

## АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Russian universities*

*Текст на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-15>

**Акулич В. Ю. Напряжённо-деформированное состояние и устойчивость равновесия цилиндрических оболочек при упругих и упругопластических деформациях, в том числе взаимодействующих с окружающим основанием, с учётом изменения расчётной модели во времени / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 24 с.**

Тонкостенные элементы – оболочки широко применяются в современных строительных конструкциях. Их используют в транспортном, промышленном и гражданском строительстве при сооружении башен, опор, резервуаров, сводов, тоннелей и т.д.

Оболочки имеют ряд преимуществ: они способны эффективно воспринимать приложенную нагрузку за счёт своей геометрической формы, эстетичны и предпочтительны с архитектурной точки зрения.

Особую роль оболочечные элементы играют в подземных сооружениях, где часто используют цилиндрические и другие сводчатые поверхности. При достаточно широком исследовании особенностей работы цилиндрических оболочек остаются вопросы по учёту влияния контактного взаимодействия оболочки и основания, нелинейности происходящих процессов и изменению напряжённо-деформированного состояния (НДС) оболочки в ходе её монтажа, что не позволяет дать реальную оценку НДС и устойчивости таких конструкций от начала строительных работ до их завершения. Это предопределяет актуальность темы исследования по развитию методов расчёта оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, на прочность, устойчивость и жёсткость.

Цель диссертационной работы заключается в разработке и развитии методов расчёта

и анализе напряжённо-деформированного состояния цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием, в плоской и пространственной постановках задач.

Научная новизна исследования состоит в оценке НДС и устойчивости цилиндрических оболочек с учётом взаимодействия с окружающим основанием и этапности строительства, а именно:

1. Построены конечно-элементные модели системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание», изменяющиеся во времени, учитывающие зазор между оболочкой и основанием на этапе строительства с помощью одностороннего контактного взаимодействия и физическую нелинейность материалов.

2. Определены размеры пространственного фрагмента системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание», необходимые для получения достоверных результатов расчёта осадки верхней поверхности основания.

3. Разработан и реализован алгоритм оценки НДС и устойчивости системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание».

4. Программа на языке PCL в программном комплексе PATRAN для автоматизации процесса создания твёрдотельной расчётной модели системы «цилиндрическая оболочка–окружающее основание» с возможностью учёта строительного зазора между оболочкой и основанием при одностороннем контактном взаимодействии.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач применён метод конечных элементов в перемещениях, включающий построение расчётных моделей рассматриваемых систем, их численные линейный и геометрически, физически и конструктивно нелинейный анализы. С целью учёта развития пластических деформаций материалов использована теория пластического течения с критериями пластичности Мора–Кулона и Друкера–Прагера.

Обобщённые результаты проведённых исследований следующие.

Разработана численная методика учёта строительного зазора между цилиндрической оболочкой и окружающим основанием, основанная на пространственных расчётных моделях с использованием двух способов создания зазора, позволяющих учитывать «по-

терянный объём» грунта от работы тоннелепроходческого механизированного комплекса. Расчётные модели сопоставлены между собой и с известным полуэмпирическим методом. Лучшие результаты показала модель с контактными элементами, аппроксимирующими зазор, в расчётах по определению осадки поверхности массива как в поперечном, так и в продольном направлениях к оси оболочки.

Определены размеры пространственного фрагмента массива, необходимые для получения достоверных результатов расчёта осадки верхней поверхности в поперечном и продольном направлениях к оси оболочки по разработанным расчётным моделям, учитывающим зазор. С учётом полученных результатов расчётов НДС системы можно рекомендовать в практических расчётах по определению осадки поверхности массива в поперечном направлении к оси оболочки принимать расстояние  $L$  от края оболочки до боковых торцов массива (в поперечном направлении), удовлетворяющее условию  $L \geq 5D$ , где  $D$  – диаметр оболочки. При определении осадки поверхности массива в продольном направлении к оси оболочки можно рекомендовать принимать расстояние  $L$  от края оболочки до торцов массива (в продольном направлении), также удовлетворяющее условию  $L \geq 5D$ .

