the luminaries / V.I. Sichkarev, S.V. Titov, S.I. Babich // River transport (XXI century), No. 1, 2017. - P. 57 - 58.
5. Sichkarev V.I. Sextant. Patent for the invention of the Russian Federation No. 2523100 dated May 22, 2014, IPC G01C 1/08 (2006.01). Priority from 28.02.2013.
6. Sichkarev V.I. Directions for improving the sextant for measuring the differences in height and azimuth / V.I. Sichkarev // Navigation-2016: Sat. scientific works. - Novosibirsk: SGUVT, 2016. - S. 40 - 53.
7. Babich S.I. Technical refinement of a sextant with a swivel large mirror / S.I. Babich // Scientific problems of transport in Siberia and the Far East, No. 3,4, 2016. - Novosibirsk: SGUVT, 2016. - P. 74 - 78.
8. Gavryuk M.I. Astronavigation determination of the position of the vessel. - M.: Transport, 1973. - 176 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:	<i>секстан с поворотным большим зеркалом, универсальный двухкоординатный поверочный стенд</i>
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:	<i>Виктор Иванович Сичкарёв, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i>
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:	<i>Сергей Игоревич Бабич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ» 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i>

МОДЕЛЬ ЖЕСТКОСТИ ГЕЛИКОИДАЛЬНОЙ ПРУЖИНЫ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водногортранспорта»

А.М. Барановский, О.В. Щербакова, Л.В. Пахомова, С.В. Викулов

MODEL OF RIGIDITY OF A HELICOIDAL SPRING

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Alexander M. Baranovsky (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Olga V. Shcherbakova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Ludmila V. Pakhomova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Stanislav V. Vikulov (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: A helical spring as a curved beam is difficult to calculate. Therefore, it can be replaced by a homogeneous rod with longitudinal stiffness and linear density like a spring. In this case, the natural frequencies of longitudinal vibrations are preserved. If it is necessary to simulate transverse vibrations, a cross section is selected for a given longitudinal stiffness. For torsional vibrations, the torsional stiffness of the rod is selected. All three types of oscillations can be studied on the same model with an appropriate choice of elastic module. Such a calculation does not require computer technology and is carried out by conventional engineering methods. For short springs, material resistance methods should be applied carefully. In this paper, to test simple models, the finite element method is used, which gives a conditionally accurate result. For the first time, a criterion for the applicability of discretization from the number of turns after which it is undesirable to consider a spring as a rod is established. This is due to a sharp increase in stiffness and natural frequency. The spring approaches the waveguide with a good quality factor. This phenomenon in shipbuilding is called a sound bridge.

Keywords: spring, Rayleigh method, natural frequencies, finite element method, sound bridge

Винтовая пружина как кривой брус является сложной при расчетах. Поэтому её можно заменить однородным стержнем с продольной жесткостью и линейной плотностью как у пружины. При этом сохраняются собственные частоты продольных колебаний. При необходимости моделирования поперечных колебаний подбирается поперечное сечение при заданной продольной жесткости. Для крутильных колебаний подбирается крутильная жесткость стержня. Все три вида колебаний можно исследовать на одной модели при соответствующем выборе модулей упругости. Такой расчет не требует вычислительной техники и проводится обычными инженерными методами. Для коротких пружин методы сопротивления материалов следует применять осторожно. В работе для проверки простых моделей использован метод конечных элементов дающий условно точный результат. Впервые установлен критерий применимости дискретизации от количества витков, после которого пружину нежелательно считать стержнем. Это связано с резким возрастанием жесткости и собственной частоты. Пружина приближается к волноводу с хорошей добротностью. Это явление в судостроении называют звуковым мостиком.

Технические расчеты винтовых пружин основаны на представлении об однородном прямом брус со сплошным сечением круглой формы. Такой брус при сжатии или растяжении должен полностью повторять механические свойства реальной пружины. Наиболее значимым при этом является коэффициент жесткости равный отношению приложенного по оси усилия к деформации. Линейная масса бруса должна быть равной линейной массе винтовой пружины.

Этот подход получил наименование эквивалентных характеристик. Насколько оправдан такой подход и гарантирует ли его применение полную картину динамических свойств? Ответ на этот вопрос отрицательный, поскольку при изгибе и кручении эквивалентного бруса материал испытывает другие деформации в сравнении с проволокой, имеющей форму винтовой линии. Следовательно, таким методом можно отыскать только собственные частоты продольных колебаний. С учетом того, что технологически целесообразно и практически широко применимо изготовление круглых пружин из круглой проволоки, представим круглым прямым бруском с заданными характеристиками. Параметры модели пружины определим для изотропного однородного материала [103]. Характеристика при осевой деформации равна отношению нормального напряжения к относительной осевой деформации

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta}{L}; \quad \sigma = \frac{4c\Delta}{\pi D^2},$$

где D – средний диаметр пружины, м.

Винтовой брус с точки зрения теории упругости не испытывает поперечных деформаций. Ему нельзя приписать, например, коэффициент Пуассона. Для него не нужно вводить поправку на поперечную деформацию и для вычисления скорости звука можно использовать

формулу Ньютона без поправок на поперечную деформацию [1].

$$v = \sqrt{\frac{E_s}{\rho_s}},$$

где E_s – модуль упругости эквивалентного стержня, Па, $E_s = \frac{4cL}{\pi D^2}$;

ρ_s – плотность эквивалентного стержня, кг/м³, $\rho_s = \frac{\pi d^2 n \rho}{DL}$.

Угловую скорость осевых колебаний модели бруса найдем по формуле Ньютона по скорости упругой деформации

$$\omega = \frac{d}{D^2 n} \sqrt{\frac{G}{8\rho}},$$

Если ввести отношение диаметра витка к диаметру проволоки, то частота получит выражение простое и точное для инженерных расчетов

$$f = \frac{1}{Din\pi} \sqrt{\frac{G}{8\rho}} = \frac{366}{Din},$$

где i – индекс, $i = D/d$,
 d – диаметр проволоки, м;
 n – число витков.

Зависимость частоты продольных колебаний для пружины с диаметром витка 6 мм из проволоки диаметром один миллиметр приведена на рисунке 1.

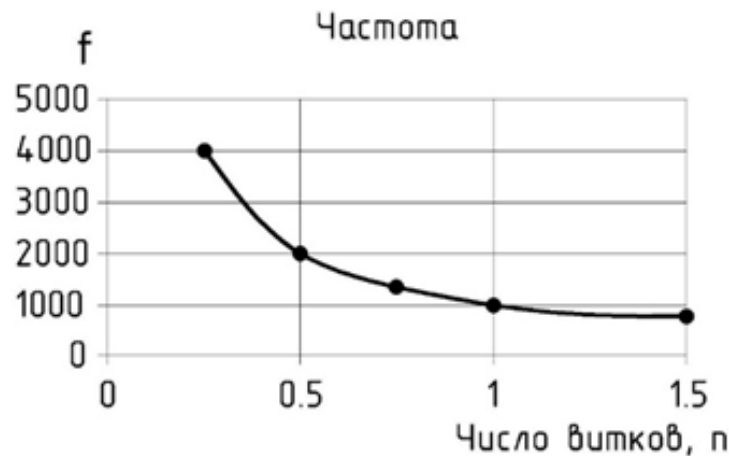







Рисунок 1 – График частоты катушки по методу Рэлея

Короткий брус является добротным волноводом, т.е. проводит звуковую энергию за счет внутреннего отражения. Пружина как брус искривлена и подвержена другим деформациям с низкими частотами. Известно, что распределение энергии в деформируемых системах неравномерно и концентрируется в менее жестких видах деформации. Это явление полезно для снижения структурной вибрации судового корпуса. Тем не менее, существуют одновитковые изоляторы хорошо проводящие высокочастотные колебания. Большая часть судовых опор содержит менее шести витков и эти витки работают как звуковой мостик. Необходимо дополнительное исследование, позволяющее оценить превращение идеальной пружины в проводник высокочастотной вибрации.

Исследовалась цилиндрическая пружина с числом витков: 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,5. Расчет собственных частот проводили методом конечных элементов при шарнирно закрепленных концах [2]. В таблице 1 показаны формы колебаний и значения частот для этих форм.

Внимательное рассмотрение первых представленных форм (таблица 1) позволяет сделать заключение о быстром изменении упругих свойств конечно-элементных моделей. При некотором количестве витков (в нашем случае это один виток) наблюдается переход от криволинейного бруса к модели Рэлея [3] ранее названной моделью сплошного однородного бруса.

Таблица 1 – Первые частоты и формы колебаний витков

Номер катушки	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5
Частота, Гц	18017	4622	1982	1143	681
Первая форма					

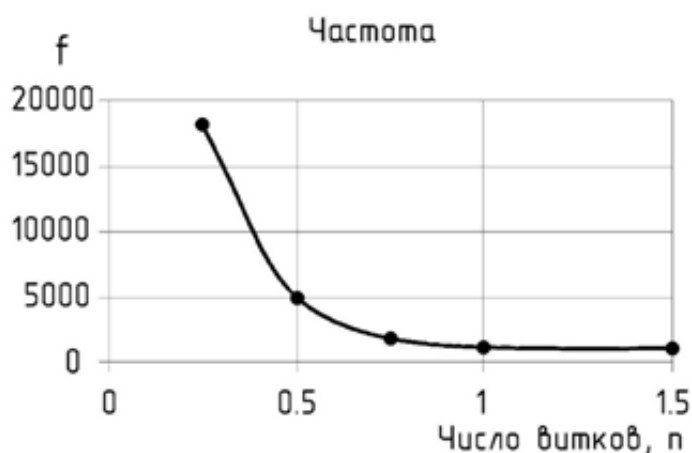


Рисунок 2 – График частоты катушки методом FEM

Совместное рассмотрение зависимостей (рисунок 3) частоты колебаний от числа витков даёт дополнительную качественную информацию, которую можно в соответствии с принятым в науке правилом перевести на язык цифр. Установлено, что пересечение графиков рисунок 1 и рисунок 2 попадает в точку, где число витков близко к единице. Такая бифуркация существенно расширяет представление о винтовых пружинах как части опоры.

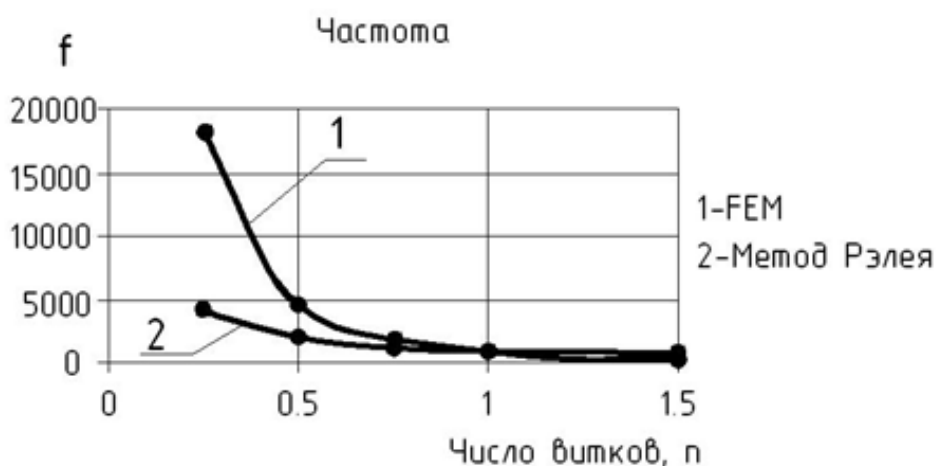


Рисунок 3 – Сравнение графика частот катушек методом FEM и Рэлея

Рассмотрим причину снижения виброзащитных свойств пружины как результат повышения её жесткости. Такой подход укоренился в механике в связи с понятием коэффициента виброизоляции, который близок к коэффициенту динамичности при неподвижном основании. Заменяем недостаточно кривой брус пролетной балкой с шарнирным закреплением в опорах, тогда первая собственная частота [4] поперечных колебаний равна

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Ed^2}{\rho D^4 n^4}} = \frac{823}{Di \cdot 1.5^2} = \frac{366}{Di}$$

Частота динамического отклика такой балки существенно зависит от длины в отличие от модели сплошного бруса, где эта зависимость обратно пропорциональная. В нашем случае при полутора витках частота балки переходит границу частоты бруса. Этот переход является критическим и дает основание для метода дискретизации.

