

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL
JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL
RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,593
Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,299

№ 6 2025
Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru
The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
к.м.н. *Н.Ю. Стукова*
Ответственный секретарь
к.м.н. *М.Н. Бизенкова*

EDITOR
Natalia Stukova
Senior Director and Publisher
Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент Хайдаров А.Г. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного
цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,593.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,299.

Учредитель, издатель и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова
Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина
Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 30.06.2025
Дата выхода номера – 30.07.2025

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространяется по свободной цене

Усл. печ. л. 4,75
Тираж 500 экз.
Заказ МЖПиФИ 2025/6

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

КЛИНИЧЕСКИЕ МАСКИ IGM-НЕФРОПАТИИ

Долганина Д.Е., Гуранова Н.Н., Усанова А.А., Фазлова И.Х., Радайкина О.Г. 5

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Белехов А.А., Тагильцев С.Р., Никуленков Д.В., Тумашевич Д.Г. 11

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕСОВОГО И ГАБАРИТНОГО КОНТРОЛЯ

Голов Е.В., Черкашин С.Н., Петров С.В. 18

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНО-ПЛОТНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ БИНАРНОЙ СМЕСИ ПРИ ВОЗМУЩЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ОДНОГО ИЗ КОМПОНЕНТОВ НА ГРАНИЦЕ

Емельянов В.М., Леднев А.К. 24

О ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Сенницкий В.Л. 29

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ФАРМАЦИИ

Трубицына И.М., Василенко И.А. 33

CONTENTS

MEDICAL SCIENCES

CLINICAL CASE

CLINICAL MASKS OF IGM-NEPHROPATHY

Dolganina D.E., Guranova N.N., Usanova A.A., Fazlova I.Kh., Radaykina O.G. 5

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

THE ROAD SAFETY MANAGEMENT SYSTEM ON EXAMPLE OF THE LENINGRAD REGION

Belekhov A.A., Tagiltsev S.R., Nikulenkov D.V., Tumashevich D.G. 11

IMPROVEMENT OF THE AUTOMATIC WEIGHT AND DIMENSIONAL CONTROL SYSTEM

Golov E.V., Cherkashin S.N., Petrov S.V. 18

DYNAMICS OF TEMPERATURE-DENSITY INHOMOGENEITY IN A CLOSED DOMAIN OF A SUPERCRITICAL BINARY MIXTURE UNDER PERTURBATION OF THE CONCENTRATION OF ONE OF THE COMPONENTS AT THE BOUNDARY

Emelyanov V.M., Lednev A.K. 24

ON THE POSSIBILITY OF A MOTION SYNCHRONIZATION OF SOLID PARTS OF A HYDRO-MECHANICAL SYSTEM WITH A VISCOUS LIQUID

Sennitskiy V.L. 29

PHARMACEUTICAL SCIENCES

ARTICLE

VALIDATION OF METHODS FOR DETERMINING THE COMPOSITION OF FATTY ACIDS IN PHARMACY

Trubitsyna I.M., Vasilenko I.A. 33

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

УДК 616.61-002.252

КЛИНИЧЕСКИЕ МАСКИ IGM-НЕФРОПАТИИ

Долганина Д.Е., Гуранова Н.Н., Усанова А.А., Фазлова И.Х., Радайкина О.Г.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: dolganina.dasha@mail.ru

IgM-нефропатия (IgMN) – редкая и недостаточно изученная форма гломерулопатии, характеризующаяся отложением иммуноглобулина М в мезангии почечных клубочков. Заболевание имеет переменное течение – от бессимптомной протеинурии до быстро прогрессирующей почечной недостаточности. В статье представлен клинический случай молодой женщины, у которой дебют заболевания проявился тяжелым нефротическим синдромом с массивной протеинурией, гипоальбуминемией и отеками. В дальнейшем развился нефротический криз с анасаркой, рефрактерной артериальной гипертензией и олигурией, что привело к летальному исходу. Особенностью данного случая стало наличие аутоиммунных серологических маркеров (антиядерных антител (АНА) и антител к двуспиральной ДНК (anti-dsDNA)), что изначально имитировало системную красную волчанку. Решающую роль в диагностике сыграла чрескожная нефробиопсия, выявившая мезангиальные IgM-депозиты при отсутствии признаков волчаночного нефрита. Несмотря на своевременную начатую иммуносупрессивную терапию, отмечалось стремительное прогрессирование заболевания до терминальной стадии хронической болезни почек (ХБП) с необходимостью заместительной почечной терапии. Этот случай подчеркивает важность ранней морфологической верификации диагноза при IgMN, что позволит оптимизировать лечение и разработать персонализированные протоколы ведения пациентов. Дальнейшее изучение подобных случаев необходимо для понимания патогенеза IgMN, определения прогностических факторов и разработки эффективных терапевтических стратегий.

Ключевые слова: IgM-нефропатия, нефротический синдром, терминальная почечная недостаточность, нефротический криз, иммуносупрессивная терапия

CLINICAL MASKS OF IGM-NEPHROPATHY

Dolganina D.E., Guranova N.N., Usanova A.A., Fazlova I.Kh., Radaykina O.G.

National Research Mordovian State University named after N.P. Ogareva, Saransk, e-mail: dolganina.dasha@mail.ru

IgM-nephropathy (IgMN) is a rare and insufficiently studied form of glomerulopathy characterized by the deposition of immunoglobulin M in the mesangium of the renal glomeruli. The disease has a variable course, from asymptomatic proteinuria to rapidly progressive renal failure. The article presents a clinical case of a young woman in whom the onset of the disease was manifested by severe nephrotic syndrome with massive proteinuria, hypoalbuminemia and edema. Later, a nephrotic crisis developed with anasarca, refractory arterial hypertension and oliguria, which led to death. A special feature of this case was the presence of autoimmune serological markers (antinuclear antibodies (ANA) and antibodies to double-stranded DNA (anti-dsDNA)), which initially mimicked systemic lupus erythematosus. Percutaneous nephrobiopsy played a crucial role in the diagnosis, revealing mesangial IgM deposits in the absence of signs of lupus nephritis. Despite timely initiation of immunosuppressive therapy, the disease rapidly progressed to the terminal stage of chronic kidney disease with the need for renal replacement therapy. This case highlights the importance of early morphological verification of the IgMN diagnosis, which will optimize treatment and develop personalized patient management protocols. Further study of such cases is necessary to understand the pathogenesis of IgMN, identify prognostic factors, and develop effective therapeutic strategies.

Keywords: IgM-nephropathy, nephrotic syndrome, end-stage renal failure, nephrotic crisis, immunosuppressive therapy

Введение

IgMN – редкая клинико-морфологическая форма гломерулопатии, характеризующаяся отложением IgM в мезангии клубочков. Заболевание может встречаться как у детей, так и у взрослых, чаще проявляется идиопатическим нефротическим синдромом [1-3].

Впервые IgMN была описана в 1978 г. [4]. При морфологическом исследовании биоптатов характерны мезангиальная гиперклеточность и отложения IgM и C3 при иммунофлуоресцентном анализе (ИФА) [5]. Вопрос о самостоятельности этой нозологии остаётся дискуссионным: одни исследо-

ватели считают её промежуточной формой между болезнью минимальных изменений (БМИ) и фокально-сегментарным гломерулосклерозом (ФСГС), другие – отдельной формой гломерулонефрита [1; 6].

Частота IgMN, по данным разных центров, варьирует от 2 до 18,5% [1; 3]. В среднем IgMN диагностируют у 2% пациентов с хроническим гломерулонефритом, подтвержденным биопсией почки. Протекает с высокой клинической активностью, часто дебютирует нефротическим синдромом. Морфологически может представлять собой как мезангиопролиферативный гломерулонефрит, так и БМИ [7; 8].

Патогенез IgMN окончательно не ясен [4]. Предполагается участие иммунных комплексов и активация комплемента (C1q, C4, C3), а также нарушения в работе Т-лимфоцитов и клиренсе иммунных комплексов [3].

Клинические проявления варьируют от бессимптомной протеинурии до выраженного нефротического синдрома с анасаркой, гипоальбуминемией и гиперлипидемией [8; 9].

Возможны системные проявления, требующие дифференциальной диагностики с системными аутоиммунными заболеваниями, в первую очередь – системной красной волчанкой (СКВ), мембранозным нефритом, васкулитами АНЦА-ассоциированного спектра [10].

Основу терапии составляют нефропротективные меры, включающие ограничение соли и жидкости, приём диуретиков, ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента (иАПФ) или блокаторов рецепторов ангиотензина II (БРАП), которые способствуют снижению внутриклубочкового давления и уменьшению протеинурии [11; 12]. Глюкокортикостероиды (ГКС) являются препаратами первой линии, однако у взрослых пациентов нередко наблюдается стероидрезистентность [13; 14, с. 138]. При неэффективности монотерапии ГКС возможен переход к иммуносупрессивной терапии второго ряда – цитостатикам и ритуксимабу [15].

У 5–15% пациентов развивается терминальная стадия ХБП в течение 10–15 лет. Возможны рецидивы после трансплантации почки, тромбозы глубоких вен и тромбозомболия легочной артерии (ТЭЛА) при тяжёлом нефротическом синдроме [5; 16].

С целью систематизации данных о данной патологии, разработки четких диагностических критериев и унификации подходов к лечению пациентов Национальная ассоциация нефрологов инициировала создание базы клинических случаев. Этот банк данных регулярно обновляется и пополняется новой информацией.

Цель исследования: анализ клинического случая IgMN для выявления ключевых диагностических и прогностических маркеров, роли биопсии в верификации диагноза и междисциплинарного подхода при тяжёлом течении заболевания.

Материал и методы исследования

Проведен ретроспективный анализ клинического случая пациентки, находившейся на лечении в нефрологическом отделении ГБУЗ РМ «МРЦКБ» (г. Саранск). Исследование включало детальное изучение анам-

неза, динамики развития патологии, данных лабораторной диагностики (биохимический анализ крови, общий анализ мочи, иммунологические маркеры) и инструментальных методов (ультразвуковое исследование (УЗИ) почек, биопсия с иммуногистохимией), а также оценку эффективности применяемой терапии.