Разработана программа для автоматизации процесса создания твёрдотельной расчётной модели цилиндрической оболочки, окружающего массива и контактных элементов зазора на командном языке PCL, который служит частью системы MSC PATRAN.

Решена практическая задача по определению мульды оседания участка поверхности земли с эксплуатируемыми железнодорожными путями Московской железной дороги, расположенных в пределах зоны влияния строительства проектируемых перегонных тоннелей Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена от станции метро «Раменки» до станции метро «Расказовка». Полученные результаты сопоставлены с данными геодезического мониторинга.

Разработана и реализована методика, основанная на пространственных расчётных моделях, изменяющихся во времени, позволяющих учесть разное количество этапов возведения цилиндрических оболочек, взаимодействующих с окружающим основанием. Модели учитывают одностороннее контактное взаимодействие, строительный зазор

и физическую нелинейность материалов. Исследовано влияние учёта поэтапного возведения конструкции на НДС цилиндрической оболочки конечных размеров, взаимодействующей с окружающим основанием, с использованием численных методов. Установлено, что величины внутренних усилий в теле цилиндрической оболочки сильно зависят от количества стадий в расчётном случае. Опираясь на полученные результаты, рекомендовано в практических расчётах принимать восемь и более расчётных стадий возведения оболочки.

Установлено, что учёт коэффициента трения в стадийных расчётных случаях значительно снижает величину максимальных напряжений в цилиндрической оболочке. Показано, что введение в расчёт упругопластической модели материала для оболочки также заметно снижает величину максимальных напряжений.

Определены особенности НДС системы, состоящей из двух параллельно расположенных цилиндрических оболочек и окружающего основания, а именно: определено влияние, оказываемое на первую оболочку поэтапным возведением второй близлежащей оболочки. Полученные результаты показали, что данное влияние является в целом незначительным и прирост напряжений для всех рассмотренных колец первой оболочки не превысил 7,8 %, кроме последнего кольца, где увеличение напряжений составило 116,8 %.

Разработаны и реализованы методика и алгоритм получения критических нагрузок и форм потери устойчивости цилиндрической оболочки при различных моделях материалов и условиях контактного взаимодействия с окружающим основанием. Составлены стержневые, плоские и пространственные модели системы «оболочка–основание». Пространственные расчётные схемы построены с учётом и без учёта коэффициента трения между оболочкой и основанием, а также в рамках линейно упругой и упругопластической моделей материалов. Проведён численный анализ системы с целью определения критической нагрузки, при которой конструкция оболочки, взаимодействующей с окружающим основанием, теряет устойчивость равновесия и форм потери устойчивости в линейном и нелинейном расчётных случаях с последующим сравнительным анализом результатов.



Установлено, что в расчётах на устойчивость при больших перемещениях системы нелинейный расчёт путём пошагового приложения нагрузки и итерационной процедуры позволяет отыскивать зоны отсутствия контакта элементов (область отлипания оболочки от основания) и определять изменяющееся во времени положение оболочки, что исключает завышенные значения критической нагрузки, полученные при линейном расчёте, когда перемещения малы. Также определено, что учёт коэффициента трения обеспечивает лучшую совместную работу оболочки и окружающего основания и позволяет получить несколько большие значения критической нагрузки как при линейной упругой модели материала, так и при упругопластической.

Численным анализом пространственной системы «оболочка–основание» в случае неоднородных физико-механических свойств основания вдоль продольной оси цилиндрической оболочки установлено, что потеря устойчивости оболочки происходит на участке более слабого основания.