Таким образом, на основе принятого в науке понятия перехода количества в новое качество мы можем применять весьма простой метод дискретизации хорошо укоренившийся в таких вычислительных программах как таблицы Excel. С другой стороны, это изменяет инженерные представления об упругих опорах как простых безмассовых системах с двумя характеристиками: грузоподъемность и жесткость [5]. Известный в судостроении виброизолятор ОКПО состоит из одного неполного витка и с точки зрения классической виброизоляции может быть использован на частотах выше резонансного уровня. В новой трактовке такой виброизолятор будет отличным волноводом и все частоты от энергетического оборудования в том числе от редукторов будут переходить на судовой корпус без ослабления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановский, А.М. Уравновешивание и виброзащита машин / А.М. Барановский, А.К. Зуев, М.К. Романченко – Новосибирск: Наука, 2011. – 112 с.
2. Книжнерман, Л.А. Вычисление функций от несимметричных матриц с помощью метода Арнольди / Л.А. Книжнерман // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1991. – №31(1). – С. 5 – 16.
3. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний: учеб. для вузов / В.Л. Бидерман. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
4. Полищук Д. Ф. Влияние граничных условий на спектр частот собственных продольных колебаний цилиндрических пружин. – Машиноведение, 1969, № 3 с. 31–35 .
5. Грудев И. Д. Расчет собственных частот и форм колебаний цилиндрических пружин. – Известия вузов. Машиностроение, 1970, № 8 с. 24 – 29

REFERENCES

1. Baranovsky, A.M. Balancing and vibration protection of machines / A.M. Baranovsky, A.K. Zuev, M.K. Romanchenko - Novosibirsk: Nau-ka, 2011. - 112 p.
2. Knizhnerman, L.A. Calculation of functions from nonsymmetric matrices using the Arnoldi method / L.A. Knizhnerman // Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics. - 1991. - No. 31 (1). - P. 5 - 16.
3. Biderman, V.L. Theory of mechanical oscillations: textbook. for universities V.L. Biderman. - M.: Higher School, 1980. - 408 p.
4. Polishchuk D. F. Influence of boundary conditions on the spectrum of frequencies of deceleration of vibrations of cylindrical springs. - Machine Science, 1969, No. 3 p. 31–35.
5. I. D. Grudev, Calculation of the Frequency and Form of Oscillations of Cylindrical Springs. - Proceedings of universities. Mashinostroenie, 1970, No. 8 p. 24-29.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пружина, метод Рэлея, собственные частоты, метод конечных элементов, звуковой мостик

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Щербакова Ольга Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Пахомова Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Викулов Станислав Викторович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОТОКА В ТРУБАХ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.М. Барановский, Л.В. Пахомова, О.В. Щербакова

FLOW STABILITY IN PIPES

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Alexander M. Baranovsky (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Ludmila V. Pakhomova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Olga V. Shcherbakova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: Hydraulic noise in round channels suffers losses due to the loss of flow stability, which can be considered a design flaw. In nature, for example, in atmospheric flows or in slow flows, in the vessels of physical organs, laminar phenomena are observed and this is not accidental, since noise is a natural selection both in the hunter and in the victims. the combination of engineering systems and wildlife can be explained by an incomplete criterion, which depends on the absolute values of the flow. This shortcoming of the theory is corrected by additional coefficients based on experiments, which blurs the notion of a stability criterion. The transition to a disturbed flow in pipes occurs in an annular flow tube with the highest internal energy gradient. The tube size is calculated assuming laminar flow from the Poiseuille velocity distribution for Newton's fluid. The perturbation can be unstable and develops or decays randomly. The minimum value of the O. Reynolds criterion obtained for pipes of a certain size was used to calculate two flow stability criteria suitable for any diameter. New criteria for calculating the critical velocity make it possible to supplement the general ideas about the flow of fluid in round channels. The result obtained can also be useful in calculating the critical velocity in a wide range of sizes from flows in the atmosphere to flows in the vessels of biological objects.

Keywords: flow noise in pipes, laminar flow, energy gradient, flow stability criteria

Гидравлический шум в круглых каналах технических объектов возникает при потере устойчивости потока, что можно считать недостатком проектирования. В природе, например, в атмосферных потоках или в медленных течениях, в сосудах живых организмов

наблюдаются ламинарные течения и это не случайно, поскольку шум является фактором естественного отбора как у охотника, так и у жертвы. Различие инженерных систем и живой природы можно объяснить неполнотой критерия, который зависит от абсолютных размеров потока. Этот недостаток теории исправляется дополнительными коэффициентами, основанными на экспериментах, что размывает понятие критерия устойчивости. Переход к возмущенному потоку в трубах происходит в кольцевой трубке тока с наибольшим градиентом внутренней энергии. Размер трубки вычисляется в предположении ламинарного течения по распределению скоростей Poiseuille для Newton's жидкости. Возмущение может быть нестабильным и развивается или затухает случайным образом. Минимальное значение критерия O. Reynolds полученное для труб определенного размера было использовано для расчета двух критериев устойчивости потока пригодных для любых диаметров. Новые критерии расчета критической скорости позволяют дополнить общие представления о течении жидкости в круглых каналах. Полученный результат может быть полезен также при расчете критической скорости в широком диапазоне размеров от течений в атмосфере до течений в сосудах биологических объектов.

Использование пневматических опор с гидравлическим регулированием нагрузки по перемещению предполагает достаточное для судовых условий быстродействие. Характерная постоянная времени может быть оценена по периоду качки для морских условий плавания. В любом случае необходимо придерживаться режимов движения близких к турбулентным, но не превышающих его.

Проблема такого подхода в том, что форма проточной части может влиять на критерий перехода к возмущенному потоку. Второй проблемой является сам критерий, который не подчиняется представлениям об автомодельности. Это касается не только скоростей, но и размеров потока.

Нижняя граница критического числа для круглых труб равна 2320. Верхняя граница до сих пор не определена, поскольку при плавном входе жидкости получались числа Рейнольдса до сотен тысяч при сохранении ламинарного режима. Сложные каналы с внезапным расширением подобны полю источника и формируют вихри, которые не снижают интенсивности за счет подпитки энергией ближних частиц жидкости. В малых каналах также наблюдается относительно низкое число перехода в турбулентный режим. Частично это связано с относительным увеличением неровностей стенок, но это не может быть объяснением для систематического снижения критического числа.

В конечном итоге появляется подозрение на то, что сам критерий недостаточно совершен и его использование связано с инерцией научного подхода

Можно ли освободиться от очарования великих ученых эпохи промышленного роста и подойти к вопросу с иных позиций. Отметим вначале, что большинство опытов и которых родился критерий устойчивости потока, было выполнено с прикладными целями, например, водоснабжения населения в городах. Это приводило к ограничениям в размерах проточной части и некоторым парадоксальным выводам.

Согласно критерию для получения турбулентности, в тонкой трубе поток должен быть недопустимо быстрым, а поток в большом канале, например, в реке должен практически покоиться. Единственный вывод состоит в том, что критерий зависит от размеров потока, но тогда этот критерий теряет свою функцию предсказывать режим течения [1].

Если принять во внимание некоторую схоластичность критерия и с учетом того, что он дает верные предсказания для труб близких к диаметру один сантиметр, его следует принять за основу при выработке правильного подхода к проблеме устойчивости потока. Обратим внимание на то, что зарождение неустойчивости начинается в кольцевой трубке тока, отстоящей от стенок и далекой от оси потока. Чем эта зона отличается от центральной или пристеночной? Предположим, что причина не в скорости, а в энергии на единицу поверхности потока. Назовем поверхностью потока, воображаемый цилиндр соосный с трубой.

Поток на участке круглой трубы имеет среднюю скорость. Кинетическая энергия потока равна

$$E = \pi Re^2 \mu^2 l / (8\rho), \quad (1)$$

где Re – критерий динамической активности;
 μ – коэффициент вязкости;

l – длина участка трубы;
 ρ – плотность жидкости.

Поскольку мы не знаем размер цилиндра можно взять заведомо неверный диаметр трубы, для которого ошибка всегда будет одинаковой в силу предполагаемого подобия будущего критерия. Отношение энергии потока к площади поверхности трубы

$$\sigma = Re^2 \mu^2 / (8\rho d)$$

Допустим, что устойчивость сохраняется, если полученное значение равно или меньше такового для известного диаметра

$$\sigma \leq \sigma_{cr}$$

Численное значение критерия неизвестно. Для его определения зададим диаметр трубы и распространенное значение критерия Рейнольдса 2120. В результате получим новый энергетический критерий, который совершенно случайно совпал с энергией поверхностного натяжения на границе воды и воздуха $\sigma_{cr} = 0,073J / m^2$

$$Re_{cr} = \sqrt{\frac{8\sigma_{cr}\rho d}{\mu^2}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,073 \cdot 1000 \cdot 0,01}{0,00114^2}} = 2120. \quad (2)$$

Особенность выражения (2) - диаметр трубы под корнем. Это совершенно меняет картину скоростей в разных потоках. Большие потоки становятся быстрее, а малые намного медленнее. В целом это приближает нас к реальной картине потери устойчивости.

Обратим внимание на физику явления [3]. Предположим, что потеря устойчивости наступает при некоторой разнице кинетической энергии близких частиц [4]. В пределе это формулируется через непрерывные величины и тогда поток теряет устойчивость, когда градиент объемной удельной кинетической энергии по сечению становится больше некоторого значения U_{cr}

$$gradE \geq U_{cr}.$$

До потери устойчивости распределение скоростей по параболе Пуазейля (рисунок 1). Может быть дважды продифференцирована. Зоны наибольшего градиента располагаются в виде соосного с трубой цилиндра, удалённого от стенок и от оси трубы. Это совпадает с данными экспериментальных исследований, в которых зарождение турбулентности наблюдается в зонах наибольшего градиента энергии.

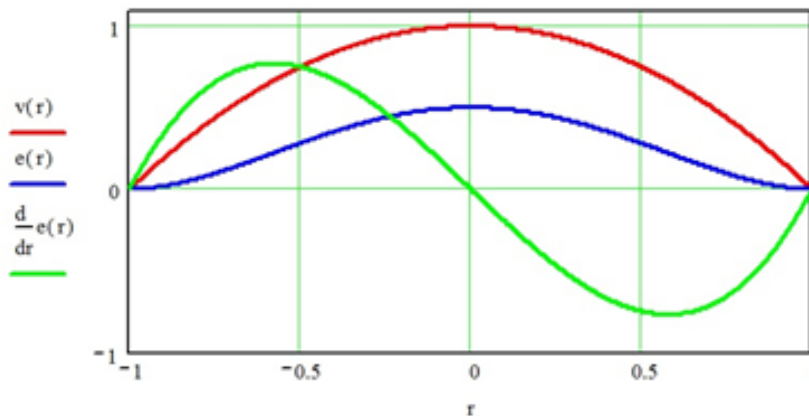


Рисунок 1 – Скорость (красный), энергия (синий) и градиент энергии (зеленый)

Градиент кинетической энергии для произвольного радиуса трубы r

$$gradE = \frac{dE}{dr} = 2\pi r l v dv.$$

Распределение скоростей по параболе с наибольшей скоростью v_{max} даёт градиент квадрата скорости или градиент кинетической энергии килограмма жидкости

$$gradE = \frac{d}{dr} v^2 = 2v_{max}^2 \left(\frac{r^3}{R^4} - \frac{r}{R^2} \right).$$

Найдём зону наибольшего градиента энергии, приравняв нулю производную градиента по радиусу

$$\frac{d^2}{dr^2} v^2 = 4v_{max}^2 \left(\frac{3r^2}{R^4} - \frac{1}{R^2} \right) = 0.$$

Решая уравнение, получим радиус с наибольшим градиентом энергии

$$r = \frac{R}{\sqrt{3}} = 0,577R.$$

Для этого радиуса наибольший градиент энергии одного килограмма массы равен

$$(gradE)_{max} = -\frac{8v_{max}^2}{3\sqrt{3}R}.$$

Ведём критерий перехода, к турбулентному режиму

$$(gradE)_{max} \geq U_{cr}.$$

Критическое значение градиента, как и в предыдущем подходе, неизвестно, поэтому используем базовые данные. Для этого выделим число Re_{cr} из выражения (1)

$$Re_{cr} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}U_{cr}\rho^2 d^3}{6\mu^2}}. \quad (3)$$

Для трубы $d = 2R = 0,01m$, критический градиент энергии равен $U_{cr} = 24 \frac{J}{kgm}$.

В любом случае традиционный способ определения неустойчивости потока и два предложенных выше критерия могут составить основу для обоснования экспериментального материала, который часто трудно объяснить в рамках одной гипотезы.

Сравним критические числа Re , полученные для кровеносных сосудов с новыми критическими значениями. В таблице 1 даны числа Рейнольдса для течения крови с вязкостью $\mu = 0,0035 Pas$. Сравнение показывают хорошее совпадение для малых диаметров сосудов и удовлетворительное для больших.