Результаты исследования и их обсуждение

Пациентка Н., 37 лет, поступила 06.08.2024 с жалобами на одышку при минимальной нагрузке, отёки нижних конечностей, повышение АД до 200/100 мм рт. ст., общую слабость. В анамнезе заболевания почек отрицает, патологий мочи ранее не было. С 01.07.2024 самостоятельно принимала нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП) по поводу артралгий. С 16.07.2024 – прогрессирующее ухудшение состояния: нарастание отёков, одышки. Была госпитализирована в РКБ им. Каткова, где выявлены: протеинурия 7,28 г/сут., креатинин – 250 мкмоль/л, мочевины – 11,5 ммоль/л. После лечения (медицинские документы не были предоставлены) отмечена частичная положительная динамика.

30.07.2024 при консультации в ГБУЗ РМ «МРЦКБ» проведено дообследование: креатинин 148 мкмоль/л, мочевины 11,6 ммоль/л, гипоальбуминемия (альбумин 25 г/л), протеинурия 0,9 г/л, микрогематурия, анемия (Hb 103 г/л), СОЭ 20 мм/ч, гидроторакс по данным УЗИ плевры, гидроторакс по эхокардиоскопии (ЭХОКС).

В анамнезе жизни – без особенностей, в процессе опроса выявлено, что мать умерла от почечной патологии.

По результатам осмотра – состояние средней тяжести, пастозность лица и нижних конечностей, частота сердечных сокращений (ЧСС) – 78 уд./мин., артериальное давление (АД) – 170/100 мм рт. ст., частота дыхательных движений (ЧДД) – 17 в минуту, SpO₂ – 99%. Данные объективного осмотра органов дыхания, желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), мочевыделительной и сердечно-сосудистой системы (ССС) – без выраженных отклонений. Диурез – около 1200 мл/сут.

Учитывая женский пол, возраст, нефротический синдром и положительный семейный анамнез, заподозрена СКВ. Проведено лабораторное обследование: положительные АНА и anti-dsDNA. С 06.08.2024 начата иммуносупрессивная терапия: пульс-терапия метилпреднизолоном 1000 мг/сут. (3 дня), затем переход на преднизолон 50 мг/сут. перорально.

Таблица 1

Показатели общего анализа мочи в динамике

	06.08.2024	22.08.2024	03.09.2024	11.09.2024	23.09.2024
Цвет (желтый)	Желтый	Желтый	Желтый	Желтый	Желтый
Прозрачность (прозрачная)	Слабо мутная	Слабо мутная	Мутная	Мутная	Мутная
Удельный вес (1,010 – 1,020)	1,009	1,010	1,014	Мало мочи	Мало мочи
Реакция (слабокислая)	Кислая	Кислая	Кислая	Кислая	Кислая
Белок (г/л)	1,7	0,740	2,4	2,4	7,2
Лейкоциты (0-6 в п/зр)	7-9	1-2	1-2	2-4	2-4
Эритроциты измененные (не обнаружено)	45-55	10-14	В большом количестве	47-55	В большом количестве
Эритроциты неизмененные (0-2 в п/зр)		2-4	9-10		4-6
Плоский эпителий (0-3 в п/зр)	2-3	0-1	0-1	0-1	1-2

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Показатели общего анализа крови в динамике

	06.08.2024	13.08.2024	23.08.2024	02.09.2024	10.09.2024	23.09.2024
Гемоглобин (г/л)	73	74	75	62	111	74
Эритроциты ($\times 10^{12}/л$)	2,60	2,58	2,53	1,99	3,58	2,37
Гематокрит (%)	21,6	21,9	22,8	18,7	34,1	22,3
Тромбоциты ($\times 10^9/л$)	60 по Фолио	138	123	88	145	30 по Фолио
Лейкоциты ($\times 10^9/л$)	2,9	8,2	13,5	13,6	12,2	7,0
Лимфоциты (%)	21	15	10	7	3	5
СОЭ (мм/ч)	66	34	50	49	20	68

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

По данным динамического наблюдения за лабораторными показателями, в общем анализе мочи неуклонно продолжали нарастать протеинурия (7,2 г/л) и гематурия (табл. 1).

В общем анализе крови отмечалось снижение гемоглобина, тромбоцитов, эритроцитов и лимфоцитов, а также повышение СОЭ и снижение лейкоцитов, что свидетельствовало о сохраняющейся иммуновоспалительной активности на фоне терапии.

Кратковременное улучшение динамики после гемотрансфузии от 02.09.2024 сменилось повторным снижением показателей (табл. 2).

В биохимическом анализе крови отмечалось снижение общего белка и альбумина, рост креатинина и мочевины, указывающие на ухудшение почечной функции. После пульс-терапии метилпреднизолоном (06–08.08) к 13.08 наблюдалась временная положительная динамика, но затем показа-

тели резко ухудшились. К 23.09.2024 диагностирована терминальная почечная недостаточность (табл. 3).

31.08.2024 у пациентки появились общая слабость, редкий кашель со слизистой мокротой, температура до 39,4°C утром. Проведены компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК) и ИФА мазка ротоглотки на антиген SARS-CoV-2. КТ ОГК выявила двустороннюю полисегментарную пневмонию (рис. 1А), гидроперикард, утолщение левого желудочка (рис. 1Б). ИФА на антиген SARS-CoV-2 – отрицательный. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) от 02.09.2024 выявила COVID-19.

При отсутствии улучшения на фоне терапии ГКС, сохраняющейся анемии, ускорении скорости оседания эритроцитов (СОЭ) и нарушении функции почек (креатинин 177–173 мкмоль/л, скорость клубочковой фильтрации (СКФ) 31 мл/мин.) продолжен поиск основной болезни.

Таблица 3

Биохимические показатели крови в динамике

	06.08.2024	13.08.2024	27.08.2024	02.09.2024	10.09.2024	23.09.2024
Общий белок (г/л)	43,8	36,4	42,9	43,5	44,7	38
Мочевина (ммоль/л)	11,6	20,7	22,4	21,8	38,8	38,4
Креатинин (мкмоль/л)	215	177	222	264	189	438
Мочевая кислота (мкмоль/л)	445,6		410,1			
Глюкоза (ммоль/л)	4,72	4,51	4,79			
Холестерин (ммоль/л)	5,56					
Альбумин (г/л)	19,2	17,0	21,1		24,2	
СКФ (мл/мин.)	24,6	31,0	23,7	19,2	28,7	10,4

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.



(A)



(B)

Рис. 1. КТ ОГК, аксиальный срез (A), фронтальный срез (B)

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования



(A)



(B)

Рис. 2. Рентгенограмма черепа в боковой (A) и прямой (B) проекциях

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Исключён антифосфолипидный синдром (отрицательные антитела к $\beta 2$ -гликопротеину, кардиолипину, фосфолипидам от 20.08.2024). Для исключения множественной миеломы 11.09.2024 исследована моча на белок Бенс-Джонса – положительно. Рентгенография черепа без костных деструкций, выявлено снижение пневматизации в левой верхнечелюстной пазухе с жидкостью (рис. 2). Стернальная пункция (12.09.2024) – нормальная клеточность, без гематологической патологии.

Для исключения системных васкулитов (гранулематоз Вегенера, синдром Чарджа – Стросса) исследованы антитела к миелопероксидазе (MPO) и протеиназе 3 (PR3) – отрицательные. КТ придаточных пазух носа подтвердила левосторонний гайморит.

Наличие выраженной протеинурии, гипопротейнемии и гиперхолестеринемии, соответствующих нефротическому синдрому, потребовало дифференциальной диагностики с амилоидозом. 18.09.2024 г. выполнена чрескожная пункционная нефробиопсия. По гистологии (23.09.2024) верифицирован фокальный пролиферативный и склерозирующий гломерулонефрит с преимущественным свечением IgM в мезангии.

Основное лечение – патогенетическая терапия: пульс-терапия метилпреднизолоном (1000 мг/сут. внутривенно капельно 06–08.08.2024), затем преднизолон перорально с дозой 50 мг/сут. Симптоматическая терапия включала диуретики (фуросемид), гастропротекторы (омепразол), аллопуринол, гипотензивные (лозартан, амлодипин), антикоагулянты (гепарин), трансфузионную поддержку.

20.09.2024 г. отмечено резкое ухудшение: интенсивная боль и распирающие в верхней трети левого бедра, геморрагические высыпания, субфебрильная лихорадка (37,4 °C), выраженные отеки лица, конечностей и передней брюшной стенки, боли в нижнем животе. При осмотре – разлитая гиперемия кожи с везикулярными геморрагическими элементами, напоминающими рожистое воспаление, локальная гипертермия, генерализованные отеки (анасарка).

Цветовое дуплексное сканирование (ЦДС) вен нижних конечностей показало сохранённую проходимость глубоких и поверхностных вен, признаки выраженного лимфостаза левой голени и бедра.

На фоне нефротического синдрома развились выраженная гипергидратация с анасаркой, рожеподобные высыпания и перитонизм, соответствующие нефротическому кризу. Принято решение о сеансах интермиттирующего гемодиализа с ультрафильтрацией.

24.09.2024 г. при прогрессировании одышки и анасарки после ультрафильтрации пациентка переведена в отделение реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), где проводилась симптоматическая терапия, респираторная поддержка и коррекция жизненно важных функций.

Несмотря на лечение, состояние ухудшалось: усиливалась слабость, нарастала дыхательная недостаточность с эпизодами выраженной одышки, потребовавшая экстренной интубации трахеи. Через 5 часов после перевода в ОРИТ зафиксирована асистолия. Реанимационные мероприятия длились 30 минут без восстановления эффективной сердечной деятельности.

В 17:40 того же дня констатирована биологическая смерть пациентки Н.

При патологоанатомическом вскрытии выявлены бледные кожные покровы с рассеянной мелкопетехиальной геморрагической сыпью на туловище и конечностях, постинъекционные подкожные кровоизлияния на передней брюшной стенке, умеренные отеки лица, туловища и верхних конечностей. В полости перикарда – 150 мл прозрачной желтоватой жидкости. Паранефральная жировая клетчатка умеренно развита, однородная, светло-желтая. Почки пестро-желтые с сохранением коркового и мозгового вещества; корковое вещество 0,4–0,7 см, пирамиды ярко-красные, набухшие.

Гистологически: очаги геморрагического пропитывания в паранефральной жировой клетчатке; часть клубочков с неравномерным утолщением капиллярных петель, сращением и облитерацией просветов, отдельные склерозированы; в мочевых пространствах – гомогенные слабоэозинофильные массы; строма с очагами хронической мононуклеарной инфильтрации.

Патологоанатомическое исследование подтвердило клинический диагноз.