#### 2.1.9. – Строительная механика.

*Работа выполнена и защищена в Российской университет транспорта.*

**Бунькова Т. Г. Повышение ресурса пары «колесо–рельс» за счёт рационального подбора свойств материалов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2022. – 18 с.**

На сегодняшний день проблема повышения производительности и снижения себестоимости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте решается путём повышения осевой нагрузки и скорости движения подвижного состава. Практика эксплуатации вагонного парка показала повышение интенсивности изнашивания как колёс, так и рельсов, что, несомненно, отражается на безопасности движения поездов по железнодорожному полотну. Экспериментально установлено, что износостойкость трибоэлементов системы «колесо–рельс» в большей мере характеризуется твёрдостью их материалов. Многочисленные опыты по влиянию твёрдости на износ нередко осуществлялись для колеса и рельса обособленно друг от друга. Снизить износ колеса и рельса возможно путём поиска оптимума в соотношении

между твёрдостью колёсной и рельсовой стальной.

Цель исследования – повышение ресурса пары «колесо–рельс» за счёт рационального подбора свойств их материалов.

В теоретических исследованиях использованы основные положения трибологии, теории планирования эксперимента и математического моделирования. Экспериментальная часть работы базируется на методике определения износа колеса и рельса с использованием специально разработанного оборудования, методики определения твёрдости, металлографического анализа. Анализ полученных данных произведён в программных комплексах ANSYS, Statistica, MathCAD.

Научная новизна диссертационной работы:

- построены математические модели зависимости износа от параметров твёрдости трибосистемы «колесо–рельс», действующей осевой нагрузки и скорости движения вагона;
- предложен рациональный диапазон значений твёрдости стальной железнодорожного колеса и рельса, снижающих их износ и повышающих межремонтный пробег колеса;
- установлена зависимость износа колеса от пробега до образования проката браковочного значения при различных значениях твёрдости стальной колеса и рельса;
- определены эквивалентные напряжения и контактные давления колёс с номинальной и минимальной толщинами ободьев при наличии и отсутствии выщербины.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Произведён анализ дефектов, исключённых из эксплуатации колёсных пар «стандартных» и «твёрдых» колёс, который позволил выявить неоднозначную зависимость износостойкости и ресурса трибосистемы «колесо–рельс» от твёрдости стальной. С увеличением твёрдости стали колеса снижается процент дефектов – тонкий гребень и остроконечный накат гребня, но увеличивается процент отцепок по ползунам и выщербинам.

2. Предложена экспериментальная методика определения рационального соотношения твёрдости стальной рельса и колеса, учитывающая, переменные осевые нагрузки и скорости движения подвижного состава, которая позволяет спрогнозировать межремонтный период (пробег) колеса грузового вагона, и может

использоваться при проектировании нового подвижного состава и в качестве рекомендаций при производстве железнодорожного пути.

3. Выполнены экспериментальные исследования оценки зависимости износоустойчивости и ресурса пары «колесо–рельс» от соотношения твёрдости их сталей с использованием спроектированной установки.

4. Разработаны математические модели, позволяющие определить наименьший износ элементов в системе «колесо–рельс» и соотношение твёрдости их сталей, учитывающие скорости движения подвижного состава и действующие осевые нагрузки. Выявлено оптимальное соотношение твёрдости сталей колеса и рельса (360/360 НВ) при любых условиях эксплуатации, которое позволит снизить интенсивность изнашивания данных элементов и повысить ресурс и межремонтный пробег колеса грузового вагона в 1,5 раза.

5. Ожидаемый годовой экономический эффект при использовании предложенного соотношения твёрдости сталей колеса и рельса составит 1,37 тыс. руб. на единицу продукции (вагонное колесо).

*05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.*

*Работа выполнена и защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.*

**Ветчанин Е. В. Качественный анализ характерных особенностей поведения гидродинамических и неголономных систем с периодическими управлениями на основе конечномерных моделей / Автореф. дис... док. ф.-м. наук. – Ижевск: УдГУ, 2021. – 38 с.**

В настоящее время, благодаря развитию электроники и схемотехники, большое внимание уделяется разработке различных автономных и управляемых мобильных роботов, передвигающихся в водной (воздушной) среде или по твёрдым поверхностям.