Таблица 1 – Сравнение экспериментального и теоретического числа Рейнольдса для кровотока

Диаметр сосудов, м	$8 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Re [2]	0,002	0,01	0,7	140	3300
Re (3)	0,0035	0,014	0,054	54	800

Здесь возможны две парадигмы. Если кровь это ньютонова жидкость, то данные по течению не соответствуют теории. Либо кровоток проявляет неньютоновские характеристики, такие как вязкоупругость [1]. В этом случае теория некорректна и требует уточнения. Предположим, что течение крови, по крайней мере, в малых сосудах и капиллярах происходит при ламинарном режиме и притом, на границе перехода к турбулентному. По-видимому, гидравлический шум повышал бы порог чувствительности слуха, что является фактором отбора. Кроме того, режимы течения, близкие к критическим, оказываются самыми выгодными с точки зрения потерь. В этом случае проведенный анализ из гипотезы переходит в теорию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фриш, У. (1995). Турбулентность: наследие А. Н. Колмогорова. Издательство Кембриджского университета. ISBN 9780521457132.
2. Charm S. E., Kurland G. S. Blood Flow and Microcirculation, Wiley, N.-Y., 1974.
3. Барановский А.М. Теоретические основы эффективной виброизоляции// Дисс. докт. техн. наук: 05.08.05. – Новосибирск, 2000.- 316
4. Бородинский, А. С. Снижение структурного шума в судовых помещениях [Текст] / А. С. Бородинский, В. М. Спиридонов. - Л.: Судостроение, 1974. - 220 с.

REFERENCES

1. Frisch, W. (1995). Turbulence: the legacy of A. N. Kolmogorov. Cambridge University Press. ISBN 9780521457132.
2. Sharm S. E., Kurliyand G. S. Blood circulation and microcirculation, Wiley, N.-Y., 1974.
3. Baranovsky A.M. Theoretical foundations of basic vibration isolation// Diss.. doc. tech. sciences: 05.08.05. - Novosibirsk, 2000. - 316 p.
4. Boroditsky, A.V. C. Reduction of structural noise in ship establishments [Text] / A. S. Boroditsky, V. M. Spiridonov. - L.: Shipbuilding, 1974. - 220 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:	<i>шум течения в трубах, ламинарный поток, градиент энергии, критерии устойчивости потока</i>
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:	<i>Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ» Пахомова Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ» Щербакова Ольга Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i>
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:	<i>630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i>

МЕТОД ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ ВАЛОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водногортранспорта»

А.М. Барановский, О.В. Щербакова, Л.В. Пахомова, С.В. Викулов

MODEL OF RIGIDITY OF A HELICOIDAL SPRING

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Alexander M. Baranovsky (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

Olga V. Shcherbakova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Ludmila V. Pakhomova (Ph.D. of Engineering Sciences, Assoc. Prof. of SSUWT)

Stanislav V. Vikulov (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: When calculating the torsional vibrations of ship shafting, a standard calculation method is used, in which the shafts are considered massless, and the disks are infinitely short. As a result, the calculation is simplified to a system of second-order differential equations. Such systems contain a number of equations equal to the number of masses. The parameters of the system are found by the formulas of the resistance of materials and theoretical mechanics. If a damper is used in the system, it is taken into account through viscous friction. In general, such calculations can be transparent if recurrent schemes are not used, but the equation is solved by numerical methods. Numerical solutions are not limited to linear problems and are suitable for any force characteristics that can be specified analytically. The use of discretization must be justified by another method, since the methods of resistance of materials are oriented towards ideal models. Verification is best carried out by the finite element method, which is approved by the Russian River Register and is widely used for accurate calculations of crankshafts. The work uses three-dimensional models that undergo a stepwise transformation from a smooth shaft to a thin disk on a long shaft. The result is a practical rule for admissibility of discretization

Keywords: *torsional vibrations, discretization, finite element method, numerical models*

При расчетах крутильных колебаний судовых валопроводов применяют стандартный метод расчета, при котором валы считают безмассовыми, а диски бесконечно короткими. В результате расчет упрощается до системы дифференциальных уравнений второго порядка. Такие системы содержат количество уравнений равное числу масс. Параметры системы находят по формулам сопротивления материалов и теоретической механики. Если в системе использован демпфер его учитывают через вязкое трение. В целом такие расчеты могут быть прозрачны если не применять рекуррентных схем, а решать уравнение численными методами. Численные решения не ограничены линейными задачами и пригодны для любых силовых характеристик, которые можно задать аналитически. Использование дискретизации должно быть обосновано другим методом, поскольку методы сопротивления материалов ориентированы на идеальные модели. Проверку лучше всего проводить методом конечных элементов, который одобрен Российским Речным Регистром и широко применяется для точных расчетов коленчатых валов. В работе использованы трехмерные модели, проходящие ступенчатую трансформацию от гладкого вала до тонкого диска на длинном валу. В результате получается практическое правило допустимости дискретизации.

Во многих методах исследования крутильных колебаний используются дифференциальные уравнения второго порядка. Число уравнений равняется числу масс. Моменты инерции масс и коэффициенты жесткости валов определяются по формулам или экспериментально. С поправками метод достаточно точен и прост. Решение уравнений получается различными способами, например, численное интегрирование, определение собственных значений методом цепных дробей, метод Хольцера или другими математическими приемами.

Это идеология дискретизации, применяемая повсеместно в технике. Требования контролирующих органов предполагают точность расчета собственных частот не менее 3%. Это соответствует точности параметров системы не менее 6%. Внимательно исследуем предпосылки дискретизации, поскольку идеологические ошибки имеют более высокую цену как незаметный дефект в материале, использованном при изготовлении ответственной детали.

Вопрос о переходе количества в качество всегда подразумевается, но заменяется понятием точности расчёта, что не вполне отражает смысл вопроса. Дискретизация реальной системы проводится ввиду ограниченной мощности вычислительных машин. В будущем этот метод плавно перейдёт в метод конечных элементов (таблица 1), где не будет места для сомнений в точности, поскольку элемент не несёт на себе отпечатка системы.

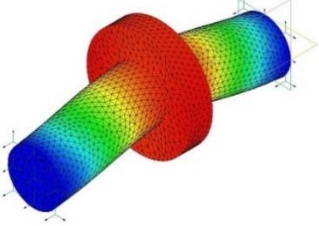
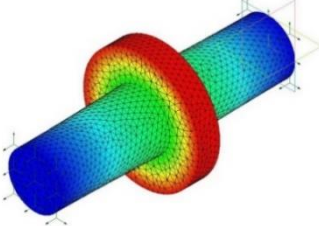
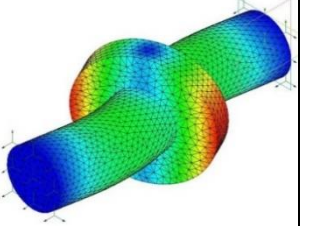
Для крутильных систем при их дискретизации можно представить, что вал вставлен во фланец, либо вал приклеен к фланцу. В первом случае момент инерции массы нужно учитывать без средней части. Во втором случае длину вала следует считать до фланца. Такое разное толкование требует уточнения.

Пусть имеется участок идеальной системы с бесконечно лёгким валом и бесконечно жёстким диском. Момент инерции диска и жёсткость вала существенно зависят от их диаметров. Возникает вопрос: когда диск становится валом и когда вал становится диском? Переход от диска к валу можно найти методом, рассмотренным в работе [1]. В основе метода сравнение двух моделей, в нашем случае FEM и дискретной модели. Уместно заметить, что для большого диска и тонкого вала обе модели должны давать близкий и постоянный результат. Для численного исследования зададим диаметр вала 50 мм и толщину диска 20 мм. Составим план численного эксперимента в виде квадратной таблицы. Всего необходимо провести 16 экспериментов для сочетания четырёх валов с четырьмя дисками (таблица 2).

При закреплении коротких валов желательно исключить осевое закрепление на одном торце и оставить оба поперечных, поскольку при скручивании вал должен укоротиться [2].

Проводим расчёт и сохраняем результаты. Программа составляет таблицу частот и первых нескольких форм. Обычно этого достаточно для нахождения крутильной формы. Особенность данной модели в осевой симметрии, что приводит к появлению смежных изгибных форм колебаний ортогональных друг другу. Частоты смежных форм отличаются несущественно в силу математических проблем. Теоретически эти частоты совпадают. Для крутильной формы имеется главный признак – радиальное распределение смещений. Синий цвет означает минимальное смещение, красный – максимальное.

Таблица 1 – Формы колебаний вала с диском

		
Первая и вторая ортогональная форма	Третья форма с радиальным распределением смещений	Четвертая изгибная форма с одним узлом

Параметры дискретной системы определим по следующим формулам [2]. Собственная угловая частота дискретной модели равна

$$\omega_* = \sqrt{\frac{C_\varphi}{J}} = 4428 \sqrt{\frac{d^4}{LD^4b}}$$

Крутильная жёсткость стального вала, Нм;

$$C_\varphi = 2 \frac{G\pi d^4}{32L} = 15.1 \cdot 10^9 \frac{d^4}{L}$$

Момент инерции массы стального диска, кгм².

$$J = \rho \frac{\pi D^4 b}{32} = 770 D^4 b$$

Модуль сдвига принят по модулю упругости 200 ГПа.

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{200}{2(1+0,3)} = 76,9, \text{ ГПа.}$$

Сочетания размеров вала и диска имеет вид квадратной таблицы, в которой диск постепенно увеличивается в диаметре так, чтобы преодолеть предрассудочный барьер, заданный принципом Сен-Венана.[3,4].

Примем частоту идеальной системы из тонкого безмассового вала в сочетании с абсолютно жестким и тонким диском за базовое значение (1), и несоответствие с FEM системами используем для введения поправок в расчёт. Реальной системой будем считать такую же по форме систему, но с массивным валом с диаметром, и упругим диском с диаметром. Наиболее

достоверной считается модель FEM. Опыт показывает, что точность модели зависит от разбиения. Чем грубее разбиение, тем выше частота, но это несущественно для конечных выводов. Результаты расчёта FEM и дискретным методом сведены в таблицу.

Таблица 2 – Формы крутильных колебаний для сочетаний четырех валов и четырех дисков



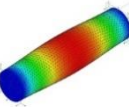
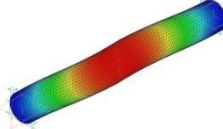

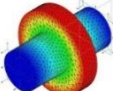
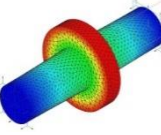
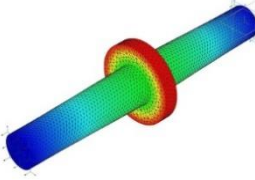
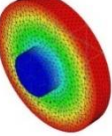
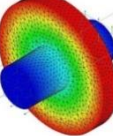
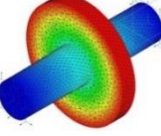
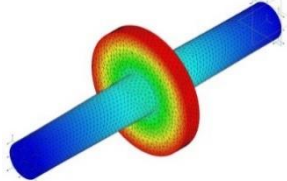
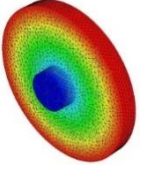
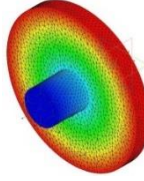
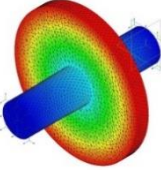
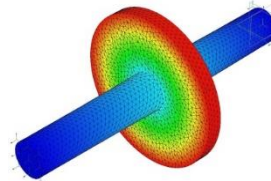
	$L = 20$	$L = 50$	$L = 100$	$L = 200$
$D = 50$	11 	21 	31 	41 
$D = 100$	12 	22 	32 	42 
$D = 150$	13 	23 	33 	43 
$D = 200$	14 	24 	34 	44 

Таблица 3 – Сравнение собственных частот, найденных двумя методами

Диаметр диска, мм	Длина вала, мм				
		$L = 20$	$L = 50$	$L = 100$	$L = 200$
$D = 50$	Модель №	11	21	31	41
	FEM	177751	88748	47940	25160
	ω_*	221400	140000	99010	70010
Отношение частот		1,24	1,58	2,06	2,8
$D = 100$	Модель №	12	22	32	42
	FEM	51268	33994	23617	15600
	ω_*	55350	35010	24750	17500
Отношение частот		1,08	1,03	1,05	1,12
$D = 150$	Модель №	13	23	33	43
	FEM	21999	15289	11194	7960
	ω_*	24600	15560	11000	7779
Отношение частот		1,12	1,01	0,98	0,98
$D = 200$	Модель №	14	24	34	44
	FEM	12143	8549	6305	4627
	ω_*	13840	8752	6188	4376
Отношение частот		1,14	1,02	0,98	0,95

Для моделей первой строки, где диска нет, (поскольку он равен диаметру вала) расхождение методов недопустимо велико. Для моделей четвёртой строки с большим диском и

длинным валом результат обеих моделей хорошо совпадает. Короткие валы в этой серии фактически несколько длиннее за счёт деформации диска в месте примыкания вала, но практически это можно не учитывать. Третью строку можно признать идеальной для моделей 23, 33, 43, где расхождение не превышает $\pm 2\%$.

Составим практическое правило, при соблюдении которого система поддается дискретизации без потери точности:

- длина вала должна быть вдвое больше его диаметра, $L > 2d$;
- диаметр диска должен быть втрое больше диаметра вала, $D > 3d$.