Основной: хронический гломерулонефрит, смешанная форма, тяжелое непрерывно рецидивирующее течение (морфологически – фокальный пролиферативный и склерозирующий гломерулонефрит с преимущественным свечением IgM), обострение. Иммуносупрессивная терапия («пульс» – терапия метилпреднизолоном, прием ГКС). Пункционная чрескожная нефробиопсия от 18.09.2024 г. Сеансы изолированной ультрафильтрации.

Осложнение: нефротический синдром, персистирующее течение. Нефротический криз (перитонизм, рожеподобные высыпания) от 20.09.2024 г. Тромбоцитопения. Гиперурикемия. ХБП С5 А4 (СКФ – 10 мл/мин.).

Сопутствующий: госпитальная двусторонняя полисегментарная пневмония, не-

тяжелое течение, ст. разрешения. ДН 0. Гемотрансфузия от 02.09.2024 г., 24.09.2024 г. Новая коронавирусная инфекция, вирусидентифицированная (ПЦР+ от 02.09.2024 г., отр. от 17.09.2024 г.), нетяжелое течение. Одонтогенный хронический синусит.

Заключение

Данное наблюдение иллюстрирует сложность диагностики IgMN у молодой пациентки с нефротическим синдромом. Неспецифичная клиника, включая женский пол, молодой возраст и положительные АНА и анти-dsDNA, изначально предполагала системную красную волчанку. Однако отсутствие ответа на ГКС и результаты нефробиопсии – фокальный пролиферативный и склерозирующий гломерулонефрит с доминирующим отложением IgM – подтвердили диагноз IgMN.

IgMN требует исключения аутоиммунных заболеваний даже при наличии серологических маркеров. Биопсия почки – золотой стандарт, особенно при резистентности к терапии. Летальный исход подчеркивает высокий риск нефротического криза и необходимость новых методов лечения, таких как таргетная иммуносупрессия или ингибиторы комплемента, для улучшения прогноза.

Список литературы

- Шорманов И.С., Жигалов С.А., Соловьёв А.С., Бажина О.В., Горохов И.А. IgM-нефропатия на фоне лимфомы Ходжкина: клинический случай и обзор литературы // Пациентоориентированная медицина и фармация. 2024. № 2 (2). С. 58-64. DOI: 10.37489/2949-1924-0051. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/igm-nefropatiya-na-fone-limfomy-hodzhkina-klinicheskii-sluchay-i-obzor-literatury> (дата обращения: 15.04.2025).
- Park K.S., Kang E.W., Kie J.H. A case report of immunoglobulin M nephropathy manifesting as crescentic glomerulonephritis and nephrotic syndrome in an adult // BMC nephrology. 2019. Vol. 20 Is. 1. P. 335. DOI: 10.1186/s12882-019-1528-2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31455257/> (дата обращения: 15.04.2025).
- Mubarak M., Kazi J.I. IgM nephropathy revisited // Nephro-urology monthly. 2012. Vol. 4. Is. 4. P. 603–608. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3614302/> (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.5812/numonthly.2805.
- Батюшин М.М., Пасечник Д.Г., Чистяков В.А. IgM-нефропатия // Клиническая нефрология. 2014. № 2. С. 64–69. URL: <https://nephrologyjournal.ru/ru/archive/article/13422> (дата обращения: 15.04.2025).
- Downie E., Diep J., Sungala N., Wong J. IgM nephropathy complicated by cerebral venous sinus thrombosis: a case study // BMC nephrology. 2020. Vol. 21. Is. 1. P. 390. DOI: 10.1186/s12882-020-02048-5. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32894094/> (дата обращения: 15.04.2025).
- Козыро И.А., Сукало А.В. Иммуноглобулин М (IgM)-нефропатия у детей: клинико-иммунопатологические, морфологические особенности // Нефрология. 2019. Т. 23. № 5. С. 71–76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/immunoglobulin-m-igm-nefropatiya-u-detej-kliniko-immunopatologicheskie-morfologicheskie-osobennosti> (дата обращения: 15.04.2025).
- Борисов А.Г., Романов В.П., Клопоцкий С.А., Кумахова Л.А. IgM-нефропатия: клинико-морфологические параллели // Нефрология. 2019. Т. 23. Прил. 1. С. 60-61. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/igm-nefropatiya-kliniko-morfologicheske-paralleli> (дата обращения: 15.04.2025).
- Adike A., Cherry M., Awar M. Case Report: Acute Cerebellar Thrombosis in an Adult Patient with IgM Nephropathy // Methodist DeBakey cardiovascular journal. 2015. Vol. 11. Is. 4. P. 247–249. DOI: 10.14797/mdcj-11-4-247. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27057296/> (дата обращения: 17.04.2025).
- Connor T.M., Aiello V., Griffith M., Cairns T., Roufosse C.A., Cook H.T., Pusey C.D. The natural history of immunoglobulin M nephropathy in adults // Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association – European Renal Association. 2017. Vol. 32. Is. 5. P. 823–829. DOI: 10.1093/ndt/gfw063. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27190379/> (дата обращения: 12.04.2025).
- Ul Abideen Z., Sajjad Z., Haroon Khan A., Mamoona N., Bilal M., Mujtaba Quadri K.H. Immunoglobulin M Nephropathy in a Patient with Wilson's Disease // Cureus. 2016. Vol. 8. Is. 12. P. e929. DOI: 10.7759/cureus.929. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28097080/> (дата обращения: 15.04.2025).
- Флёре Ю., Барбоур Ш., Каттран Д., Хоган Д., Начман П., Танг С., Ветцелс Д., Чеунг М., Вилер Д., Винкелмайер В., Ровин Б. Принципы ведения гломерулярных болезней: итоги согласительной конференции Kidney disease: improving global outcomes (KDIGO). Часть 1 // Нефрология. 2020. Vol. 24. Is. 2. P. 22-41. DOI: 10.36485/1561-6274-2020-24-2-22-41. URL: <https://journal.nephrolog.ru/jour/article/view/1797> (дата обращения: 14.04.2025).
- Agrawal G., Agarwal B., Sonavane K., Shirsat P. Immunoglobulin M Nephropathy: A Diagnostic Dilemma Between Minimal Change Disease and Focal Segmental Glomerulosclerosis // Cureus. 2025. Vol. 17. Is. 5. P. e84148. DOI: 10.7759/cureus.84148. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40519454/> (дата обращения: 15.04.2025).
- Odani K., Tachibana M., Nogaki, F., Tsutsumi Y. Late relapse of IgM nephropathy-associated nephrotic syndrome after repeated administration of immune checkpoint inhibitor against pulmonary adenocarcinoma // Clinical case reports. 2021. Vol. 9 Is. 4. P. 1917–1924. DOI: 10.1002/ccr3.3903 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33936615/> (дата обращения: 15.04.2025).
- Усанова А.А., Гуранова Н.Н. Клиническая нефрология: учебное пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024. 432 с. ISBN 978-5-9704-8309-1.
- Yang C.W., Chen F.Y., Chang F.P., Ho Y., Wu B.S., Yang A.H., Tarng D.C., Yang C.Y. IgM mesangial deposition as a risk factor for relapses of adult-onset minimal change disease // BMC nephrology. 2021. Vol. 22. Is. 1. P. 25. DOI: 10.1186/s12882-021-02234-z. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33435901/> (дата обращения: 17.04.2025).
- Moon K.C. Immunoglobulin M nephropathy: requiring more attention // Kidney research and clinical practice. 2025. Vol. 44 Is. 1. P. 1–3. DOI: 10.23876/j.krcp.24.104. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11838859/> (дата обращения: 15.04.2025).

СТАТЬИ

УДК 656.1(470.23)

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ****Белехов А.А., Тагильцев С.Р., Никуленков Д.В., Тумашевич Д.Г.***ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: d0304200@gmail.com*

Несмотря на общий тренд к снижению количества дорожно-транспортных происшествий, ситуация в стране остается тревожной и требует реализации комплексных мер по улучшению безопасности на автомобильных дорогах. Цель исследования – определить наиболее эффективные мероприятия по снижению аварийности на опасных участках автомобильных дорог Ленинградской области. В рамках данного исследования произведен анализ показателей аварийности в Ленинградской области за период с 2020 по 2024 г. Анализ ретроспективных данных о дорожно-транспортных происшествиях позволяет обнаруживать тенденции и закономерности по общему количеству дорожно-транспортных происшествий с погибшими и ранеными в год на территории Ленинградской области. Разработанная система управления строится на двух ключевых принципах: усилении профилактических мероприятий и повышении уровня ответственности всех участников дорожного движения. В ее основе лежит комплексный подход к решению проблемы безопасности дорожного движения, включающий как превентивные меры по предотвращению ДТП, так и формирование культуры ответственного поведения на дорогах среди водителей, пешеходов и других участников движения. Разработан алгоритм проведения аудита безопасности дорожного движения как ключевого элемента поддержания высокого уровня безопасности дорожного движения. Внедрение эффективного алгоритма проведения аудита безопасности дорожного движения является необходимым шагом на пути к достижению поставленной цели.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, аудит безопасности дорожного движения, автомобильная дорога, дорожно-транспортное происшествие, аварийность

**THE ROAD SAFETY MANAGEMENT SYSTEM ON EXAMPLE
OF THE LENINGRAD REGION****Belekhov A.A., Tagiltsev S.R., Nikulenkov D.V., Tumashevich D.G.***Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, e-mail: d0304200@gmail.com*

Despite the general trend towards a decrease in the number of road accidents, the situation in the country remains alarming and requires the implementation of comprehensive measures to improve safety on highways. The purpose of the study is to determine the most effective measures to reduce accidents on dangerous sections of highways in the Leningrad region. As part of this study, an analysis of accident rates in the Leningrad region for the period from 2020 to 2024 was carried out. The analysis of retrospective data on road accidents makes it possible to detect trends and patterns in the total number of road accidents with deaths and injuries per year in the Leningrad Region. The developed management system is based on two key principles: strengthening preventive measures and increasing the level of responsibility of all road users. It is based on an integrated approach to solving the problem of road safety, including both preventive measures to prevent accidents and the formation of a culture of responsible behavior on the roads among drivers, pedestrians and other road users. An algorithm for conducting a road safety audit has been developed as a key element of maintaining a high level of road safety. The introduction of an effective algorithm for conducting a road safety audit is a necessary step towards achieving this goal.

Keywords: road safety, road safety audit, highway, traffic accident, accident rate

Введение

Безопасность дорожного движения – не просто статистический показатель, а важнейший элемент национальной безопасности России. Несмотря на общую тенденцию к снижению аварийности за последние годы, ситуация остается тревожной [1]. Высокий уровень ДТП, особенно в отдельных регионах, и тяжесть их последствий требуют незамедлительных и комплексных мер. Актуальность проблемы усиливается с ростом числа автомобилей на дорогах и ускорением темпов жизни, что повышает

риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [2].