Традиционным средством создания тяговой силы при перемещении в жидкости являются гребные винты, в применении которых были достигнуты существенные успехи, в основном благодаря потребностям оборонно-промышленного комплекса. Автономные обитаемые подводные аппараты, предна-

значенные для исследования океана, как правило, оснащаются гребными винтами.

В последние два десятилетия изучается идея самопродвижения в жидкости твёрдых тел за счёт движения внутренних масс или вращения внутренних роторов. При таком способе передвижения предполагается, что система может вообще не иметь внешних подвижных элементов. Отметим, что данный способ передвижения восходит к работам советского инженера В. Н. Толчина. Современные теоретические исследования данного способа передвижения представлены, в частности, в работе академика РАН В. В. Козлова, работе академика РАН Ф. Л. Черноушко и некоторых зарубежных работах.

Для реализации передвижения механических систем по твёрдым поверхностям традиционно используются колёсные и гусеничные приводы. Однако является интересной идея разработки сферических роботов, для управления движением которых также могут применяться внутренние роторы и подвижные внутренние массы.

С математической точки зрения задача об управлении движением механической системы с помощью внутренних масс и роторов сводится к выбору законов изменения положения центра масс, моментов инерции и гиросtatического момента системы. При этом законы управления, обеспечивающие движение в окрестности траекторий даже простой формы (прямая, дуга окружности), оказываются нетривиальными. С инженерной точки зрения наиболее простыми в реализации являются периодические законы управления. Отметим, что движение внутренних механизмов, в частности, периодическое, может приводить к возникновению параметрического резонанса, различных асимптотически устойчивых или хаотических режимов движения. Таким образом, наряду с задачей построения явных управлений (программных или на основе обратных связей) также возникают задачи исследования устойчивости движения и стабилизации частных движений.

Целью работы является анализ поведения динамических систем с периодическими управлениями на основе конечномерных моделей обыкновенных дифференциальных уравнений; выявление особенностей, характеризующих плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела с внутренним ротором и периодически изменяющейся цирку-



ляцией, твёрдого тела с подвижной внутренней массой, совершающей периодическое движение относительно тела, твёрдого тела, на которое действуют периодические внешние сила и момент силы, вращения твёрдого тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции, качения по плоскости уравновешенного и неуравновешенного сферических тел с периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом.

На основе аналитических и численных методов качественного анализа исследовано поведение конечномерных динамических систем с периодическими коэффициентами, описывающих:

- плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела с внутренним ротором при наличии периодически изменяющейся циркуляции;
- плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела с периодически движущейся внутренней массой при наличии постоянной циркуляции;
- плоскопараллельное движение в жидкости твёрдого тела под действием внешних периодических силы и момента сил при наличии постоянной циркуляции;
- вращение твёрдого тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции при постоянном гиристатическом моменте;
- качение уравновешенного и неуравновешенного сферического тела по плоскости без проскальзывания и верчения в случае периодически изменяющихся моментов инерции и гиристатического момента.

В предшествующих работах, положенных в основу диссертационного исследования, были достигнуты следующие результаты. Выполнен качественный анализ движения эллиптического профиля в идеальной жидкости под действием периодических колебаний ротора в присутствии постоянной циркуляции. Построено приближённое решение уравнений, описывающих движение кругового профиля в вязкой жидкости под действием периодического управления и периодически изменяющейся циркуляции. Выполнен компьютерный анализ движения эллиптического профиля в вязкой жидкости под действием периодического изменения гиристатического момента и периодически изменяющейся циркуляции.

Выполнен компьютерный анализ движения эллиптического профиля в вязкой жидкости при постоянной циркуляции и под действием колебаний внутренней материальной точки.

Проведён качественный анализ движения уравновешенного кругового профиля в идеальной жидкости под действием внешних периодических силы и момента сил. В работе автором проведено аналитическое и численное исследование движения эллиптического профиля в идеальной и вязкой жидкости под действием внешних периодических силы и момента сил, проанализированы интегрируемые случаи и их периодические возмущения.