Несмотря на множество тонких методов расчета сложных систем метод дискретизации не потерял свое главное преимущество наглядность и простоту [5]. Инженерное образование предполагает не только знание явлений, но и владение экспериментальными методами. Наиболее очевидной физической моделью можно считать упругий вал и тонкие диски. Такие системы хорошо поддаются элементарным расчетам, которые в сочетании с наблюдением составляют дидактическую основу инженерного образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колебания в судовых механизмах. Учебник СГУВТ/ А.М. Барановский, Л.В. Пахомова, Ю.И. Ришко – Новосибирск: «СГУВТ», 2015. – 210 с.
2. Гернет М.М., Ратобыльский В.Ф. Определение моментов инерции. «Машиностроение», 1969.
3. Махмуд М. Шокри, Акбар Хасани, Ларри Б. Лессард, Потеря устойчивости при сдвиге составного приводного вала при кручении, Композитные конструкции, том 64, выпуск 1, 2004 г., страницы 63-69, ISSN 0263-8223, [https:// doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00214-9](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00214-9).
4. Чжи-Юнг Чанг, Мин-Юнг Чанг, Джин Х. Хуан, Анализ вибрации вращающихся композитных валов, содержащих произвольно ориентированные арматуры, Композитные конструкции, Том 63, выпуск 1, 2004 г., страницы 21-32, ISSN 0263-8223, [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00121-1](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00121-1).
5. Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов. Справочное пособие. «Машиностроение», 1968.

REFERENCES

1. Vibrations in ship mechanisms. Textbook SGUVT / A.M. Baranovsky, L.V. Pakhomova, Yu.I. Rishko - Novosibirsk: "SGUVT", 2015. - 210 p.
2. Gernet M.M., Ratobylsky V.F. Determination of moments of inertia. "Engineering", 1969.
3. Mahmood M. Shokrieh, Akbar Hasani, Larry B. Lessard, Shear buckling of a composite drive shaft under torsion, Composite Structures, Volume 64, Issue 1, 2004, Pages 63-69, ISSN 0263-8223, [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00214-9](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00214-9).
4. Chih-Yung Chang, Min-Yung Chang, Jin H. Huang, Vibration analysis of rotating composite shafts containing randomly oriented reinforcements, Com-posite Structures, Volume 63, Issue 1, 2004, Pages 21-32, ISSN 0263-8223, [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00121-1](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00121-1).
5. Maslov G.S. Calculations of vibrations of shafts. Reference manual. "Engineering", 1968.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:	<i>крутильные колебания, дискретизация, метод конечных элементов, численные модели</i>
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:	<i>Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ» Пахомова Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ» ЩербакOVA Ольга Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i>
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:	<i>630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i>

О СУММЕ ОБЪЁМОВ МНОГОМЕРНЫХ ШАРОВ И ПЛОЩАДЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ МНОГОМЕРНЫХ СФЕР И О ВЗАИМОСВЯЗИ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ СФЕРЫ В n -МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ОБЪЁМОМ ШАРА В $n-2$ -МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГОТРАНСПОРТА»

Л.М. Коврижных

ON THE SUM OF VOLUME OF MULTIDIMENSIONAL BALLS AND THE SURFACE AREA OF MULTIDIMENSIONAL SPHERES AND ON THE RELATIONSHIP OF THE SURFACE AREA OF A SPHERE IN n -DIMENSIONAL SPACE AND THE VOLUME OF A BALL IN $n-2$ -DIMENSIONAL SPACE

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Leonid M. Kovrizhnykh (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: Methods for determining the sum of volumes of multidimensional balls and surface areas of multidimensional spheres and the relationship between the surface area of a sphere in n -dimensional space and the volume of a ball in $n-2$ -dimensional space are considered.

Keywords: sum of volumes of multidimensional balls, Taylor series, Leonard Euler function.

Рассмотрены методы определения суммы объёмов многомерных шаров и площадей поверхностей многомерных сфер и взаимосвязь площади поверхности сферы в n -мерном пространстве и объёмом шара в $n-2$ -мерном пространстве.

Пусть в n -мерном пространстве R^n задан шар U_R радиуса R

$$U_R = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n : x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 \leq R^2 \right\}.$$

Известно, что объём n - мерного шара радиуса R в R^n таков [1]

$$V_n = \kappa_n R^n = \frac{\pi^{n/2}}{\left(\frac{n}{2} + 1\right)} R^n,$$

где κ_n – объём n -мерного шара радиуса $R = 1$;

Γ – Гамма – функция Леонарда Эйлера (1707-1783): – аналог $n!$, точнее $\Gamma(n+1) = n\Gamma!$ $\Gamma(n+1) = n\Gamma!$ [2].

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx.$$

Причём, при n – четном, $n = 2k$ имеем

$$V_{2k} = \frac{\pi^k}{k!} R^{2k}, \tag{1}$$

а при n нечетном, $n = 2k + 1$

$$V_{2k+1} = \frac{\pi^k 2^{k+1}}{(2k+1)!!} R^{2k+1}. \tag{2}$$

Формулу (1) можно записать в следующем виде

$$V_{2k} = \frac{(\pi R^2)^k}{k!}.$$

Но ведь это формула k -ого члена разложения экспоненты от πR^2 в ряд Тейлора, который, как известно, сходится при любом значении аргумента. Таким образом, можно сказать, что сумма объемов всех многомерных шаров четной размерности конечна и численно равна экспоненте от площади круга, радиуса R !. Удивительный факт. Казалось бы, чем больше размерность пространства, тем объёмы шаров должны быть больше и тем более в сумме они должны по идее неограниченно возрастать, но нет, они возрастают всего лишь до некоторого номера размерности пространства, зависящего от радиуса шара. Нетрудно показать, что это будет происходить до номера $k < \pi R^2$, то есть, до размерности пространства $n = 2k < 2\pi R^2$. Далее объёмы будут убывать в соответствии с необходимым признаком сходящегося ряда Тейлора для экспоненты. Правда, тут мы складываем величины различных размерностей: 0-й т.е. точки, 2-й - круга, 4-й и т.д. Поэтому $e^{\pi R^2}$ можно считать формальной суммой объемов всех многомерных шаров чётной размерности V_{2k}

$$e^{\pi R^2} = 1 + \frac{\pi R^2}{1!} + \frac{(\pi R^2)^2}{2!} + \frac{(\pi R^2)^3}{3!} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\pi R^2)^k}{k!} = \sum_{k=0}^{\infty} V_{2k}.$$

То есть эта сумма просто чисел, безразмерных величин. Хотя, в принципе в формуле Тейлора здесь незримо присутствуют производные, размерности которых, единицы измерений которых, обратны по отношению к единицам измерения соответствующих размерностей объёмов, поскольку в определении производных в знаменателе присутствуют приращение аргумента функции и поэтому они компенсируют размерности этих объёмов. В итоге получаются безразмерные величины слагаемых, то есть в сумме объёмов стоят просто числа.

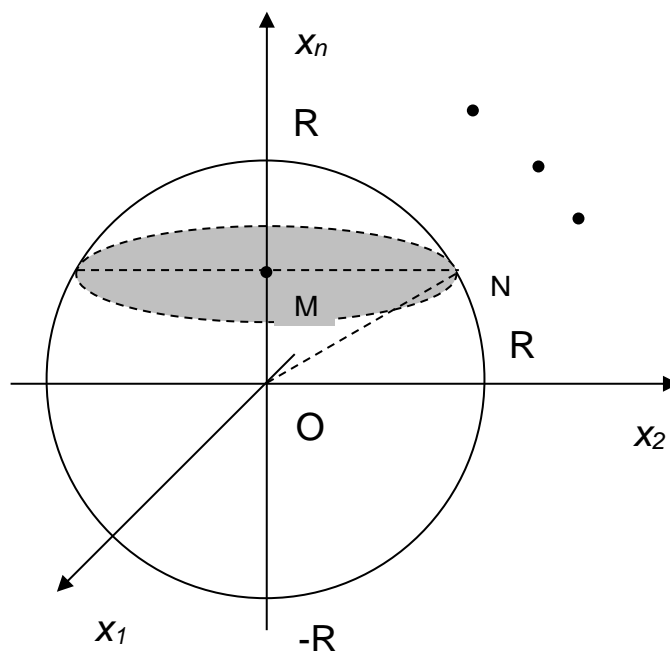


Рисунок 1 – К определению суммы объемов многомерных шаров

Если же сложить объёмы шаров нечётной размерности, используя формулу (2), то получим

$$\sum_{k=0}^{\infty} V_{2k+1} = 2R \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(2\pi R^2)^k}{(2k+1)!!} = 2R \cdot f(2\pi R^2).$$

Где функция $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{(2k+1)!!}$ представляет собой сходящийся ряд Тейлора при лю-

бом x , что нетрудно проверить по признаку сходимости степенных рядов. В итоге получаем, что сумма объёмов всех многомерных шаров радиуса R $V(R)$ вычисляется по формуле

$$V(R) = \sum_{k=0}^{\infty} V_{2k} + \sum_{k=0}^{\infty} V_{2k+1} = e^{\pi R^2} + 2Rf(2\pi R^2). \quad (3)$$

А теперь рассмотрим сферу радиуса R в R^n , представляющую собой $n-1$ – мерную поверхность ($n-1$ – мерное многообразие в R^n):

$$S_R = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R_n : |x|^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = R^2 \right\}.$$

И, наряду с ней, шар U_R того же радиуса, поверхностью которого она является:

$$U_R = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R_n : x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 \leq R^2 \right\}.$$

Известно, что площадь $S(R)$ сферы S_R , которая представляет собой многообразие размерности $n-1$, есть, не что иное, как производная объема $V(R)$ шара U_R по радиусу [1]

$$S(R) = \frac{d}{dR} V(R) = V'(R).$$

Поэтому $S(R) = V'(R) = n\kappa_n R^{n-1} = \frac{n\pi^{n/2}}{\Gamma(n/2+1)} R^{n-1}.$

Взаимосвязь площади поверхности многомерной сферы в n - мерном пространстве с объёмом шара, размерности на 2 меньше.

Заметим ещё одно очень интересное свойство (точнее формулу), которое связывает площадь сферы в n - мерном пространстве с объёмом шара того же радиуса, но в пространстве на 2 единицы меньше. А именно, оказывается, что эти величины отличаются на коэффициент, равный длине окружности, того же радиуса. Покажем это, используя известную формулу для Гамма-функции Эйлера $\Gamma(a+1) = a\Gamma(a)$. Тогда

$$S_n(R) = n\kappa_n R^{n-1} = \frac{n\pi^{\frac{n}{2}}}{\Gamma\left(\frac{n}{2}+1\right)} R^{n-1} = \frac{n\pi^{\frac{n}{2}}}{\frac{n}{2}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} R^{n-1} = 2\pi R \frac{\pi^{\frac{n-2}{2}}}{\Gamma\left(\frac{n-2}{2}+1\right)} R^{n-2}.$$

То есть

$$S_n(R) = 2\pi R \cdot V_{n-2}(R). \quad (4)$$

Итак, площадь сферы в n - мерном пространстве равна произведению длины окружности того же радиуса, что и сфера, на объём шара в $n-2$ – мерном пространстве того же радиуса. Ясно, что при этом должно быть $n \geq 2$.

Можно сформулировать это соотношение и по-другому:

Площадь сферы в n - мерном пространстве равна объёму $n-1$ – мерного цилиндра, с основанием – $n-2$ -мерным шаром того же радиуса и высотой, равной длине окружности того же радиуса, что и у сферы.

Далее мы можем обратить эту формулу относительно объёма шара и записать её в виде

$$V_n(R) = \frac{S_{n+2}(R)}{2\pi R}. \quad (5)$$

Таким образом, объём шара в n – мерном пространстве равен площади сферы того же радиуса в пространстве, размерности на 2 единицы больше, делённой на длину окружности того же радиуса.

Сумма площадей поверхностей многомерных сфер.

Поскольку мы обнаружили эту взаимосвязь, то можем посчитать и сумму площадей поверхностей всех многомерных сфер и она тоже будет конечна, раз сумма объёмов шаров известна и конечна. Обозначим эту сумму $S(R)$. Тогда

$$\begin{aligned} S(R) &= \sum_{n=0}^{\infty} S_n(R) = S_0(R) + S_1(R) + \sum_{n=2}^{\infty} S_n(R) = 0 + 2 + \sum_{n=2}^{\infty} 2\pi R V_{n-2}(R) = 2 + 2\pi R V(R) = \\ &= 2 + 2\pi R \left(e^{\pi R^2} + 2Rf(2\pi R^2) \right). \end{aligned}$$

Итак,

$$S(R) = 2 \left(1 + \pi R e^{\pi R^2} + 2\pi R^2 f(2\pi R^2) \right), \quad (6)$$

где $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{(2k+1)!!}$.