Цель исследования – определить наиболее эффективные мероприятия по снижению аварийности на опасных участках автомобильных дорог Ленинградской области.

Материалы и методы исследования

Анализ статистики ДТП позволяет выделить несколько ключевых аспектов:

– Региональная диспропорция; неравномерное распределение аварийности по регионам свидетельствует о необходимости

адресных программ, учитывающих специфику каждой территории – климатические условия, состояние дорожной инфраструктуры, уровень подготовки водителей и т.д. Простой среднестатистический подход здесь неэффективен.

– Тяжесть последствий; даже при снижении общего количества ДТП тяжесть последствий многих из них остается высокой. Это указывает на необходимость совершенствования медицинской помощи на месте происшествия, повышения профессионализма аварийно-спасательных служб и внедрения более эффективных методов реабилитации пострадавших.

– Недостаток координации; эффективность мер по обеспечению безопасности дорожного движения напрямую зависит от слаженности работы различных ведомств: Госавтоинспекции, аварийно-спасательных служб, медицинских учреждений. Отсутствие четкой системы взаимодействия и обмена информацией приводит к задержкам и снижению эффективности реагирования на ДТП.

Для повышения безопасности дорожного движения необходим системный подход, основанный на следующих принципах:

- усиление профилактической работы;
- совершенствование реагирования на ДТП;
- повышение ответственности участников дорожного движения;
- межведомственное взаимодействие;
- внедрение технологий.

Анализ дорожно-транспортной аварийности в Ленинградской области за 2024 г. выявил существенные проблемы в сфере безопасности дорожного движения. В ходе исследования структуры и динамики происшествий были выявлены наиболее критические виды ДТП, требующие особого внимания.

Наибольшее беспокойство вызывают столкновения транспортных средств, количество которых достигло 701. Значительной

проблемой остается также безопасность пешеходов – зафиксировано 405 случаев наезда на них. Кроме того, вызывает тревогу статистика по сходам транспортных средств с дорожного полотна, число которых составило 253.

Анализ дорожно-транспортных происшествий показывает, что основная масса аварий происходит на трассах, расположенных за пределами городских территорий. За 2024 г. на дорогах регионального и федерального значения в Ленинградской области зарегистрировано 308 случаев со смертельным исходом. При этом статистика свидетельствует, что в ДТП на этих магистралях летальный исход наступает в каждом десятом случае.

Общенациональная статистика за 2024 г. демонстрирует рост показателей аварий с участием пешеходов. Значительная доля происшествий – каждое третье ДТП – связана с проблемами в состоянии дорожного покрытия и инфраструктуры. Примечательно, что при оформлении аварий сотрудники полиции чаще всего отмечают именно отсутствие дефектов в транспортно-эксплуатационном состоянии дорожного полотна среди прочих неблагоприятных дорожных условий на месте происшествия [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение статистики дорожно-транспортных происшествий за 2020–2024 гг. на дорогах Ленинградской области позволяет проследить динамику и выявить основные закономерности по количеству аварий со смертельным исходом и пострадавшими. Все данные представлены в виде абсолютных значений.

На рис. 1 отображена ситуация с безопасностью дорожного движения на региональных и межмуниципальных трассах Ленинградской области за указанный период.

Таблица 1

Статистика и тяжесть последствий ДТП на дорогах регионального и межмуниципального значения Ленинградской области в 2020–2024 гг.

	Год					Среднее за 5 лет
	2020	2021	2022	2023	2024	
Общее количество ДТП, шт.	976	907	1973	1798	1671	1465
Число погибших, чел.	160	144	316	291	308	244
Число раненых, чел.	1244	1195	2431	2238	1994	1821
Тяжесть последствий ДТП (число погибших на 100 пострадавших)	12,86	12,05	13,00	13,00	15,45	13,27

Источник: составлено авторами.

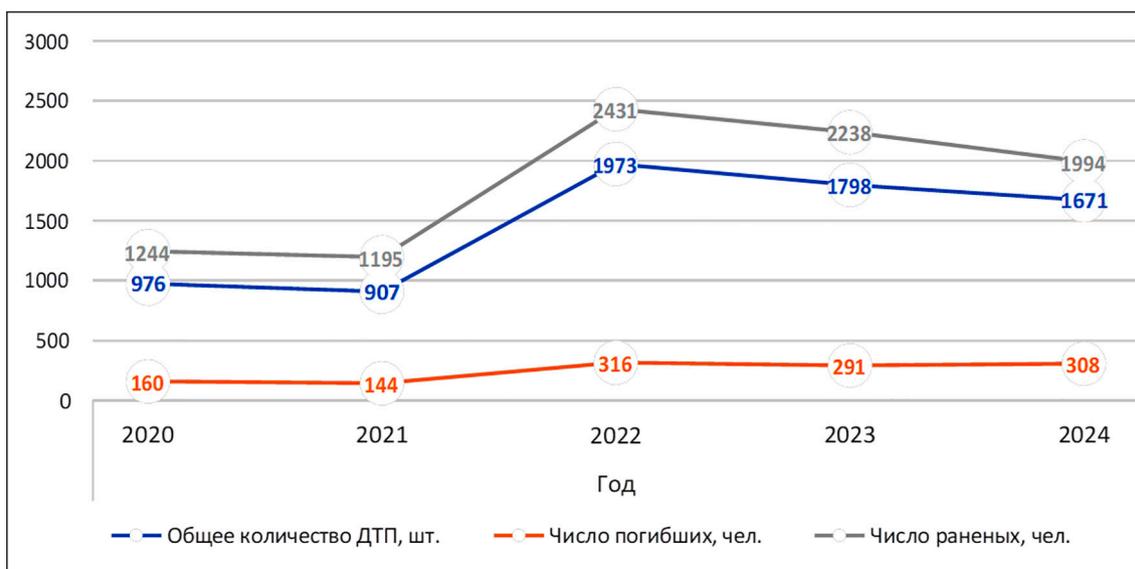


Рис. 1. Показатели состояния безопасности дорожного движения на дорогах регионального значения Ленинградской области за 2020–2024 гг.
Источник: составлено авторами

Таблица 2

Основные показатели аварийности по районам Ленинградской области в 2022–2024 гг.

№ п/п	Районы	2022			2023			2024		
		Абсолютное значение			Абсолютное значение			Абсолютное значение		
		Кол-во ДТП	Кол-во погибших	Кол-во раненых	Кол-во ДТП	Кол-во погибших	Кол-во раненых	Кол-во ДТП	Кол-во погибших	Кол-во раненых
1	Бокситогорский	32	11	49	34	11	49	35	7	44
2	Волосовский	54	10	61	54	17	61	35	13	35
3	Волховский	109	14	131	81	14	100	64	16	80
4	Всеволожский	434	48	483	407	51	448	363	44	384
5	Выборгский	213	38	261	185	30	228	168	34	213
6	Гатчинский	250	42	339	214	39	273	198	42	249
7	Кингисеппский	84	19	107	71	18	99	65	17	98
8	Киришский	59	4	76	58	8	69	52	10	55
9	Кировский	90	21	133	70	19	82	78	20	81
10	Лодейнопольский	24	10	31	18	2	27	22	6	19
11	Ломоносовский	182	18	234	154	31	204	171	33	211
12	Лужский	115	21	147	104	13	149	106	16	138
13	Подпорожский	11	4	12	11	1	10	12	4	20
14	Приозерский	101	15	114	106	10	154	84	15	99
15	Сланцевский	24	3	25	21	1	30	29	5	37
16	Тихвинский	63	11	71	56	3	62	52	8	73
17	Тосненский	128	27	157	154	23	193	137	18	158
	Ленинградская обл.	1973	316	2431	1798	291	2238	1671	308	1994

Источник: составлено авторами.

Анализ текущих показателей аварийности, статистика и тяжесть последствий ДТП на дорогах регионального и межмуниципального значения Ленинградской области за 2020–2024 гг. наглядно представлены в табл. 1.

Анализируя приведенные данные, отчетливо видим, что в 2024 г. произошло снижение числа ДТП и раненых, а также скачок роста погибших в ДТП. Зафиксирован самый высокий показатель тяжести последствий ДТП за последние 5 лет.

В табл. 2 приведены результаты анализа ключевых показателей дорожно-транспортной аварийности за 2022–2024 гг. на региональных автомобильных дорогах общего пользования Ленинградской области

Статистические данные за 2022–2024 гг. показывают, что в 2024 г. на доро-

гах Ленинградской области зафиксировано следующее:

- количество ДТП на региональных и межмуниципальных трассах снизилось практически во всех районах области. Исключение составляют Кировский, Лодейнопольский, Ломоносовский и Сланцевский районы, где отмечается рост числа аварий;
- по сравнению с 2023 г. наблюдается:
 - общее снижение количества ДТП на 7,06%
 - увеличение числа погибших в ДТП на 5,84%
 - сокращение количества раненых в ДТП на 10,90%

Визуализация распределения ДТП по районам Ленинградской области на региональных и межмуниципальных дорогах за 2024 г. представлена на рис. 2.