Построены точные решения уравнений движения уравновешенного кругового профиля в жидкости под действием внешних периодических силы и момента сил в форме однократных и двукратных рядов. В работе автором исследовано явление асимптотической устойчивости по части переменных в математической модели, описывающей движение уравновешенного кругового профиля в идеальной жидкости под действием периодического внешнего момента сил с нулевой средней величиной.

Исследована динамика тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом, найдены резонансные частоты и построены диаграммы устойчивости.

Исследовано влияние трения и постоянного внешнего момента сил на динамику тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции.

На основе метода гармонического баланса аналитически построены границы областей неустойчивости для тела с неподвижной точкой и периодически изменяющимися моментами инерции.

Выполнена численная оценка устойчивости плоскопараллельных движений уравновешенного сферического тела с периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом, катящегося по плоскости без проскальзывания и верчения. Совместно с соавтором выполнен компьютерный анализ движения уравновешенного сферического тела с периодически изменяющимися моментами инерции и гиристатическим моментом, показана не консервативность динамики.

Автором выполнен анализ устойчивости верхнего положения равновесия неуравновешенного сферического тела, движущегося по плоскости без проскальзывания и верчения, за счёт периодически изменяющегося гиросtatического момента, а совместно с соавторами выполнен анализ устойчивости нижнего положения равновесия неуравновешенного сферического тела, движущегося по плоскости без проскальзывания.

*01.02.01 – Теоретическая механика.*

*Работа выполнена на кафедре теоретической физики Удмуртского государственного университета, защищена в Московском авиационном институте (Национальный исследовательский университет) (МАИ).*

**Дунаев А. М. Автоматизированная подсистема диагностирования электрооборудования преобразователей частоты / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Иркутск: ИРНТУ, ИрГУПС, 2022. – 16 с.**

Важной задачей в сфере автоматизации и управления технологическими процессами и производствами является обеспечение надёжности функционирования сложного электрооборудования (ЭО), к которому принадлежат силовые полупроводниковые преобразователи частоты (ПЧ), входящие в состав частотно-регулируемых электроприводов общепромышленного электрооборудования. К означенной технике, в частности, относятся асинхронные электроприводы подъёмных кранов, конвейеров, насосов, вентиляторов, металлорежущих станков и промышленных роботов. Кроме того, значительное количество технологического оборудования для производства и ремонта имеет в своём составе современные частотно-регулируемые электроприводы.

Преобразователи частоты являются самым сложным электрооборудованием современного частотно-регулируемого электропривода, поскольку имеют в своём составе силовые полупроводниковые диоды и транзисторы, а также микропроцессорную систему управления ПЧ, включая систему управления всего электропривода.

Решению проблемы сокращения сроков и повышения качества диагностирования означенного сложного оборудования может послужить использование методов техниче-

ской диагностики. Логические алгоритмы методов данного класса представляют собой алгоритмы, использующие аппарат математической логики. Математическая модель объекта диагностирования (ОД) рассматривает ОД как систему связанных между собой функциональных элементов, которые могут находиться в одном из двух состояний: 0 – не в норме, 1 – в норме.

В настоящее время наиболее трудоёмкими составляющими процесса диагностирования являются оценка ситуации и принятие решения, что объясняется постоянно возрастающими объёмами информации, которую необходимо учитывать для повышения объективности оценки ситуации, а также эвристическим характером знаний, позволяющих эксперту получать качественные и эффективные решения поставленных задач. В связи с данными обстоятельствами, возникает необходимость комплексной автоматизации процесса сбора информации и принятия решения, для осуществления которой представляется перспективным использовать интеллектуальные системы, разработанные на основе применения логических методов технической диагностики и методологии экспертных систем (ЭС).

Целью работы является создание автоматизированной подсистемы диагностирования электрооборудования преобразователей частоты, повышающей эффективность процесса поиска неисправностей.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые:

1. Предложены логические алгоритмы диагностирования электрооборудования с учётом его технических состояний, отличающиеся от известных алгоритмов половинного деления правилами выбора первой проверки в объекте диагностирования.