Итак, Формулы (3), (4), (5) и (6) дают ответы на поставленные в заголовке вопросы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилов, Г.Е. Математический анализ. Функции нескольких вещественных переменных. Части 1-2. М., Наука. 1972. 624 с.
2. Кузнецов Д.С. Специальные функции. М., Высшая школа. 1962.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

сумма объемов многомерных шаров, ряд Тейлора, функция Леонарда Эйлера
 Коврижных Леонид Михайлович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

1. Shilov, G.E. Mathematical analysis. Functions of several real variables. Parts 1-2. M., Science. 1972. 624 p.
2. Kuznetsov D.S. Special features. M., Higher school. 1962.

ОБЪЁМ ПРАВИЛЬНОГО N-МЕРНОГО СИМПЛЕКСА И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ СИМПЛЕКСА

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНОГОТРАНСПОРТА»

Л.М. Коврижных

VOLUME OF REGULAR N-DIMENSIONAL SIMPLEX AND CALCULATION OF THE SURFACE AREA OF ITS BORDERS AND AN ARBITRARY SIMPLEX

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Leonid M. Kovrizhnykh (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: Examples of calculating the surface area of k-dimensional boundaries of an n-dimensional simplex are considered. The corresponding formulas are given

Keywords: simplex, area of simplex, tetrahedron

Рассмотрены примеры вычисления площади поверхности k-мерных границ n-мерного симплекса. Приведены соответствующие формулы.

Рассмотрим правильный n-мерный симплекс, то есть симплекс, у которого все рёбра равны (обозначим их длину за a) и все многогранные углы при вершинах равны и все k-мерные границы ($0 \leq k \leq n-1$) состоят из правильных k-мерных симплексов. В частности, 2-мерные границы состоят из правильных треугольников, то есть, равносторонних, у которых, как известно, углы между сторонами составляют 60° . Покажем, что объём правильного n-мерного симплекса со стороной a вычисляется по формуле

$$V_n(a) = \frac{a^n}{n!} \sqrt{\frac{n+1}{2^n}}. \quad (1)$$

Формула эта вытекает из общей формулы для любого симплекса, образованного векторами a_1, a_2, \dots, a_n , выходящими из одной вершины и являющимися рёбрами этого симплекса [1]. Объём параллелепипеда, входящий в эту формулу, вычисляется, как мы уже знаем, как корень квадратный из определителя Грама, для этих векторов. Поэтому

$$V_n(a) = \frac{1}{n!} \sqrt{G(a_1, a_2, \dots, a_n)} = \frac{1}{n!} \sqrt{\det |(a_i, a_j)|}.$$

Но, поскольку модули векторов a_1, a_2, \dots, a_n равны a , а углы между ними 60° , косинус которого равен $1/2$, то скалярные произведения их вычисляются просто. Поэтому

$$V_n(a) = \frac{1}{n!} \det \begin{pmatrix} a^2 & \frac{a^2}{2} & \dots & \frac{a^2}{2} \\ \frac{a^2}{2} & a^2 & \dots & \frac{a^2}{2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a^2}{2} & \frac{a^2}{2} & \dots & a^2 \end{pmatrix} = \frac{1}{n!} \sqrt{\frac{a^{2n}}{2^n}} \det \begin{pmatrix} 2 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 2 \end{pmatrix}.$$

Но определитель $\det \begin{pmatrix} 2 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 2 \end{pmatrix}$, у которого по диагонали 2, а остальные элементы 1

равен $n+1$, что можно доказать индукцией по n . Поэтому и получится доказываемая формула.

А теперь найдём высоту h_n нашего симплекса, которая, по сути, равна высоте параллелепипеда, соответствующего этому симплексу, то есть, натянутого на вектора a_1, a_2, \dots, a_n . Но объём параллелепипеда равен произведению «площади» его основания, которым является параллелепипед размерности меньше на 1, на высоту. Поэтому высота будет равна отношению объёмов этих параллелепипедов.

$$h_n = \frac{a^n \sqrt{\frac{n+1}{2^n}}}{a^{n-1} \sqrt{\frac{n}{2^{n-1}}}} = a \sqrt{\frac{n+1}{2n}}. \quad (2)$$

К примеру, площадь равностороннего треугольника (2-мерного симплекса) по нашей формуле вычисляется для $n=2$ и равна $S_\Delta = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$, а его высота

$$h_2 = \frac{a\sqrt{3}}{2}.$$

А для правильной пирамиды – тетраэдра – 3-мерного правильного симплекса объём

$$V_3(a) = \frac{a^3}{3!} \sqrt{\frac{4}{2^3}} = \frac{a^3 \sqrt{2}}{12},$$

а высота

$$h_3 = a \sqrt{\frac{4}{6}} = a \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Вычислим ещё эти величины и для 4-мерного правильного симплекса:

$$V_4(a) = \frac{a^4}{4!} \sqrt{\frac{5}{2^4}} = \frac{a^4 \sqrt{5}}{96},$$

а высота

$$h_4 = a \sqrt{\frac{5}{10}} = a \sqrt{\frac{1}{2}}.$$

Интересно отметить, что в формуле объёма правильного n -мерного симплекса под корнем в числителе стоит количество вершин симплекса $(n+1)$ (а также это количество $n-1$ -мерных симплексов, составляющих его внешнюю границу), а в знаменателе – количество вершин n -мерного параллелепипеда - 2^n , что даёт возможность легче запомнить эту формулу, не забывая про $n!$ в знаменателе. А в формуле высоты: под корнем в числителе опять же количество вершин (также это количество $n-1$ -мерных симплексов, составляющих его внешнюю границу), а в знаменателе удвоенная размерность пространства, что является также и

количеством $n-1$ -мерных параллелепипедов, составляющих внешнюю границу n -мерного параллелепипеда.

Заметим, что в [2] приведена формула объёма правильного n -мерного симплекса в зависимости от радиуса r вписанного n -мерного шара в этот симплекс или r – это расстояние от центра симплекса до его $n-1$ -мерных внешних граней. Эта формула такова

$${}_n V(r) = \frac{\sqrt{(n+1)^{n+1} n^n}}{n!} r^n, \quad (3)$$

приравнивая эти формулы, найдём взаимозависимость между стороной a n -симплекса и r

$$V_n(a) = \frac{a^n}{n!} \sqrt{\frac{n+1}{2^n}} = \frac{\sqrt{(n+1)^{n+1} n^n}}{n!} r^n = V_n(r).$$

Откуда находим, что

$$a = r \sqrt{2n(n+1)}, \quad (4)$$

что, собственно, и приведено в [2] для $r = 1$. Но тогда высота n -симплекса

$$h_n = a \sqrt{\frac{n+1}{2n}} = r(n+1). \quad (5)$$

Вычисление площади поверхности k -мерных границ n -мерного симплекса.

Как мы поняли из предыдущего k -мерная граница n -мерного симплекса, которую мы обозначим $P_k(n)$ состоит из $N_k(n) = C_{n+1}^{k+1}$ k -мерных симплексов, где $C_{n+1}^{k+1} = \frac{(n+1)!}{(k+1)!(n-k)!}$ –

число сочетаний из $n+1$ элементов по $k+1$. И если n -мерный симплекс является правильным, то общая «площадь» поверхности k -мерной границы - k -мерная мера $\mu_k(P_k(n))$ вычисляется просто: надо объём (k -мерная мера) одного такого k -мерного симплекса умножить на N_k . Но объём правильного k -мерного симплекса со стороной (ребром) a , мы нашли:

$$V_k(a) = \frac{a^k}{k!} \sqrt{\frac{k+1}{2^k}}. \text{ Поэтому}$$

$$\mu_k(P_k(n)) = N_k(n) V_k(a) = C_{n+1}^{k+1} \frac{a^k}{k!} \sqrt{\frac{k+1}{2^k}}. \quad (6)$$

В частности, для треугольника – 2-мерного симплекса имеем при $k=0$, $n=2$ количество вершин, то есть 0-мерную меру 0-мерной границы треугольника по этой формуле получается $\mu_0(P_0(2)) = 3 \cdot 1 = 3$ вершины, что верно. 1-мерная мера 1-мерной границы равностороннего треугольника, то есть периметр его $\mu_1(P_1(2)) = 3a$ – верно. И, наконец, 2-мерная мера 2-мерной границы, то есть площадь самого треугольника по формуле $\mu_2(P_2(2)) = 1 \frac{a^2}{2} \sqrt{\frac{3}{2^3}} = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$, что действительно верно для равностороннего треугольника со стороной a .

А теперь рассчитаем всё это для 3-мерного симплекса правильной треугольной пирамиды - тетраэдра с ребром длины a . При $k=0$, $n=3$ количество вершин, то есть 0-мерную меру 0-мерной границы треугольника по этой формуле получается $\mu_0(P_0(3)) = 4 \cdot 1 = 4$ вершины, что очевидно верно. 1-мерная мера 1-мерной границы тетраэдра, то есть периметр его $\mu_1(P_1(3)) = 6a$ – верно. 2-мерная мера 2-мерной границы, то есть площадь 4-х граней – равносторонних треугольников по формуле $\mu_2(P_2(3)) = 4 \frac{a^2}{2} \sqrt{\frac{3}{2^2}} = a^2 \sqrt{3}$. И, наконец, 3-мерная

мера 3-мерной границы, то есть Объём самого тетраэдра $\mu_3(P_2(3)) = 1 \frac{a^3}{3!} \sqrt{\frac{4}{2^3}} = \frac{a^3 \sqrt{2}}{12}$.

Вычислим ещё эти величины и для 4-мерного правильного симплекса: $k=0$ - количество вершин $\mu_0(P_0(4)) = 5 \cdot 1 = 5$ верно. $k=1$ – периметр-сумма длин всех рёбер $\mu_1(P_1(4)) = 10a$ – верно. $k=2$ -сумма площадей всех равносторонних треугольников 2-мерной границы $\mu_2(P_2(4)) = 10 \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} = \frac{5a^2 \sqrt{3}}{2}$. Далее 3-мерные границы 4-мерного симплекса - это 5 тетраэдр-

ров: $\mu_3(P_3(3)) = 5 \frac{a^3}{3!} \sqrt{\frac{4}{2^3}} = \frac{5a^3 \sqrt{2}}{12}$ и, наконец, 4-мерные границы 4-мерного симплекса – это,

собственно сам 4-мерный симплекс: $\mu_4(P_4(4)) = 1V_4(a) = \frac{a^4}{4!} \sqrt{\frac{5}{2^4}} = \frac{a^4 \sqrt{5}}{96}$.

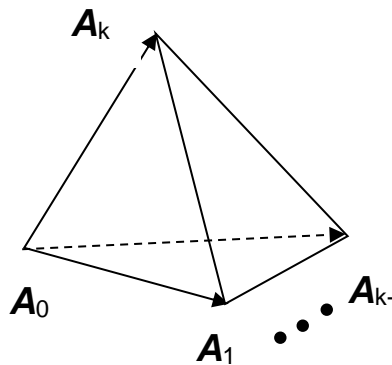


Рисунок 1 – k определению площади симплекса

Рассмотрим теперь произвольный n -мерный симплекс Σ_n (рисунок 1), не обязательно правильный и для краткости будем его называть n - симплексом. Обозначим его вершины A_0, A_1, \dots, A_n и соответственно сам симплекс Σ_n обозначим именами этих вершин $\Sigma_n = A_0 A_1 A_2 \dots A_n$, так же как в [2]. Его граница k -мерная $P_k(n)$ также состоит из $N_k(n) = C_{n+1}^{k+1}$ k -мерных симплексов, но не обязательно правильных, то есть и рёбра его могут быть не одинаковы и составляющие его симплексы одной размерности неодинаковые и неправильные. Но мы воспользуемся общей формулой для объёма k -мерного симплекса Σ_k , образованного k линейно-независимыми векторами a_1, a_2, \dots, a_k в n -мерном евклидовом пространстве R_n и пусть эти вектора имеют своим началом общую вершину A_0 , а концом соответственно вершины A_i , то есть $a_i = \overline{A_0 A_i}$. Эта формула для k - мерного симплекса Σ_k такова

$$V_k(\Sigma_k) = \frac{1}{k!} V_k(P_k) = \frac{1}{k!} \sqrt{\det(\|a_i, a_j\|)}.$$

Под корнем здесь стоит определитель Грама, который мы будем обозначать $G(a_1, a_2, \dots, a_k)$.