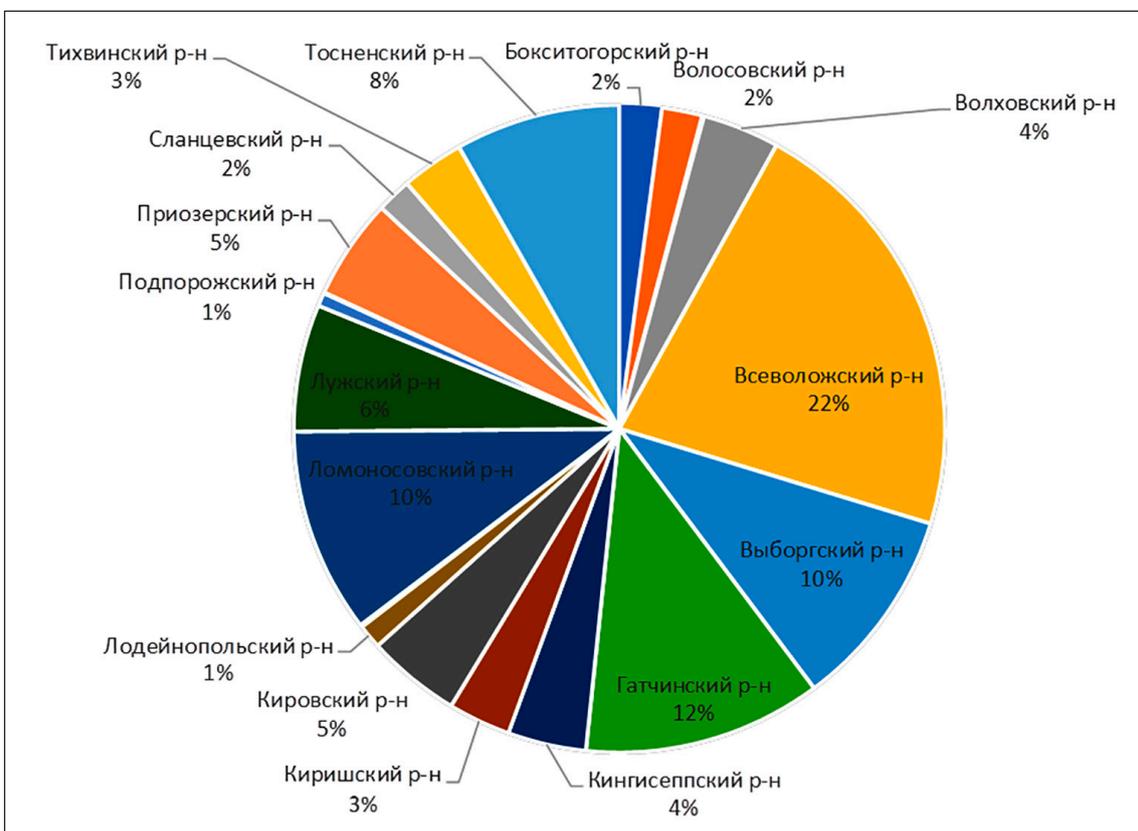


Рис. 2. Распределение общего объема ДТП на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах по районам Ленинградской области за 2024 г.

Источник: составлено авторами

Аудит дорожной безопасности представляет собой систематическую проверку, которую осуществляет независимая группа экспертов на различных этапах создания и эксплуатации автомобильных дорог. Основная задача аудита – своевременное обна-

ружение и предотвращение потенциальных факторов, способных привести к дорожно-транспортным происшествиям [4].

Этот метод является важным дополнением к комплексной системе управления безопасностью дорожного движения.

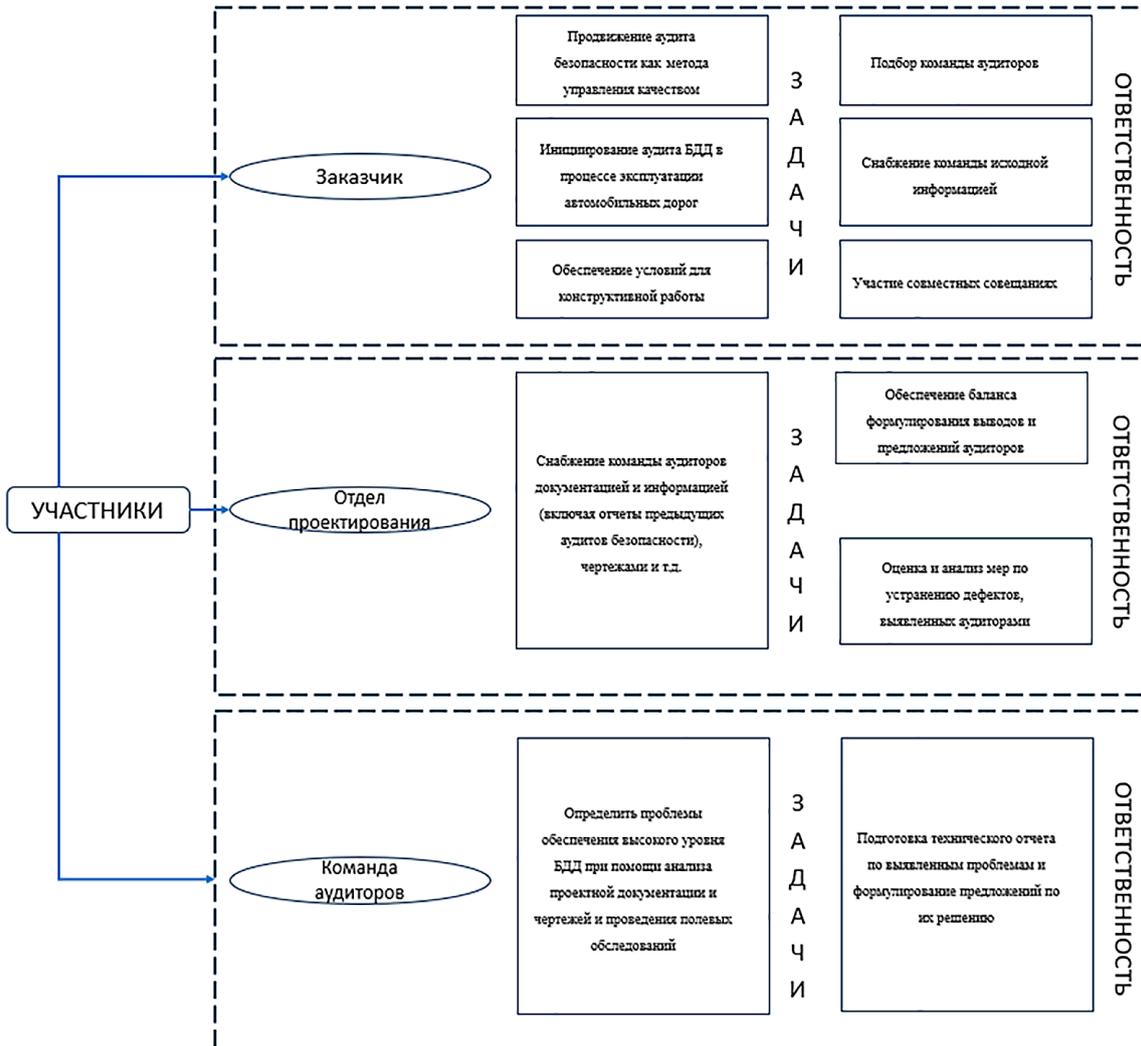


Рис. 3. Структурная схема системы управления
 Источник: составлено авторами

Государственное регулирование в сфере безопасности дорожного движения включает множество различных направлений работы. Особое внимание уделяется анализу реальных потребностей в управлении, которые определяют необходимые функции системы управления и формируют структуру соответствующих органов [5].

В Ленинградской области система управления безопасностью дорожного движения организована по трем основным блокам:

- функциональный блок;
- управленческий блок;
- обеспечивающий блок.

Каждый из этих блоков включает специфические элементы, которые определяют ключевые направления работы ответственных органов в сфере обеспечения безопасности дорожного движения. На рис. 3 приводится структурная схема системы управления.

Успех любого проекта, особенно масштабного, во многом зависит от тщательной подготовки. И если речь идет об аудите – процессе, призванном выявить слабые места и оптимизировать существующую систему, – эта подготовка приобретает критическое значение. Ключевым элементом этой подготовки является детально проработанное Техническое задание (ТЗ) на проведение аудита [6]. ТЗ на проведение аудита – это не просто формальность. Это юридически значимый документ, определяющий рамки работ, устанавливающий ответственность каждой стороны и, самое важное, обеспечивающий достижение поставленных целей. Он может быть типовым, адаптированным под конкретные нужды, либо разработанным «с нуля» под уникальные особенности проекта. Правильная координация – залог успешного аудита.

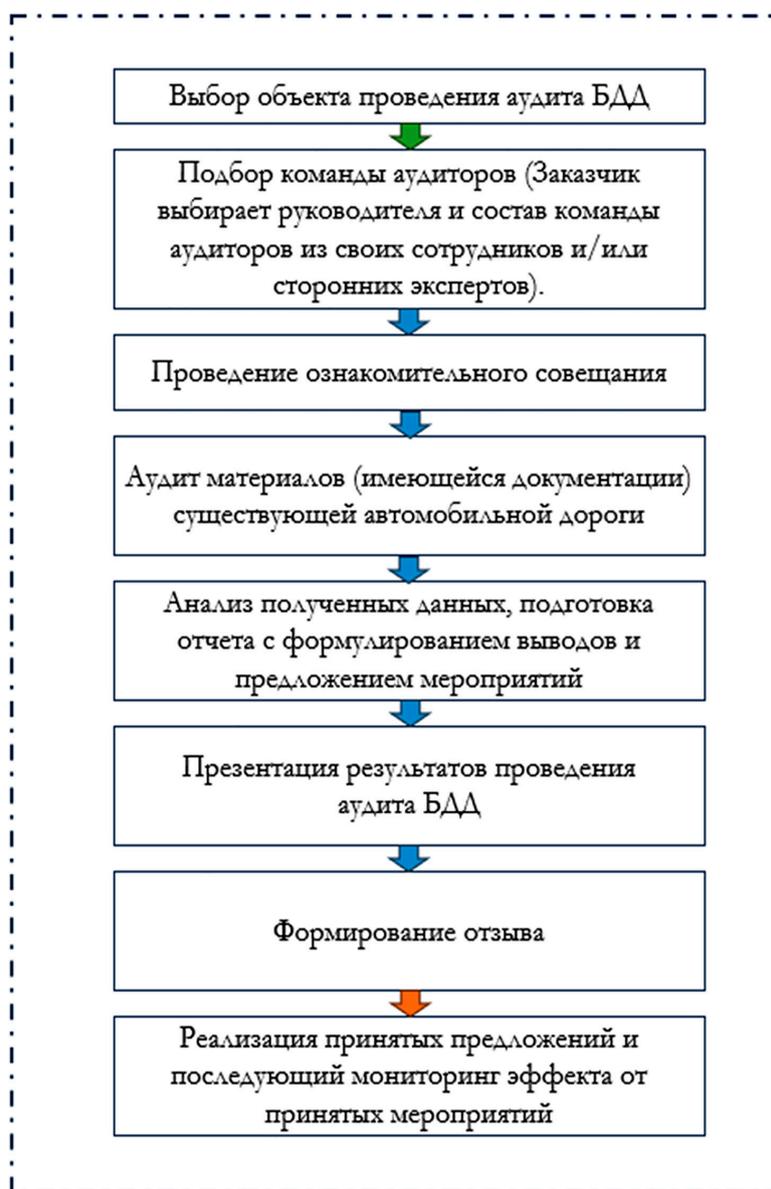


Рис. 4. Алгоритм проведения аудита БДД
Источник: составлено авторами

Регулярные совещания, оперативная обратная связь, четкое взаимодействие между Заказчиком, Группой проектирования и Командой аудиторов позволят своевременно выявлять и устранять возникающие проблемы. Использование специализированного программного обеспечения для управления проектами также может значительно упростить процесс координации. Вложение времени и усилий на данном этапе позволит избежать многих проблем в будущем и обеспечит получение качественных результатов, которые помогут оптимизировать процессы, снизить риски и повысить эффективность деятельности.