2. Разработана процедура построения дерева оптимального логического алгоритма диагностирования электрооборудования.

3. Построено дерево оптимального логического алгоритма диагностирования преобразователей частоты, отличающегося от известных алгоритмов диагностирования минимальным показателем средних затрат диагностирования.

4. Разработана структура базы знаний экспертного комплекса для диагностирования электрооборудования преобразователей частоты, опирающаяся на предложенный опти-



мальный логический алгоритм диагностирования.

Выводы и результаты работы получены с использованием математического аппарата булевой алгебры, методов оптимизации, технологии программирования на языках высокого уровня, технологии разработки экспертных систем.

При выполнении диссертации получены следующие основные результаты:

1. Проанализировано современное состояние методов и систем диагностирования электрооборудования, включая оборудование электроприводов переменного тока.

2. На основании выполненного анализа предложены структура и алгоритмы функционирования автоматизированной подсистемы диагностирования электрооборудования преобразователей частоты.

3. Разработаны новые логические алгоритмы диагностирования электрооборудования, отличающиеся от известных алгоритмов правилами выбора первой проверки и большей эффективностью в применении к преобразователям частоты.

4. Предложена процедура построения оптимального логического алгоритма диагностирования электрооборудования преобразователей частоты. Разработан оптимальный логический алгоритм диагностирования преобразователей частоты, отличающийся минимальными затратами времени.

5. С опорой на оптимальный алгоритм разработана структура базы знаний экспертного комплекса для диагностирования электрооборудования преобразователей частоты.

6. В соответствии с предложенными структурой и алгоритмами функционирования реализована автоматизированная подсистема диагностирования электрооборудования преобразователей частоты, используемых в промышленности. Подсистема позволяет осуществлять диагностирование в режиме реального времени и в режиме консультационной помощи.

7. Аprobация реализованной подсистемы показала, что её применение к реальному электрооборудованию преобразователей частоты позволяет обеспечить в среднем трёхкратное сокращение времени диагностирования и наладки.

*2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).*

*Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» («ИРНИТУ»), защищена в Иркутском государственном университете путей сообщения» («ИрГУПС»).*

**Першин Н. В. Автоматизация управления перевозками сжиженного природного газа морским транспортом / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2021. – 23 с.**

Арктическая зона, богатая природным газом, нуждается в создании эффективных транспортно-логистических систем по безопасному, бесперебойному и экономически рациональному вывозу углеводородного сырья. Развитие Северного морского пути, как исторически сложившейся национальной единой транспортной коммуникации Российской Федерации в Арктике, а также возрастающая добыча, переработка и транспортировка природного газа в данном регионе требуют создания автоматизированной системы управления, обеспечивающей экономически эффективную и безопасную перевозку сжиженного природного газа (далее – СПГ), что определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования – разработка принципов построения автоматизированной системы управления перевозками СПГ морским транспортом, обеспечивающей безопасную и экономически эффективную доставку природного газа.

Использованы методы системного анализа, теории управления, теории вероятности, исследования операций и математической статистики, теории оптимизации.

Научная новизна диссертации:

- на основании анализа существующих методов планирования и управления перевозками СПГ морским транспортом показана экономическая целесообразность создания автоматизированной системы управления;
- впервые показана и обоснована на базе обработки статистических данных зависимость производительности завода по производству СПГ от метеорологического фактора;
- необходимость разработки и развития автоматизированных систем управления перевозками СПГ морским транспортом впервые обоснована результатами обработки статистических данных объёмов потребления СПГ;

- впервые разработана математическая модель, позволяющая анализировать временные потери при взаимодействии заводов-изготовителей и погрузочных операций танкеров-газовозов;

- для анализа динамики функционирования системы управления перевозками СПГ морским транспортом при наличии возмущений определены вероятности нахождения танкеров-газовозов у завода по производству СПГ в условиях возможности их полной загрузки и отсутствия временных потерь, позволяющие вырабатывать соответствующие управления в автоматизированной системе;