Тогда k -мерная граница $P_k(n)$ нашего n -мерного симплекса будет состоять из следующих k -мерных симплексов: $A_0 A_1 A_2 \dots A_k$; $A_0 A_1 A_2 \dots A_{k-1} A_{k+1}$; $A_0 A_1 A_2 \dots A_{k-1} A_{k+2}$; ... ; $A_0 A_1 A_2 \dots A_{k-1} A_n$. Затем первой точкой берём A_1 : $A_1 A_2 \dots A_k A_{k+1}$; $A_1 A_2 \dots A_k A_{k+2}$; ... $A_1 A_2 \dots A_k A_n$. Затем первой точкой берём A_2 и рядом с ней k точек с большими индексами по порядку и т. д. и последним симплексом будет $A_{n-k} A_{n-k+1} \dots A_{n-1} A_n$. То есть нам нужно перебрать все сочетания из $n+1$

вершины по $k + 1$ штук, причём чтобы они не совпадали и индексы должны идти в возрастающем порядке: то есть этих сочетаний и должно быть $N_k(n) = C_{n+1}^{k+1}$. Понятно, что эти сочетания вершин в общем виде можно записать так: $A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_{k+1}}$; где $0 \leq i_1 \leq i_2 \leq i_3 \dots \leq i_{k+1} \leq n$. Тогда k -мерную границу $P_k(n)$ нашего n - мерного симплекса можно представить как объединение этих симплексов. То есть

$$P_k(n) = \bigcup_{0 \leq i_1 < i_2 < i_3 \dots < i_{k+1} \leq n} A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_{k+1}}.$$

Поэтому k -мерная «площадь» k -мерной границы $P_k(n)$ будет равна

$$\mu_k(P_k(n)) = \sum_{0 \leq i_1 < i_2 < i_3 \dots < i_{k+1} \leq n} \mu_k(A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_{k+1}}) = \sum_{0 \leq i_1 < i_2 < i_3 \dots < i_{k+1} \leq n} \frac{1}{k!} \sqrt{G(a_{i_1} a_{i_2} \dots a_{i_k})}. \quad (7)$$

Где вектора $a_{i_1} = \overrightarrow{A_0 A_{i_1}}$; $a_{i_2} = \overrightarrow{A_0 A_{i_2}}$; $a_{i_3} = \overrightarrow{A_0 A_{i_3}}$; \dots ; $a_{i_k} = \overrightarrow{A_0 A_{i_k}}$.

То есть это вектора, исходящие из одной вершины A_0 образующие симплекс $A_0 A_{i_1} \dots A_{i_{k+1}}$. И если вершины симплекса A_0, A_1, \dots, A_n заданы своими координатами в n – мерном пространстве, то найдя образующие его вектора $a_i = \overrightarrow{A_0 A_i}$ для $i = 1, 2, \dots, n$, мы вычислим k -мерную «площадь» k -мерной границы $P_k(n)$ n - мерного симплекса по приведенной выше формуле, используя только эти вектора, так как остальные вектора можно выразить через них, точнее через их разности.

Например, для треугольника $A_0 A_1 A_2$, то есть при $n=2$ будем иметь вершин ($k=0$) $N_0(2) = C_3^1 = 3$ шт. То есть 0-мерная мера его границы $\mu_0(P_0(2)) = 3$. Далее, количество рёбер – сторон треугольника $N_1(2) = C_3^2 = 3$. А 1-мерная мера его границ - сумма 3-х сторон треугольника, то есть периметр его будет $\mu_1(P_1(2)) = A_0 A_1 + A_0 A_2 + A_1 A_2 = |a_1| + |a_2| + |a_2 - a_1|$ - сумме модулей векторов a_1 и a_2 и модуля их разности. Наконец, 2-мерная мера границы треугольника – то есть площадь самого треугольника будет $\mu_2(P_2(2)) = \frac{1}{2} |\det(a_1, a_2)|$, где координаты векторов стоят в столбцах определителя (а можно и в строках).

Рассмотрим теперь треугольную пирамиду – тетраэдр $A_0 A_1 A_2 A_3$ с главными образующими его векторами, исходящими из вершины A_0 : $a_i = \overrightarrow{A_0 A_i}$, $i = 1, 2, 3$. Здесь $\mu_0(P_0(3)) = C_4^1 = 4$ вершины

$$\mu_1(P_1(3)) = A_0 A_1 + A_0 A_2 + A_0 A_3 + A_1 A_2 + A_1 A_3 + A_2 A_3 = |a_1| + |a_2| + |a_3| + |a_2 - a_1| + |a_3 - a_1| + |a_3 - a_2|,$$

то есть это сумма длин всех рёбер тетраэдра. Теперь найдём площадь 2-мерной границы, то есть сумму площадей всех 4-х треугольников, ограничивающих тетраэдр

$$\begin{aligned} \mu_2(P_2(3)) &= \mu_2(A_0 A_1 A_2) + \mu_2(A_0 A_1 A_3) + \mu_2(A_1 A_2 A_3) + \mu_2(A_0 A_2 A_3) = \\ &= \frac{1}{2} \left(\sqrt{G(a_1, a_2)} + \sqrt{G(a_1, a_3)} + \sqrt{G(a_2, a_3)} + \sqrt{G(a_2 - a_1, a_3 - a_1)} \right), \end{aligned}$$

где G , как и ранее, определитель Грама для соответствующих векторов.

И, наконец, определим 3-мерную меру 3 мерной «границы» тетраэдра, то есть объём его, который будет, как известно, таков: $\mu_3(P_3(3)) = \frac{1}{3!} |\det(a_1, a_2, a_3)|$.

И рассмотрим ещё 4-мерный симплекс: $A_0 A_1 A_2 A_3 A_4$ с главными образующими его векторами, исходящими из вершины A_0 : $a_i = \overrightarrow{A_0 A_i}$, $i = 1, 2, 3, 4$. Здесь $\mu_0(P_0(4)) = C_5^1 = 5$ вершин. Далее, одномерная граница - периметр $P_1(4)$ состоит из $N_1(4) = C_5^2 = 10$ ребер, поэтому

$$\mu_1(P_1(4)) = A_0A_1 + A_0A_2 + A_0A_3 + A_0A_4 + A_1A_2 + A_1A_3 + A_1A_4 + A_2A_3 + A_2A_4 + A_3A_4 =$$

$$|a_1| + |a_2| + |a_3| + |a_4| + |a_2 - a_1| + |a_3 - a_1| + |a_4 - a_1| + |a_3 - a_2| + |a_4 - a_2| + |a_4 - a_3|$$

это сумма длин всех 10 рёбер 4-симплекса.

Далее рассмотрим 2-мерную границу 4-симплекса $P_2(4)$, то есть треугольники, которых $N_2(4) = C_5^3 = 10$. штук, как и рёбер. Поэтому, согласно формуле (4)

$$\mu_2(P_2(4)) = \sum_{0 \leq i < j < k \leq n} \mu_2(A_i A_j A_k) = \mu_2(A_0 A_1 A_2) + \mu_2(A_0 A_1 A_3) + \mu_2(A_0 A_1 A_4) + \mu_2(A_0 A_2 A_3) +$$

$$+ \mu_2(A_0 A_2 A_4) + \mu_2(A_0 A_3 A_4) + \mu_2(A_1 A_2 A_3) + \mu_2(A_1 A_2 A_4) + \mu_2(A_1 A_3 A_4) + \mu_2(A_2 A_3 A_4) =$$

$$= \frac{1}{2} \left(\sqrt{G(a_1, a_2)} + \sqrt{G(a_1, a_3)} + \sqrt{G(a_1, a_4)} + \sqrt{G(a_2, a_3)} + \sqrt{G(a_2, a_4)} + \sqrt{G(a_3, a_4)} + \right.$$

$$\left. + \sqrt{G(a_2 - a_1, a_3 - a_1)} + \sqrt{G(a_2 - a_1, a_4 - a_1)} + \sqrt{G(a_3 - a_1, a_4 - a_1)} + \sqrt{G(a_3 - a_2, a_4 - a_2)} \right)$$

Далее находим 3-мерную границу 4-симплекса $P_3(4)$, состоящую из $N_3(4) = C_5^4 = 5$ шт. тетраэдров. Поэтому, согласно формуле (7) для $n=4$ и $k=3$ будем иметь

$$\mu_3(P_3(4)) = \sum_{0 \leq i < j < k < l \leq n} \mu_3(A_i A_j A_k A_l) = \mu_3(A_0 A_1 A_2 A_3) + \mu_3(A_0 A_1 A_2 A_4) + \mu_3(A_0 A_1 A_3 A_4)$$

$$+ \mu_3(A_0 A_2 A_3 A_4) + \mu_3(A_1 A_2 A_3 A_4) = \frac{1}{3!} \left(\sqrt{G(a_1, a_2, a_3)} + \sqrt{G(a_1, a_2, a_4)} + \sqrt{G(a_1, a_3, a_4)} + \right.$$

$$\left. + \sqrt{G(a_2, a_3, a_4)} + \sqrt{G(a_2 - a_1, a_3 - a_1, a_4 - a_1)} \right)$$

И, наконец, 4-мерная граница 4-симплекса - это сам 4-симплекс и его объём, как мы уже знаем $\mu_4(P_4(4)) = \frac{1}{4!} |\det(a_1, a_2, a_3, a_4)|$.

Заметим, что для $k = n - 1$ -ой, то есть внешней границы n -симплекса в формуле (4) будет присутствовать в конце лишь одно слагаемое с определителем Грама для разностей векторов $a_2 - a_1, a_3 - a_1, a_4 - a_1, \dots, a_n - a_1$. То есть в этом случае, формула (4) будет выглядеть так

$$\mu_{n-1}(P_{n-1}(n)) = \sum_{0 \leq i_1 < i_2 < i_3 \dots < i_{n-1} \leq n} \mu_{n-1}(A_{i_1} A_{i_2} \dots A_{i_{n-1}}) =$$

$$= \frac{1}{(n-1)!} \left(\sum_{1 \leq i_1 < i_2 < i_3 \dots < i_{n-1} \leq n} \sqrt{G(a_{i_1} a_{i_2} \dots a_{i_{n-1}})} + \sqrt{G(a_2 - a_1, a_3 - a_1, \dots, a_n - a_1)} \right) \quad (8)$$

А вектора $a_{i_1} a_{i_2} \dots a_{i_{n-1}}$ под определителем Грама в сумме будут здесь из перечня n базовых векторов n -симплекса: $a_i = \overrightarrow{A_0 A_i}$ для $i = 1, 2, \dots, n$. То есть их количество в сумме будет $C_n^{n-1} = n$ и с учётом последнего слагаемого всего слагаемых в скобках будет $n + 1$.

Итак, формулы (1), (3), (6), (7), (8) дают нам ответ на поставленные в заголовке статьи вопросы. Формулы (2) и (5) дают вычисление высоты правильного симплекса. А Формула (4) показывает взаимосвязь между ребром правильного симплекса a и радиусом r вписанного n -мерного шара в этот симплекс или r - это расстояние от центра симплекса до его $n-1$ - мерных внешних граней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиллов, Г.Е. Математический анализ. Функции нескольких вещественных переменных. Части 1-2. М., Наука. 1972. 624 с.
2. Розенфельд Б.А. Многомерные пространства. Изд-во Наука, М. 1966, 648 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

симплекс, площадь симплекса, тетраэдр

Коврижных Леонид Михайлович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

1. Shilov, G.E. Mathematical analysis. Functions of several real variables. Parts 1-2. M., Science. 1972. 624 p.
2. Rosenfeld B.A. Multidimensional spaces. Publishing House Nauka, M. 1966, 648 p..

РАЗМЫШЛЕНИЯ О ПРОБЛЕМАХ СУДОВОДИТЕЛЬСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВОДНОГОТРАНСПОРТА»

В.И. Сичкарев

REFLECTIONS ON THE PROBLEMS OF NAVIGATIONAL EDUCATION

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Victor I. Sichkarev (Ph.D. of Engineering Sciences, Prof. of SSUWT)

ABSTRACT: Various aspects of the training of navigators at the present stage are considered in order to develop measures to prevent the decline in the quality of their training.

Keywords: professional functions of a navigator, tasks of education, competence-based approach

Рассматриваются различные стороны подготовки судоводителей на современном этапе для выработки мер по предотвращению снижения качества их подготовки.

Работа судоводителя многогранная и многоуровневая, но всё же в ней удаётся вычленить некоторые важные составляющие, которые подпадают под возможности решения современным направлением развития техники и технологий.

Для адекватного управления судовым экипажем и судовой техникой судоводитель выполняет незаметную, но очень важную работу по анализу обстановки: окружающей гидрометеорологической среды; состояния судна; состояния груза; реакции судна на внешнее воздействие; наличия других судов, характера их движения, состояния и маневрирования; поступающих сигналов от судовых приборов и информационных систем; поступающей внешней информации через системы связи и т.п. Анализируемое состояние судна и среды сопоставляется с известным или ожидаемым, на основании чего делается вывод о нормальном ходе событий или о необходимости принятия решения на выполнение некоего управляющего воздействия.

Анализ некоторых состояний бывает довольно простым. Например, обнаруженное отклонение местоположения судна от заданной линии пути; принятие решения по этому анализу на возвращение судна на путь предварительной прокладки во многих случаях тривиально и выполняется вахтенным помощником самостоятельно. А вот обнаружение в пределах радиолокационной видимости нескольких судов обязывает вахтенного помощника вызвать на мостик капитана: ситуация может быть неоднозначной как при хорошей, так и при ограниченной видимости.