Процесс аудита безопасности представляет последовательность согласованных шагов, представленных укрупненно на рис. 4.

Заключение

Таким образом, одним из ключевых элементов для поддержания высокого уровня БДД на эксплуатируемых автомобильных дорогах является комплексный аудит безопасности дорожного движения. Повышение безопасности дорожного движения – это комплексная задача, требующая согласованных действий на всех уровнях: от федерального до муниципального. Внедрение эффективного алгоритма проведения ауди-

та безопасности дорожного движения является необходимым шагом на пути к достижению этой цели. Только системный подход, основанный на объективном анализе и конкретных мерах, позволит значительно снизить уровень ДТП и создать на дорогах России условия для безопасного и комфортного движения всех участников дорожного движения.

Список литературы

1. Базанов С.В. Социально-экономический ущерб от гибели пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях в Ивановской области // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 11–5. С. 649–649. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=8790> (дата обращения: 19.05.2025).
2. Капский Д.В., Пегин П.А., Головнич П.А., Иванов В.П. Аудит дорожного движения – инструмент повышения безопасности движения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2018. № 3. С. 22–33. URL: <https://journals.psu.by/industry/article/view/469> (дата обращения: 19.05.2025).
3. Громов А.А. О некоторых аспектах аварийности в Ленинградской области и способах повышения безопасности дорожного движения в темное время суток (на основе новых разработок) // Молодой ученый. 2019. № 50 (288). С. 136–140. URL: <https://moluch.ru/archive/288/65232/> (дата обращения: 23.05.2025).
4. Евтюков С.С., Голов Е.В. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 85–89. URL: <https://www.usurt.ru/transporturala/rus/magazines> (дата обращения: 19.05.2025).
5. Ярьско В.А. Безопасность дорожного движения // Вестник магистратуры. 2019. № 3–2 (90). С. 59–65. URL: <https://www.magisterjournal.ru> (дата обращения: 20.05.2025).
6. Ивасик Д.В., Васильченко А.А., Сидоренко Т.А., Мисюрин П.Л. Проблемы обеспечения безопасности дорожного движения // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5810> (дата обращения: 20.05.2025).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕСОВОГО И ГАБАРИТНОГО КОНТРОЛЯ

Голов Е.В., Черкашин С.Н., Петров С.В.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: ippetrovsv@inbox.ru

Рост грузоперевозок в современных экономических условиях является неотъемлемой частью глобализации и развития транспортной инфраструктуры. Однако увеличение объемов перевозок сопровождается критическими вызовами, среди которых проблема перегруза транспортных средств занимает центральное место. Цель исследования – предоставить решение проблем неконтролируемых перевозок, которые наносят значительный ущерб дорожной инфраструктуре и создают условия для недобросовестной конкуренции. В статье предложен комплекс технических и организационных решений для улучшения работы автоматических пунктов весогабаритного контроля. Среди них: автоматизация распознавания номерных знаков с помощью интеллектуального интеллекта и технологий оптического распознавания символов, внедрение радиочастотной идентификации и антивандальных систем видеонаблюдения. В рамках организационных инициатив предлагаются изменения в действующие нормативно-правовые акты, касающиеся Правил дорожного движения и законодательства о применении автоматизированных систем контроля. Эти изменения предполагают внедрение обязательных требований к оборудованию грузового автотранспорта радиочастотной идентификации и введение штрафов за эксплуатацию без них. Также предложено учитывать исключения для социально значимых перевозок, что может улучшить ситуацию в данной области. Реализация предложенных мер позволит повысить безопасность дорожного движения, пропускную способность дорог и минимизировать ущерб транспортной инфраструктуре.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, автомобильная дорога, грузовые перевозки, эксплуатация автомобильных дорог, автоматический пункт весогабаритного контроля

IMPROVEMENT OF THE AUTOMATIC WEIGHT AND DIMENSIONAL CONTROL SYSTEM

Golov E.V., Cherkashin S.N., Petrov S.V.

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, e-mail: ippetrovsv@inbox.ru*

The growth of freight transportation in modern economic conditions is an integral part of globalization and the development of transport infrastructure. However, the increase in traffic volumes is accompanied by critical challenges, among which the problem of overloading of vehicles occupies a central place. The purpose of the study is to provide a solution to the problems of uncontrolled transportation, which cause significant damage to the road infrastructure and create conditions for unfair competition. The article offers a set of technical and organizational solutions to improve the operation of automatic weight and size control points. Among them: the automation of license plate recognition using intelligent intelligence and optical character recognition technologies, the introduction of wireless identification and vandal-proof video surveillance systems. As part of the organizational initiatives, amendments are proposed to the current regulatory legal acts concerning traffic rules and legislation on the use of automated control systems. These changes involve the introduction of mandatory requirements for radio frequency identification equipment for trucks and the introduction of fines for operating without them. It is also proposed to take into account exceptions for socially significant transportation, which may improve the situation in this area. The implementation of the proposed measures will improve road safety, road capacity and minimize damage to the transport infrastructure.

Keywords: road safety, highway, freight transportation, operation of highways, automatic weight and size control point

Введение

Рост грузоперевозок в современных экономических условиях является неотъемлемой частью глобализации и развития транспортной инфраструктуры. Однако увеличение объемов перевозок сопровождается критическими вызовами, среди которых проблема перегруза транспортных средств занимает центральное место.

Перевозка тяжеловесных грузов ведет к разрушению не только верхнего слоя дорожной одежды (видимая часть «айсберга»), но и к разрушению нижних слоев до-

роги, ремонт которых требует значительных трудовых и материальных затрат. Особенно губительно превышение установленных ограничений в периоды временных ограничений весной, когда возникает потеря устойчивости земляного полотна в результате переувлажнения грунтов или летом при повышенной температуре, когда асфальт становится мягким и податливым.

Цель исследования – предоставить решение проблем неконтролируемых перевозок, которые наносят значительный ущерб дорожной инфраструктуре и создают условия для недобросовестной конкуренции.

Материалы и методы исследования

По данным Минтранса РФ, перегруженные автомобили становятся причиной до 30% повреждений федеральных трасс, а ежегодные затраты на ремонт дорог из-за перегруза оцениваются в 50–70 млрд руб.

Неконтролируемые перевозки создают недобросовестную конкуренцию: компании, нарушающие нормы, снижают себестоимость перевозок, что искажает рыночные условия.

Дороги, рассчитанные на определенную нагрузку, быстро деградируют при эксплуатации перегруженным транспортом. Например, превышение массы на 20% сокращает срок службы асфальтобетонного покрытия в 2–3 раза [1]. В регионах с низким качеством дорог (Сибирь, Дальний Восток) перегруз провоцирует катастрофические разрушения, ограничивая доступность территорий.

Перегруженные автомобили имеют повышенный риск опрокидывания, увеличенный тормозной путь и сниженную управляемость. По статистике ГИБДД, в 15–20% дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с грузовиками их причиной становится именно перегруз [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Был выработан следующий перечень технических решений для повышения эффективности автоматических пунктов весогабаритного контроля (АПВГК):

1) Автоматизированная система распознавания номеров на основе оптического распознавания символов (OCR), (Optical Character Recognition) и искусственного интеллекта (ИИ)

Следующим шагом повышения эффективности АПВГК является внедрение автоматизированной системы распознавания номеров, построенной на основе оптического распознавания символов и искусственного интеллекта.

Данная технология предназначена для автоматической обработки изображений государственных регистрационных знаков, зафиксированных камерами АПВГК. В основе системы лежит двухэтапный процесс обработки: на первом этапе происходит преобразование изображения в текстовый формат с использованием технологии OCR. OCR выполняет детальное сканирование и цифровое преобразование графического изображения номера в текстовые символы, что позволяет автоматизировать процесс идентификации.

На втором этапе подключается искусственный интеллект, обученный на боль-

шом объеме данных, включая типичные и нестандартные форматы номерных знаков. ИИ проводит глубокий анализ полученных данных на предмет аномалий, выявляя такие манипуляции, как частичное перекрытие номера посторонними объектами, наличие наклеек или пленок, нестандартное расположение или изменение шрифта символов, а также следы подделки номера. При обнаружении подозрительных признаков система автоматически отправляет уведомления в централизованный пункт обработки данных и на пульт операторов АПВГК, что обеспечивает немедленную реакцию и принятие мер.

Основные преимущества предлагаемого решения:

- автоматическое выявление поддельных или скрытых номеров без участия оператора;
- высокая скорость обработки данных, что позволяет оперативно фиксировать и предотвращать нарушения;
- возможность распознавания номеров даже при частичном загрязнении или повреждении знака;
- повышение общей точности и надежности системы контроля за счет сокращения количества ошибок при ручной идентификации.

2) Система идентификации с помощью радиочастотной идентификации (RFID), (Radio Frequency Identification)

Следующим перспективным техническим решением является внедрение радиочастотной идентификации для автоматического распознавания транспортных средств в зоне автоматических пунктов весогабаритного контроля.

Технология RFID основывается на использовании специальных транспондеров или RFID-меток, каждая из которых несет уникальный идентификационный код, однозначно ассоциированный с конкретным транспортным средством. RFID-метки могут быть интегрированы в различные элементы транспортного средства, например в регистрационный номерной знак, лобовое стекло или электронный техпаспорт.

3) Антивандальные системы видеонаблюдения и защиты оборудования

Одной из значимых проблем, влияющих на эффективность работы автоматических пунктов весогабаритного контроля, является вандализм и умышленное повреждение установленного оборудования.

4) Использование интеллектуальных датчиков с подогревом и предиктивной аналитикой.

Для обеспечения высокой надежности автоматических пунктов весогабаритного

контроля в условиях интенсивной эксплуатации и сложных климатических условий предлагается сосредоточить внимание на применении интеллектуальных сенсоров с расширенными функциями предиктивной аналитики и поддержки технологий искусственного интеллекта.