- на основе проведённого анализа движения танкеров-газовозов в стеснённых водах, производительности заводов по производству СПГ, стоимости СПГ, ежесуточной фрахтовой ставки танкеров-газовозов поставлена и решена оптимизационная задача выбора времени подхода танкера-газовоза на вход в стеснённые воды, обеспечивающего минимизацию экономических затрат;

- разработаны и обоснованы принципы построения автоматизированной системы управления перевозками СПГ морским транспортом, включающие алгоритмы планирования и способы реализации выполнения графика движения танкеров-газовозов для вывоза СПГ в режиме реального времени за счёт поступления оперативной информации от объектов перевозочного процесса.

Основные результаты следующие:

1. Проведённый анализ методов планирования и управления перевозками СПГ морским транспортом показал наличие в настоящее время методов разработки логистических схем перевозки СПГ, построения графиков перевозок СПГ, экономически обоснованного способа транспортировки СПГ из районов с суровыми климатическими условиями, способов транспортировки СПГ. Вместе с тем, в мировой практике отсутствуют автоматизированные системы планирования и управления перевозками СПГ морским транспортом, в которых могут быть использованы перечисленные выше разработки. Проведённый анализ позволил сформулировать требования к автоматизированной системе управления.

2. Проведено исследование производительности заводов по производству СПГ (на примере производственного комплекса проекта «Сахалин-2», расположенного в п. Пригородное на острове Сахалин), в ходе

которого установлена зависимость производительности СПГ-завода от метеорологического фактора, что оказывает существенное влияние на процесс транспортировки СПГ и должно, в отличие от известных методов, учитываться при планировании перевозок СПГ и построения графиков движения танкеров-газовозов.

3. Статистическое исследование динамики потребления СПГ в мире показало:

- увеличение количества потребляемой энергии от рассматриваемых СПГ-терминалов с 2014 до 2018 гг. на 22 % и скачок в 2019 г. на 45 %, по сравнению с 2018 г.;

- преобладающее воздействие на ценообразование (импорт и экспорт) СПГ стоимости нефти, по сравнению с конкуренцией источников газа;

- рост потребления СПГ подтвердил актуальность и необходимость создания автоматизированной системы управления перевозками СПГ морским транспортом.

4. Разработана математическая модель «Танкер-газовоз – Завод по производству сжиженного природного газа», базирующаяся на теории марковских процессов, позволяющая определить вероятность нахождения танкера-газовоза в точке загрузки сырьём при различных погодных условиях и вероятность наличия СПГ в резервуарах завода-изготовителя.

5. Исследование динамики функционирования системы управления перевозками СПГ морским транспортом показало, что:

- вероятность наличия СПГ на заводе по производству СПГ при работе трёх технологических линий и нахождения танкера-газовоза у завода по производству СПГ в летнее время выше соответствующей вероятности на 29 %, по отношению к условиям зимы;

- увеличение числа технологических линий завода по производству СПГ от одной до двух приводит к уменьшению вероятности простоя танкера-газовоза на 29 % летом и на 35 % зимой;

- увеличение числа технологических линий завода по производству СПГ от одной до трёх приводит к уменьшению вероятности простоя танкера-газовоза на 43 % летом и на 48 % зимой, по отношению к одной технологической линии.

6. Проведён анализ движения танкеров-газовозов в стеснённых водах при различных



гидрометеорологических условиях, на основании которого поставлена и решена задача выбора времени подхода танкера-газовоза на вход в стеснённые воды по критерию минимума экономических затрат методом оптимума-номинала.

7. Разработаны принципы построения, структура, алгоритмы функционирования автоматизированной системы управления перевозками сжиженного природного газа морским транспортом, позволяющие снижать убытки при транспортировке СПГ из замерзающих морей Арктической зоны путём исключения простоя танкеров-газовозов при погрузке и большого по времени хранения СПГ в резервуарах из-за его ежесуточной испаряемости.