Но бывают обстоятельства, когда и капитану очень не просто оценить ситуацию и выбрать правильное решение. К таким ситуациям, в частности, относится прогноз реакций судна при плавании на значительном нерегулярном волнении, действия при смещении груза или потере части палубного груза, различного вида аварийные ситуации и др. Имеющаяся на судне документация, как правило, рассматривает типовые ситуации, но ни одна реальная ситуация в полной мере не совпадает с типовой. Поэтому решения по реальным ситуациям приходится искать на судне самостоятельно.

В качестве реальногоотягчающего обстоятельства в принятии оптимальных решений всегда выступает жёсткий дефицит времени, когда решение должно приниматься почти мгновенно, а работа с судовой документацией требует определённого времени.

Важность предотвращения нештатных или аварийных ситуаций усугубляется их высоким риском для экологии моря, региона или даже планетарного масштаба.

Общий тренд современного научно-технического развития связан со всё более глубоким проникновением компьютеризации в сферу интеллектуальной деятельности человека (на современном этапе – цифровой компьютеризации или цифровизации, хотя успехи аналоговых методов моделирования могут потеснить цифровизацию, не меняя направления научно-технического прогресса на моделирование мыслительной деятельности). Этот общий тренд неминуемо должен прийти и на помощь судоводителю, наибольшая нужда в котором прежде всего в быстром решении сложных задач принятия решений в неоднозначных ситуациях. Работа в этом направлении не должна отставать от уровня развития цифровизации в современном производстве.

Некоторые шаги в рассматриваемом направлении предпринимаются на уровне ИМО.

Однако, основным документ – Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС-74 – не ставит целью развитие интеллектуальной поддержки принятию судоводительских решений. И даже разработки отраслевого центра Маринет по автоматизации и автономизации судовождения не доведены до учёта сложных ситуаций реального судовождения.

На передовых мировых позициях в разработке систем автоматизации процессов судовождения находится отечественная структура Национальной технологической инициативы – рабочая группа «Маринет». Она сконцентрировалась на коммерческой реализации в морской отрасли цифровой навигации (е-Навигации), технологий освоения ресурсов океана и инновационного судостроения. В круг своих задач Маринет включает и автоматизацию/автономизацию судовождения, учитывая, но не ограничиваясь требованиями международного правового поля. Предстоящие демонстрационные испытания нескольких судов в режиме автоматического судовождения – значимые мероприятия этого направления.

Однако, множество нерешённых в научном плане вопросов сложных судоводительских ситуаций ограничивает на настоящий момент расширение сферы применения идей автономного судовождения. Поэтому в числе важных научных задач должны стоять задачи поиска алгоритмических решений по штормовому плаванию, по адекватной оценке, реакций судна на волновое воздействие, по аварийным ситуациям с грузом, по эффективным методам спасения экипажа и поисково-спасательных операций, по получению и распознаванию визуальной информации, по алгоритмизации эмпирических решений хорошей морской практики. Опережающее научное сопровождение – залог успешного развития идей автономного судовождения.

Судовождение на внутренних водных путях в настоящее время более других транспортных отраслей нуждается в автоматизации, хотя это направление в развитии речного судовождения наименее осознано судовладельцами. Многие направления частичной автоматизации процессов, судовых систем, управления машинами и механизмами, даже из перечня Маринет, уже доступны для внедрения. Но на судах ВВП до сих пор задерживается внедрение электронной картографии; АИС; средств бесперебойной связи, включая автоматизированные системы, аналогичные средствам ГМССБ на море; автоматизации местоопределения и его отображения на ЭКС; комплексирование навигационной аппаратуры, ЭКС и РЛС и т.д. Большой проблемой на ВВП остаётся производительность промерных работ, хотя скорость трансформации русел рек существенно выше скорости аналогичных процессов в прибрежной зоне морей. Картографирование глубин и берегов рек привязано к проектному уровню воды в реке, а действительные уровни воды в реке практически непрерывно изменяются и подвержены краткосрочным изменениям в пору интенсивных дождей. Информация водомерных постов может быть учтена судоводителями преимущественно качественно; количественный учёт невозможен в связи с отсутствием скорости распространения волны уровней вдоль реки. Принцип «судового хода с гарантированной глубиной» достаточно хорошо работает в среднем за навигационный сезон, но не позволяет использовать паводковый период для увеличения осадки судов.

В итоге насущной проблемой становится переход на инновационное навигационное обеспечение внутренних водных путей со скоростным промером и автоматическим картографированием результатов промеров; с автоматической корректурой электронных карт потребителей; с учётом фактических уровней воды и картографическим представлением их в виде фактических изобат и конфигурации береговой черты; с виртуальным ограждением судового хода с гарантированной глубиной и границ фактически возможного судового хода с заданной глубиной; с возможностью радиолокационного отождествления местонахождения судна по конфигурации фактической береговой черты.

Мотивационные изменения в обществе наиболее развитых стран, обладающих развитой производственной структурой и, следовательно, потребностью в грузообмене, за последние четверть века привели к кадровому дефициту в наиболее сложном виде транспортной деятельности – в морском судоходстве. Образовавшийся дефицит покрывается кадрами из демографически пересыщенных регионов юго-восточной Азии. Однако, приток кадров из иных в ментальном и образовательном отношении регионов чреват экологическими неприятностями в обслуживаемых регионах. Это обстоятельство подвигло Международную морскую организацию (ИМО) к разработке профессиональных инвариантов без вмешательства в национальные системы образования. Такие инварианты по каждой специальности плавсостава представлены в современной Международной конвенции ПДНВ в виде компетенций.

Поскольку компетенции никак не связаны с уровнем образования кандидатов на должностные уровни плавсостава, то их можно условно назвать требованиями к ремеслу плавсостава.

В целом введение компетенций в образовательный обиход можно рассматривать как положительное явление, хотя и не без недостатков.

По-видимому, недостатком изложенных в МК ПДНВ компетенций нужно считать их разный вес. Некоторые компетенции охватывают очень крупные разделы профессиональной деятельности, закрываемые несколькими учебными дисциплинами в их современных границах, а другие – весьма узкую частную область. Кроме того, описание той или иной ремесленной составляющей в профессии, безусловно, можно выразить разной формулировкой компетенции.

Подводя итог компетентностному подходу к формированию инвариантов профессиональной деятельности, можно отметить в целом их положительное свойство, но нуждающееся в доработках и совершенствовании.

В отечественной системе морского образования идея компетентностного описания требований к ремесленной составляющей специальностей плавсостава воспринята в полном объёме и даже распространена на многие иные виды образовательной подготовки молодёжи. При этом сохранены не только положительные стороны компетентностного подхода МК ПДНВ, но и отрицательные – не обдуманые, не переосмысленные, а скопированные подражательно.

Подражательный подход к расширительному компетентностному описанию деятельности специалиста с высшим образованием привёл в действие один из важных антифилософских законов: доведи хорошую идею до абсурда и получишь противоположный результат.

Так, МК ПДНВ для подготовки матроса, вахтенного помощника, старпома, капитана сформировала 53 компетенции, а отечественная Примерная основная образовательная программа специальности 26.05.05 «Судовождение», детализированная в ОПОП по специализации «судовождение на морских и внутренних водных путях» - 103 компетенции.

Для сравнения, Перечень обобщённых трудовых функций и трудовых функций специалиста по специальности 26.05.05 по профстандарту «судоводитель-механик» (по сути дела – две специальности) содержит 16 трудовых функций, которые суть аналоги компетенций. Разница очевидна, как очевидно и то, что охватить все виды деятельности специалиста 103 функциями всё же не удаётся, а вот осмыслить 103 функции тоже не удаётся!

Отсюда напрашивается логический вывод, что отечественным разработчикам ОПОП следовало бы подражательный подход сменить на взвешиваемый.

До масштабного введения в образование компетентностного подхода в нашей стране активно обсуждалась трёхступенчатая система воднотранспортного образования, подразумевавшая ступени в виде специальностей рядового состава, среднего профессионального образования для уровня эксплуатации и высшего образования для уровня управления. Эта система предполагала значительную экономию расходов на образование, поскольку на каждой ступени происходит отсеивание случайных в этой специальности людей, а на каждой следующей ступени остаются мотивированные люди. К каждой следующей ступени человек приобретает практический флотский опыт, что существенно облегчает ему дальнейшее обучение. Наш опыт работы со студентами заочного образования, как правило, пришедшими с флота, показывает, насколько заинтересованность в следующей ступени образования положительно влияет на освоении профессии.

Следовало бы, оставляя возможность прямого получения высшего образования для абитуриентов с достаточно высоким баллом ЕГЭ, придать развитие и трёхступенчатой системе, закрывая тем самым острую потребность судовладельцев в рядовом составе для флота и освобождая высшую школу от случайных людей, использующих гуманность отечественного закона об образовании, но не стремящихся затем работать по специальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минобрнауки России от 15.03.2018 N 191 (ред. от 08.02.2021) "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - специалитет по специальности 26.05.05 Судовождение" (Зарегистрировано в Минюсте России 05.04.2018 N 50652) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2021)

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated March 15, 2018 N 191 (as amended on February 8, 2021) "On the truth of the federal state educational standard of higher education - a specialist in the specialty 05.26.05 Navigation" amended. and add., intro. in force from 01.09.2021

<p>КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:</p>	<p>профессиональные функции штурмана, задачи обучения, компетентностный подход <i>Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»</i> 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»</p>
--	--

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ МНОЖЕСТВА ЧАСТЕЙ КОНЕЧНЫХ И БЕСКОНЕЧНЫХ МНОЖЕСТВ

**ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 ВОДНОГОТРАНСПОРТА»**

Л.М. Коврижных

DYNAMICS OF CHANGE IN THE POWER OF THE SET OF PARTS OF FINITE AND INFINITE SETS

Siberian State University of Water Transport (SSUWT) 33, Schetinkina St., Novosibirsk, 630099, Russia

Leonid M. Kovrizhnykh (Senior Lecturer of SSUWT)

ABSTRACT: The concepts of cardinality and equivalence of sets are considered. Examples of determining the cardinality of sets are given. The corresponding formulas are found..

Keywords: simplex, area of simplex, tetrahedron

Рассматриваются понятия мощности и эквивалентности множеств. Приведены примеры определения мощности множеств, скорости изменения мощности множеств. Найдены соответствующие формулы.

Понятие мощности множества произвольной природы основывается на понятии эквивалентности множеств [1], [2], [3]. Два множества называются эквивалентными, если между ними можно установить взаимно-однозначное соответствие – биекцию. Множество всех множеств, эквивалентных данному, называют классом эквивалентности для данного множества. Таким образом, каждое множество порождает свой класс эквивалентности. Этот класс эквивалентности и называют мощностью множества или кардинальным числом множества и обозначают его неким символом. Например, то, что множество M обладает мощностью μ , записывают так: $Card(M) = \mu$. Кардинальные числа бесконечных множеств называют трансфинитными числами. Кардинальные числа конечных множеств равны количеству элементов этих множеств, то есть являются просто натуральными числами. Множество частей (подмножеств) множества M обозначим $P(M)$.

Рассмотрим конечное множество M_n , состоящее из n элементов: a_1, a_2, \dots, a_n . Поскольку это множество эквивалентно множеству натуральных чисел от 1 до n : 1, 2, 3, ..., n то его мощность по определению равна n : $Card(M_n) = n$. Известно, что количество $K_n = Card(P(M_n))$ подмножеств (частей) конечного множества из n элементов равно 2^n [1,2]. При этом частями множества по определению являются пустое множество M_0 (множество, не содержащее элементов) и само множество M_n . Это нетрудно доказать индукцией по n . Действительно, при $n=0$, хотя $Card(M_0) = 0$, но $K_0 = Card(P(M_0)) = 1$, так как пустое множество, хотя и не содержит элементов, но является множеством (обладает статусом множества по определению) и потому является частью себя. При $n=1$ $K_1 = 2$, так как множество, состоящее из одного элемента, содержит пустое и, собственно, себя. Предположим, что множество M_{n-1} , состоящее из $n-1$ -ого элемента содержит 2^{n-1} частей (подмножеств). Тогда, добавив к нему новый элемент a_n , мы к имеющемуся количеству $K_{n-1} = 2^{n-1}$ частей добавим части, содержащие элемент a_n , которых будет столько же, то есть увеличим количество частей в 2 раза. Поэтому $K_n = 2 \cdot K_{n-1} = 2 \cdot 2^{n-1} = 2^n$.