5) Физические и адаптивные барьеры на дорожном полотне

Одной из актуальных проблем автоматических пунктов весогабаритного контроля является попытка водителей транспортных средств избежать контроля путем выезда на встречную полосу или выполнения иных опасных маневров [3]. Для эффективного предотвращения подобных нарушений предлагается внедрить систему физических и адаптивных барьеров с акцентом на использование металлических сигнальных столбиков со светоотражающими элементами.

Обновление нормативно-правовых актов является важным аспектом обеспечения эффективного функционирования правовой системы и государственного управления.

Были разработаны следующие предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы:

1. Совершенствование Правил дорожного движения (ПДД)

С целью повышения эффективности работы АПВГК и минимизации рисков, связанных с действиями водителей в зоне пунктов контроля, предлагается внести следующие изменения в ПДД Российской Федерации.

Введение запрета на остановку и снижение скорости транспортных средств на расстоянии 500 м перед АПВГК, кроме случаев, обусловленных чрезвычайной ситуацией или дорожно-транспортным происшествием. Это позволит исключить манипуляции с распределением груза и обеспечит корректность измерений нагрузок на оси транспортных средств [4].

Предлагаемая формулировка:

«Запрещается остановка транспортных средств и резкое снижение скорости, а именно потеря скорости более 15 км/ч в секунду, за исключением случаев вынужденной остановки вследствие технической неисправности, дорожно-транспортного происшествия или других обстоятельств, создающих угрозу жизни и здоровью участников дорожного движения, на расстоянии менее 500 метров перед автоматическими пунктами весогабаритного контроля».

2. Совершенствование законодательства о применении автоматизированных систем контроля

В целях совершенствования нормативного обеспечения применения автоматизи-

рованных систем контроля предлагаются следующие меры:

Внесение изменений в Приказ Министерства транспорта РФ от 31 августа 2020 г. № 348, предусматривающих возможность применения технологий OCR и ИИ для автоматизированного распознавания государственных регистрационных знаков (ГРЗ) [5].

Предлагаемая формулировка изменений:

«При оборудовании автоматических пунктов весогабаритного контроля допускается использование программно-технических средств, основанных на технологии оптического распознавания символов и искусственного интеллекта, обеспечивающих автоматическое считывание, идентификацию и фиксацию государственных регистрационных знаков транспортных средств. Данные, полученные с использованием таких технологий, имеют полную юридическую силу при фиксации нарушений весогабаритных параметров».

Закрепление в Кодексе Российской Федерации об административных правонарушениях (КоАП РФ) норм, регламентирующих автоматическое формирование постановлений о штрафах на основании данных, полученных системами OCR и ИИ [6].

Рекомендуемая формулировка дополнения в КоАП РФ:

«Постановления о наложении административного штрафа за нарушение весогабаритных параметров могут выноситься автоматически на основе данных, полученных с использованием средств автоматизированного распознавания государственных регистрационных знаков, основанных на технологии OCR и искусственного интеллекта, без участия должностного лица. Ответственность за точность и достоверность данных возлагается на владельца автоматического пункта контроля».

3. Регламентация применения RFID-технологий на АПВГК

С целью нормативного закрепления и эффективного применения RFID-технологий на АПВГК предлагается реализовать следующие меры:

1) Внесение изменений в Федеральный закон № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации» с целью установления обязанности оснащения грузового автотранспорта, осуществляющего перевозку тяжеловесных и крупногабаритных грузов, радиочастотными идентификаторами [7].

Предлагаемая формулировка дополнения:

«Транспортные средства, используемые для перевозки тяжеловесных и крупногабаритных грузов, подлежат обязательно-

му оснащению радиочастотными идентификаторами, содержащими уникальный идентификационный код. Идентификаторы должны быть зарегистрированы в единой государственной информационной системе, доступной контролирующим органам».

2) Внесение изменений в Приказ Министерства транспорта РФ от 31 августа 2020 г. № 348, регламентирующий порядок использования RFID-технологий на АПВГК [5].

Предлагаемая формулировка:

«Автоматические пункты весогабаритного контроля должны быть оборудованы устройствами считывания радиочастотных идентификаторов, обеспечивающими автоматическую и непрерывную идентификацию транспортных средств. Данные, полученные с RFID-идентификаторов, используются для автоматического контроля и учета нарушений весогабаритных норм».

3) Закрепление ответственности за эксплуатацию грузового транспорта без зарегистрированной RFID-метки в Кодексе Российской Федерации об административных правонарушениях [6].

Предлагаемая формулировка нового пункта:

«Эксплуатация грузового транспортного средства, предназначенного для перевозки тяжеловесных и крупногабаритных грузов, без установленного и зарегистрированного радиочастотного идентификатора влечет наложение административного штрафа на владельца транспортного средства в размере от 10 000 до 30 000 рублей».

4. Введение исключений и льгот для социально значимых перевозок

Для улучшения ситуации и обеспечения бесперебойного снабжения социально значимыми товарами и услугами предлагается осуществить следующие нормативные изменения:

1) Внести изменения в Постановление Правительства Российской Федерации № 2060 «Об утверждении Правил движения тяжеловесного и (или) крупногабаритного транспортного средства», предусматривающие механизм учета исключений для транспортных средств, осуществляющих социально значимые перевозки [8].

Предлагаемая формулировка:

«Перевозки товаров первой необходимости, медицинских изделий, лекарственных препаратов, гуманитарной помощи и иных социально значимых грузов, определенных Правительством Российской Федерации или уполномоченным им органом, могут быть освобождены от ограничений, связанных с весогабаритным контролем, при наличии соответствующего подтверждения перевозимого груза».

2) Разработка и внедрение нормативного порядка предварительной регистрации и подтверждения перевозок социально значимых грузов через централизованную информационную систему Ространснадзора, что позволит транспортным средствам с такими грузами проходить через АПВГК без дополнительных остановок и штрафных санкций.

Предлагаемая формулировка порядка регистрации:

«Для обеспечения беспрепятственного проезда транспортных средств с социально значимыми грузами владельцы транспортных средств или грузоотправители обязаны предварительно зарегистрировать перевозимый груз в информационной системе Ространснадзора. Регистрация груза осуществляется на основании предоставления транспортной накладной и других подтверждающих документов, перечень которых устанавливается уполномоченным федеральным органом».

5. Регламентация применения интеллектуальных датчиков и предиктивной аналитики

Для улучшения ситуации и повышения эксплуатационной эффективности предлагается осуществить следующие нормативные изменения:

1) Внесение изменений в Приказ Министерства транспорта РФ от 31 августа 2020 г. № 348 с целью закрепления обязательного использования интеллектуальных датчиков с функцией самодиагностики на новых и модернизируемых АПВГК [5].

Предлагаемая формулировка изменений:

«Автоматические пункты весогабаритного контроля должны оснащаться интеллектуальными датчиками, обладающими функцией автоматической самодиагностики. Данные датчики должны обеспечивать постоянный мониторинг своего технического состояния, своевременно выявлять и сообщать о потенциальных неисправностях и сбоях, что позволит предотвратить аварийные ситуации и уменьшить простой оборудования».

2) Введение обязательных нормативных требований по проведению профилактического обслуживания и ремонта оборудования АПВГК на основе данных предиктивной аналитики.

Предлагаемая формулировка изменений:

«Эксплуатация оборудования АПВГК должна включать регулярное профилактическое обслуживание и ремонт, планирование которых осуществляется на основании результатов анализа данных предиктивной аналитики, получаемых с интеллектуальных датчиков. Ответственность за своевре-

менность и качество выполнения профилактических и ремонтных работ несет владелец оборудования или уполномоченная им обслуживающая организация».

3) Включение требований по применению предиктивной аналитики в перечень обязательных мероприятий при проектировании и реконструкции АПВГК.

Предлагаемая формулировка изменений:

«Проектирование и реконструкция автоматических пунктов весогабаритного контроля должны предусматривать обязательное внедрение системы предиктивной аналитики, интегрированной с интеллектуальными датчиками. Это обеспечит непрерывный мониторинг технического состояния и своевременную профилактику возможных отказов оборудования».

Проведенный анализ функционирования АПВГК выявил ряд системных проблем, существенно снижающих эффективность работы автоматических пунктов весогабаритного контроля. К числу ключевых проблем отнесены: сокрытие регистрационных знаков, умышленное торможение и остановка в зоне контроля, вандализм, технические сбои оборудования, сложности с учетом исключений для социально значимых перевозок, а также случаи объезда пунктов по встречной полосе [9, 10].

1. В рамках технических решений предложены инновационные меры, направленные на повышение надежности и функциональности АПВГК: внедрение систем OCR и ИИ для распознавания номеров, использование RFID-меток для идентификации транспортных средств, оснащение пунктов антивандальными средствами защиты, уста-

новка интеллектуальных датчиков с предиктивной аналитикой, а также использование физических барьеров для предотвращения объезда зон контроля [11].

2. Предложенные технические меры дополнены организационными инициативами, в том числе интеграцией АПВГК с государственными системами ГИБДД, Ространснадзора и «Платон», что позволит автоматизировать обмен данными, повысить собираемость штрафов и оперативность реагирования на нарушения.

3. Разработан комплекс нормативных инициатив, включающий совершенствование ПДД, адаптацию законодательства под современные технологии (OCR, ИИ, RFID), внедрение исключений для социально значимых перевозок и установление требований к предиктивной диагностике оборудования. Эти предложения направлены на усиление правового регулирования и формирование единого стандарта функционирования АПВГК.

Предложенные технические, организационные и нормативные меры по совершенствованию автоматических пунктов весогабаритного контроля оказывают значительное влияние на ключевые характеристики транспортного процесса. Основные направления этого влияния включают [12]:

1. Повышение пропускной способности дорог.

2. Повышение безопасности дорожного движения.

3. Уменьшение вреда транспортной инфраструктуре.

В таблице проведена оценка влияния предложенных мер по критериям.

Оценка влияния предложенных мер по критериям

Критерий оценки	Влияние	Количественная оценка
Пропускная способность дорог	Позитивное	Увеличение на 15–20%
Безопасность дорожного движения	Позитивное	Снижение ДТП на 10–12%
Критерий оценки	Влияние	Количественная оценка
Сохранность дорожной инфраструктуры	Позитивное	Увеличение срока службы дорожного покрытия на 20–25%
Административная нагрузка на контрольные органы	Позитивное	Снижение затрат на администрирование на 30–40%
Надежность транспортных операций	Позитивное	Повышение логистической устойчивости на 10–15%
Социальная значимость перевозок	Позитивное	Сокращение времени доставки социально значимых грузов до 20%
Уровень дисциплины и правопорядка	Позитивное	Снижение нарушений на 25–30%
Уровень коррупционных рисков	Позитивное	Снижение коррупционных проявлений на 70–80%

Источник: составлено авторами.