8. Эффективность результатов работы подтверждается их использованием в компаниях Группы «Газпром» и включением в учеб-

ный процесс университетов Российской Федерации (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»).

В качестве рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки темы диссертации предлагается решение оптимизационной задачи для полного цикла движения танкера-газовоза от СПГ-завода до СПГ-терминала с разработкой соответствующей автоматизированной системы управления.

*2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.*

*Работа выполнена и защищена в Российскойском университете транспорта.* ●

## НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

*Список на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.*

*The list of titles in English is published in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-16>

Ашихмин С. А., Ашихмина Е. А. Техническое обслуживание автомобилей: Учебник. – М.: Академия, 2022. – 252 с. ISBN 978-5-0054-0267-7.

Варис В. С. Устройство автомобиля: Учебник. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2022. – 425 с. ISBN 978-5-4488-1367-2.

Герани В. Д., Колик А. В. Городская логистика. Грузовые перевозки: Учебник для вузов. – М.: Юрайт, 2022. – 342 с. ISBN 978-5-534-15024.

Еремеева Л. Э. Интермодальные и мультимодальные перевозки: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2022. – 221 с. ISBN 978-5-16-014609-6 (print).

Иванов А. М., Солнцев А. Н., Гаевский В. В. [и др.]. Основы конструкции современного автомобиля: Учебник. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Инжиниринговый научно-образовательный центр «СМАРТ», 2022. – 344 с. ISBN 978-5-9500975-1-5.

Козлова Л. Н. Немецкий язык: эксплуатация автомобильного транспорта и безопасность движения: Учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 2022. ISBN 978-5-907570-30-6.

Креп В. Г., Рудаченко А. В., Шмурыгин В. А. Машины и оборудование газонефтепроводов: Учеб. пособие. – 2-е изд. – Саратов: Профобразование, 2022. – 432 с. ISBN 978-5-4488-1346-7.

Лаврова А. Ю. Проектирование участка автомобильной дороги: Учебно-методическое пособие / Под общ. ред. О. А. Бендера, Д. А. Разуваева. – Новосибирск: Изд-во Сибирского гос. ун-та путей сообщ., 2022. – 92 с. ISBN 978-5-00148-267-3.

Малахов Д. С. За рулём без страха и сомнений: узнайте, как избавиться от страха и сомнений при вождении автомобиля, как обрести 100 проц. уверенность за рулём, не навредить кучу штрафов и не попасть в аварию, полагаясь только на себя. – М.: Перо, 2022. – 86 с. ISBN 978-5-00204-207-4.

Модестова С. А., Лягова А. А., Пшенин В. В. Эксплуатация насосных и компрессорных станций: Учеб. пособие. – СПб.: Лема, 2022. – 92 с. ISBN 978-5-00105-712-3.

Новиков Н. Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем. – М.: Физматлит, 2022. – 559 с. ISBN 978-5-9221-1908-5.

Петухов М. Ю. Эксплуатационные свойства автомобилей. Тяговоскоростные свойства и топливная экономичность. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2022. – 60 с. ISBN 978-5-398-02755-6.

Синельников А. Ф. Текущий ремонт грузовых автомобилей: Учебник. – М.: Академия, 2022. – 301 с. ISBN 978-5-0054-0227-1.

Тарасик В. П. Теория движения автомобиля: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 576 с. ISBN 978-5-9775-6817-3.

Ушаков Л. С., Антипов В. В., Божанов А. А. [и др.]. Технологическая машина для проведения горных работ и тоннелей: обоснование концепции: Монография. – Орёл: ОГУ им. И. С. Тургенева, 2022. – 103 с. ISBN 978-5-9929-1164-0.

Харченко С. Г., Жижин Н. К., Кучер Д. Е. Риски и проблемы развития сетей 5G в России: Монография / Под ред. д.ф.-м.н. С. Г. Харченко. – М.: МАКС Пресс, 2022. – 102 с. ISBN 978-5-317-06740-3.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●