Конечно, можно эту формулу доказать, пользуясь формулой бинома Ньютона и смыслом биномиальных коэффициентов C_n^k (число сочетаний из n элементов по k). И тогда сразу получаем, что $K_n = C_n^0 + C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^n = 2^n$. Но первое доказательство [1] предпочтительнее

тем, что можно обойтись без знания биномиальных коэффициентов C_n^k и бинома Ньютона. Итак

$$K_n = \text{Card}(P(M_n)) = 2^n. \quad (1)$$

Заметим, что это число - кардинальное число множества частей конечного множества, очень быстро растёт при увеличении n – количества элементов множества, так как оно выражено через показательную функцию от натурального значения n . Но, если мы рассмотрим функцию $f(x) = 2^x$ вещественного аргумента x , то, как известно, скорость её изменения очень высока и почти равна самой функции, правда, с коэффициентом $\ln(2)$: $f'(x) = 2^x \ln(2)$. И беря теперь в качестве аргумента x натуральное число $n = 0, 1, 2, \dots$ получим скорость изменения мощности множества частей конечного множества, состоящего из n элементов, при добавлении к нему нового элемента. Именно, эта скорость

$$v_n = 2^n \ln(2) \approx 2^n \cdot 0,6931471806\dots \approx 2^n \cdot 0,693. \quad (2)$$

Поскольку мощность конечного множества суть натуральное число, а множество частей конечного множества тоже конечно и число его элементов как мы показали равно 2^n , то эта формула показывает нам динамику изменения количества частей конечного множества при возрастании количества его элементов.

Например, при переходе от пустого множества ($n=0$) к множеству, состоящему из 1-ого элемента, имеем скорость этого перехода $v_0 = \ln(2) \approx 0,693 \approx 0,7$. А при пополнении одно-элементного множества до 2-х элементов будем иметь скорость этого перехода $v_1 = 2 \ln(2) \approx 1,386 \approx 1,4$. И так далее: $v_2 = 2^2 \ln(2) \approx 4 \cdot 0,693 \approx 2,772 \approx 2,8$. то есть каждый раз скорость увеличивается в 2 раза по сравнению с предыдущей.

А чем измеряется эта скорость? Скорость измеряется количеством частей множества в единицу изменения количества элементов множества.

Формулы (1) и (2) показывают нам количественную оценку частей конечного множества и скорость их изменения при добавлении нового элемента, то есть динамику этого изменения.

Заметим, что величина 2^n довольно часто встречается в различных разделах математики, а также в информатике.

– Например, в информатике, количество возможной информации, размещаемой в n – битовых ячейках памяти равно 2^n .

– Минимальный размер n -мерного массива тоже равен 2^n , так как n индексов его могут иметь лишь 2 значения: 1 или 2, поскольку 2 – минимальное простое число [4].

– В многомерной геометрии количество вершин n -мерного куба равно 2^n .

– Объём n -мерного куба со стороной 2 также равен 2^n .

И во всех этих примерах также можно сказать, что динамика изменения рассматриваемых в них величин, то есть скорость их изменения в зависимости от n очень высока и также равна $2^n \ln(2)$.

Если же мы рассмотрим далее множество $P(P(M_n))$ частей для множества частей конечного множества M_n , состоящего из n элементов, то его мощность – кардинальное число будет по аналогии с предыдущим рассуждением равна

$$\text{Card}(P(P(M_n))) = 2^{K_n} = 2^{\text{Card}(M_n)} = 2^{2^n}.$$

И этот процесс подсчёта мощностей множеств частей более высокого уровня от множеств частей более низкого уровня множеств можно продолжать, и мы получим дискретный ряд кардинальных чисел для конечных множеств

$$n, 2^n, 2^{2^n} \dots \text{ и т.д.}$$

Что касается бесконечных множеств, то их мощность – кардинальное число измеряется не числами, а условными символами, обозначающими класс эквивалентных множеств данному множеству.

При этом из всех бесконечных множеств минимальным по мощности является счётное множество – это множество эквивалентное множеству натуральных чисел $N_1 \{1, 2, 3, \dots, n, \dots\}$.

Мощность счётного множества можно обозначить буквой a [2] или ν [1].

Следующими по мощности множества считаются [1,2] множества мощности континуум, которое обозначается буквой c [2] или y [1]. Например, мощность множества чисел, расположенных на каком-либо отрезке числовой прямой, скажем, на отрезке $(0,1)$. Или вообще вся числовая прямая. Множество всех непрерывных функций, заданных на каком-либо отрезке прямой, также обладает мощностью континуума [1, 2].

Доказывается также, что множество всех подмножеств (частей) счётного множества N_1 также континуально и это, по аналогии с конечными множествами, можно выразить условно обозначением $c = 2^a$.

Причём, согласно гипотезе континуума, промежуточных мощностей между счётными и континуальными множествами нет. В общем случае обобщённая гипотеза континуум заключается в предположении, что при любом кардинальном числе μ кардинальное число 2^μ непосредственно следует за μ . Однако, доказано (П. Коэн, 1963 г.), что континуум гипотеза неразрешима – её невозможно ни доказать, ни опровергнуть, можно лишь принять её или противоположное ей утверждение как аксиому.

Далее идут по мощности множества мощности 2^c . Например, множество всех функций на заданном отрезке. А также множество всех частей множества мощности c .

То есть кардинальные числа бесконечных множеств – трансфинитные числа образуют дискретную систему «чисел» – трансфинитные числа

$$a, c = 2^a, 2^c, 2^{2^c} \dots \text{ и т.д.}$$

Причем этот ряд упорядочен по возрастанию [1].

И мы видим, что в принципе и динамику изменения мощностей трансфинитных чисел можно определить по аналогии с конечными множествами символом $2^\mu \ln(2)$, где μ – мощность какого-либо бесконечного множества.

Заметим ещё в заключении, что при добавлении одного элемента к конечному множеству его мощность увеличивается, естественно, на 1, а мощность множества частей его возрастает в 2 раза, как это показано выше. Однако при добавлении одного элемента к бесконечному множеству мощность его остаётся прежней, а значит и мощность множества его частей. Более того, даже, если к бесконечному множеству добавить несколько элементов или даже счётное число элементов, то его мощность также не изменится и даже, если добавить к нему бесконечное множество меньшей мощности. То есть бесконечное множество поглощает собой множества меньшей мощности при их добавлении к нему [1]. И мощность множества его частей при этом также не меняется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварц Лоран. Анализ. Том I. М., Мир. 1972. пер. с французского, 824 с.
2. Натансон И.П. Теория функций вещественной переменной. М., Наука 1974, 480 с.
3. Мендельсон Э. Введение в математическую логику. М., Наука 1971 пер. с англ., 320 с.
4. Коврижных Л.М. Массивы в объектно-ориентированном языке программирования. Новосибирск: Сибирский государственный университет водного транспорта, 2018, 93 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

множество, мощность множества, эквивалентность множеств, скорость изменения мощности множества

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Коврижных Леонид Михайлович, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

REFERENCES

1. Schwartz Laurent. Analysis. Volume I. M., Mir. 1972. trans. from French, 824 p.
2. Natanson I.P. The theory of functions of a real variable. M., Nauka 1974, 480 p.
3. Mendelson E. Introduction to mathematical logic. M., Science 1971 per. from English, 320 p.
4. Kovrizhnykh L.M. Arrays in an object-oriented programming language. Novosibirsk: Siberian State University of Water Transport, 2018, 93 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Бунеев В.М., Пичурина И.А. СТРАТЕГИЯ ПОВЕДЕНИЯ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ НА РЫНКЕ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ.....	5
--	---

TRANSPORT OPERATION AND ECONOMICS

V.M. Buneev, I.A. Pichurina THE STRATEGY OF THE BEHAVIOR OF THE SHIPPING COMPANY IN THE MARKET OF TRANSPORT SER- VICES.....	5
---	---

СУДОВОЖДЕНИЕ

Бабич С.И. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОВЕРОЧНОМ СТЕНДЕ СЕКСТАНА, ОБЛАДАЮЩЕГО ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ БОЛЬШОГО ЗЕРКАЛА	11
Сичкарев В.И., Бабич С.И. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РЕЗЕРВНЫХ МЕ- ТОДОВ НАХОЖДЕНИЯ МЕСТА СУДНА	17

MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF MEANS OF TRANSPORT

S.I. Babich MEASUREMENT RESULTS ON THE SEXTAN VERIFICATION STAND WITH TWO DEGREES OF FREEDOM OF A LARGE MIRROR	11
V.I. Sichkarev, S.I. Babich DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF RESERVE METHODS FOR LOCATION OF A VESSEL.....	17

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Барановский А.М., Щербакова О.В., Пахомова Л.В. Викулов С.В. МОДЕЛЬ ЖЕСТКОСТИ ГЕЛИКОИДАЛЬНОЙ ПРУЖИНЫ	21
Барановский А.М., Пахомова Л.В., Щербакова О.В. УСТОЙЧИВОСТЬ ПОТОКА В ТРУБАХ	24
Барановский А.М., Пахомова Л.В., Викулов С.В. МЕТОД ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ РАСЧЕТЕ ВА- ЛОВ	28

HEAT POWER INDUSTRY

A.M. Baranovsky, O.V. Shcherbakova, L.V. Pakhomova, S.V. Vikulov MODEL OF RIGIDITY OF A HELICOIDAL SPRING	21
A.M. Baranovsky, L.V. Pakhomova, O.V. Shcherbakova, FLOW STABILITY IN PIPES.....	24
A.M. Baranovsky, L.V. Pakhomova, S.V. Vikulov DISCRETIZATION METHOD FOR CALCULA- TION OF SHAFT.....	28

ТРАНСПОРТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Коврижных Л.М. О СУММЕ ОБЪЕМОВ МНОГОМЕРНЫХ ША- РОВ И ПЛОЩАДЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ МНО- ГОМЕРНЫХ СФЕР И О ВЗАИМОСВЯЗИ ПЛО- ЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ СФЕРЫ В n-МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ОБЪЕМОМ ШАРА В n-2- МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ.....	32
Коврижных Л.М. ОБЪЕМ ПРАВИЛЬНОГО n-МЕРНОГО СИМ- ПЛЕКСА И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ СИМ- ПЛЕКСА	35
Сичкарев В.И. РАЗМЫШЛЕНИЯ О ПРОБЛЕМАХ СУДОВОДИ- ТЕЛЬСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ	41
Коврижных Л.М. ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ МНО- ЖЕСТВА ЧАСТЕЙ КОНЕЧНЫХ И БЕСКОНЕЧ- НЫХ МНОЖЕСТВ.....	44

TRANSPORT EDUCATION

L.M. Kovrizhnykh ON THE SUM OF VOLUME OF MULTIDIMEN- SIONAL BALLS AND THE SURFACE AREA OF MULTIDIMENSIONAL SPHERES AND ON THE RELATIONSHIP OF THE SURFACE AREA OF A SPHERE IN N-DIMENSIONAL SPACE AND THE VOLUME OF A BALL IN N-2-DIMENSIONAL SPACE	32
L.M. Kovrizhnykh VOLUME OF REGULAR N-DIMENSIONAL SIM- PLEX AND CALCULATION OF THE SURFACE AREA OF ITS BORDERS AND AN ARBITRARY SIMPLEX	35
V.I. Sichkarev REFLECTIONS ON THE PROBLEMS OF NAVI- GATIONAL EDUCATION.....	41
L.M. Kovrizhnykh DYNAMICS OF CHANGE IN THE POWER OF THE SET OF PARTS OF FINITE AND INFINITE SETS	44

PROCEDURE FOR RECEIVING MATERIALS

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в очередном номере журнала. Материалы (заявку и статью) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: konovalov@nsawt.ru. Оригиналы по почте на адрес Университета с пометкой для Коновалова В.В.

Заявка на публикацию научной статьи

	на русском языке	на английском языке
НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (без каких-либо сокращений и символов)		
Аннотация (до 300 знаков)		
<i>Ключевые слова</i> (от 3 до 10 слов)		
Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес работы каждого из авторов)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, занимаемая должность, числовой идентификационный номер автора: Author ID в системе РИНЦ)		
Количество ссылок на литературу		
Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*)		

*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов по поводу публикации и разглашению не подлежит

С условиями публикации ознакомлен(ы), представленный материал ранее не был опубликован, о рецензировании статьи компетентным по тематике статьи лицом не возражаем.

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

- 1 Статья (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD (объем 3-5 страниц А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD на публикацию научной статьи.
- 3 Графический материал не подлежит правке при наборе (при выполнении рисунков поясняющий текст должен быть разборчив); размеры рисунка не более 15×15 см; глубина цвета – оттенки серого.
- 4 Ширина таблиц не более 15 см.
- 5 Все математические формулы и выражения должны быть набраны в специальном редакторе формул (Mathtype и др.), шрифт Arial.
- 6 Обязательные ссылки на список литературы выполняются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в квадратных скобках в порядке указания. На каждый указанный в списке источник должны быть ссылки в тексте статьи.

Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с автором(и)

С условиями публикации материалов можно ознакомиться у ответственного секретаря журнала Коновалова Валерия Владимировича по электронной почте: konovalov@nsawt.ru. Почтовый адрес: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» а также на интернет-странице по адресу: <http://www.ssuwt.ru> в разделе «Наука-Научные издания». Для аспирантов очного отделения публикация материалов в журнале – бесплатно, в порядке очередности и актуальности.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока
№1-2 за 2020 год

Главный редактор – Палагушкин Б.В.

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.
Перевод на английский язык – Руденко К.Д.

Подписано в печать 10.07.2020 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная –
Riso. Усл. печ. л. 5,8; тираж 500 экз. Заказ № 49
Цена свободная.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390