Заключение

Предложенные решения отвечают как потребностям дорожной отрасли в снижении разрушений покрытия и оптимизации расходов, так и интересам общества в безопасных и качественных перевозках. Полученные результаты могут быть востребованы при дальнейшей цифровизации транспортной инфраструктуры, разработке нормативных документов и практическом внедрении современных систем весового и габаритного контроля.

Список литературы

1. Куракина Е.В., Кравченко П.А. Метод оценки состояния целевых показателей и индикаторов в системе безопасности дорожного движения // Грузовик. 2024. № 6. С. 35–38. URL: https://www.mashin.ru/eshop/journals/gruzovik_stroitel_po-dorozhnye_mashiny_avtobus_trolleybus_tramvaj/2031/18/ (дата обращения: 28.05.2025).
2. Сорокина Е.В., Голов Е.В., Евтюков С.С. Интегральная оценка состояния безопасности дорожного движения регионального уровня (на примере Удмуртской республики) // Транспорт Урала. 2025. № 1 (84). С. 89–96. URL: <https://www.usurt.ru/transporturala/rus/magazines> (дата обращения: 28.05.2025).
3. Кочетков В.А. Проблема и перспектива внедрения системы автоматического весогабаритного контроля // Теория и практика современной науки. 2019. № 9 (51). С. 94–100. URL: <https://sciup.org/problema-i-perspektiva-vnedrenija-sistemy-avtomaticheskogo-vesogabaritnogo-140274942> (дата обращения: 19.05.2025).
4. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 «О Правилах дорожного движения (ред. от 27.03.2025) // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/ (дата обращения: 04.03.2025).
5. Российская Федерация. Министерство транспорта. Об утверждении порядка осуществления весового и габаритного контроля транспортных средств: Приказ Минтранса РФ от 31.08.2020 № 348 (в ред. от 09.06.2023) // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_369832/ (дата обращения: 10.03.2025).
6. Российская Федерация. Законы. Кодекс об административных правонарушениях: Федеральный закон № 195-ФЗ от 30.12.01 (последняя редакция) // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/ (дата обращения: 04.03.2025).
7. Федеральный закон от 08.11.2007 № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (последняя редакция) // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72386/ (дата обращения: 04.03.2025).
8. Постановление Правительства РФ от 01.12.2023 № 2060 «Об утверждении Правил движения тяжеловесного и (или) крупногабаритного транспортного средства» // СПС КонсультантПлюс. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_463407/ (дата обращения: 10.03.2025).
9. Голов Е.В. Фактор скорости в системе безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 3 (86). С. 139–148. URL: <https://vestnik.spbgasu.ru/archive/2021-06> (дата обращения: 19.05.2025). DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-139-148. EDN: EABWMV.
10. Голов Е.В., Сорокина Е.В., Евтюков С.С. Проблемные вопросы использования спутниковой навигации при оценке состояния факторов «дорога» и «среда» в системе ВАДС // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 4 (93). С. 141–150. URL: <https://vestnik.spbgasu.ru/archive/2022-08> (дата обращения: 19.05.2025). DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-141-150. EDN: ZROUNR.
11. Куракина Е.В., Рязанов С.В. Комплексный анализ аварийности и причин ухудшения дорожно-транспортной обстановки // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4 (81). С. 189–196. URL: <https://vestnik.spbgasu.ru/article/kompleksnyy-analiz-avariynosti-i-prichin-uhudsheniya-dorozhno-transportnoy-obstanovki> (дата обращения: 28.05.2025).
12. Евтюков С.С., Голов Е.В. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 85–89. URL: <https://www.usurt.ru/transporturala/rus/magazines> (дата обращения: 28.05.2025).

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНО-ПЛОТНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ БИНАРНОЙ СМЕСИ ПРИ ВОЗМУЩЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ОДНОГО ИЗ КОМПОНЕНТОВ НА ГРАНИЦЕ

Емельянов В.М., Леднев А.К.

*ФГБУН Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,
Москва, e-mail: icingsugar@mail.ru*

На основе уравнений движения Навье – Стокса, диффузии компонентов, баланса энергии и уравнения состояния Ван-дер-Ваальса проведены расчеты динамики температурно-плотностной неоднородности, вызванной возмущением концентрации одного из компонентов на адиабатической или нагреваемой границе области, заполненной сверхкритической бинарной смесью. Показано, что возмущение концентрации на адиабатической границе вызывает характерное изменение температуры и плотности внутри области, аналогичное тому, что происходит при возмущении температуры непроницаемой границы (так называемый «пистон-эффект»): образование резких градиентов температуры и плотности в непосредственной близости от стенки и рост (падение) однородно распределенной температуры и плотности вне области сильных градиентов. Проведено сравнение воздействия возмущения температуры границы при отсутствии возмущения концентрации, которое условно можно назвать «температурным пистон-эффектом», и воздействия возмущения концентрации на адиабатической границе, которое можно условно назвать «массовым пистон-эффектом». Рассмотрен случай совместного действия этих эффектов, когда на границе одновременно повышается и температура стенки, и концентрация одного из компонентов смеси. Определены области параметров, при которых доминирует один из эффектов или существенны оба эффекта. Показано, что в последнем случае, в зависимости от соотношения величин возмущения температуры и концентрации, возможны как рост, так и падение температуры в толще среды относительно начальной величины.

Ключевые слова: сверхкритическая бинарная смесь, численный расчет, уравнение движения Навье – Стокса, уравнение состояния Ван-дер-Ваальса, возмущение концентрации и температуры на границе, температурно-плотностная неоднородность, массовый пистон-эффект, температурный пистон-эффект

Работа выполнена в рамках задания по госбюджетной теме FFGN-2024-0005 № 124012500442-3.

DYNAMICS OF TEMPERATURE-DENSITY INHOMOGENEITY IN A CLOSED DOMAIN OF A SUPERCRITICAL BINARY MIXTURE UNDER PERTURBATION OF THE CONCENTRATION OF ONE OF THE COMPONENTS AT THE BOUNDARY

Emelyanov V.M., Lednev A.K.

*Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: icingsugar@mail.ru*

Based on the equations of Navier-Stokes, diffusion of components, energy balance, and the Van der Waals equation of state, the dynamics of temperature-density inhomogeneity caused by perturbation of the concentration of one of the components at the adiabatic and heated boundary of a domain filled with a supercritical binary mixture are calculated. It is shown that the concentration perturbation at the adiabatic boundary causes a characteristic change in temperature and density, similar to what occurs when the temperature of the impermeable boundary is perturbed (the so-called “piston effect”): the formation of sharp temperature and density gradients in the immediate vicinity of the wall and the rise (fall) of uniformly distributed temperature and density outside the region of strong gradients. A comparison is made between the effect of a boundary temperature disturbance in the absence of a concentration disturbance on the distribution of temperature and density within the region, which can be conditionally called the “temperature piston effect”, and the effect of a concentration disturbance on the adiabatic boundary, which can be conditionally called the “mass piston effect”. The case of the combined action of both of these effects is considered, when both the temperature and the concentration of one of the components of the mixture simultaneously increase at the boundary. The range of parameters is determined for which one of the effects dominates or both effects are significant. It is shown that in the latter case, depending on the ratio of temperature and concentration perturbations, both an increase and a decrease in the bulk temperature is possible.

Keywords: supercritical binary mixture, numerical calculations, Navier – Stokes equation, Van der Waals equation of state, concentration and temperature perturbations at the boundary, temperature-density inhomogeneity, mass piston effect, temperature piston effect

The work was completed within the framework of the assignment on the state budget topic FFGN-2024-0005 No. 124012500442-3.

Введение

В настоящее время сверхкритические технологии широко применяются в процессах адсорбции/десорбции и экстракции веществ из твердой фазы [1, 2]. В этом случае растворитель находится при сверхкритических температуре и давлении. Сильная сжимаемость и высокий коэффициент термического расширения в таком состоянии существенно влияют на тепло- и массообмен и, как следствие, на интенсивность процессов переноса у границы твердого тела и жидкости. В частности, растворимость твердых веществ в сверхкритической среде очень чувствительна к небольшим изменениям температуры и давления вблизи критической точки растворителя [3, 4].

В этой связи при оптимизации процессов адсорбции/десорбции и экстракции важно изучение динамики и теплопереноса в замкнутом объеме бинарной сверхкритической смеси при наличии диффузии одного из компонентов через твердую границу.

Известно, что в замкнутом объеме сверхкритического флюида возмущение температуры на его границе приводит к возникновению так называемого пистон-эффекта, а именно к образованию существенных градиентов температуры и плотности вблизи границы и быстрого изменения во времени почти однородных по пространству плотности и температуры вдали от границы (в «толще среды») [5]. При этом скорость изменения температуры и плотности вдали от границы существенно превышает ту, которая могла бы быть в результате действия механизма теплопроводности, а сам эффект обусловлен высокой сжимаемостью и большим коэффициентом температурного расширения флюида и усиливается по мере приближения к критической точке. В литературе этот эффект получил название поршневого или пистон-эффекта (piston effect) ввиду своего внешнего сходства с откликом замкнутого объема произвольной сжимаемой среды на сжатие поршнем.

Можно предположить, что в случае возмущения концентрации на границе поток массы, обусловленный механизмом диффузии, должен вызвать соответствующий отклик температуры и плотности, похожий на описанный выше эффект. Влияние возмущения концентрации на границе на динамику температурно-плотностной неоднородности изучалось в работе [6]. Авторы предложили назвать такой эффект «массовым пистон-эффектом» (МПЭ) («mass piston effect»). Соответственно, эффект, вызванный возмущением температуры границы замкнутого объема сверхкритиче-

ского флюида, может быть условно назван «температурным пистон-эффектом» (ТПЭ) («temperature piston effect»).

Цель исследования – изучение особенностей динамики распределений плотности и температуры в замкнутом объеме сверхкритической бинарной смеси при возмущении концентрации одного из компонентов на адиабатической или нагреваемой границе.

Материалы и методы исследования

Исследование проводится методом численного решения системы одномерных безразмерных уравнений для описания движения и теплопереноса в бинарной смеси. Система подробно описана в работе [7] и содержит уравнение движения Навье – Стокса смеси газов (а) и (б), уравнения диффузии для компонентов (а) и (б), уравнение, определяющее плотность смеси как сумму плотностей компонентов (а) и (б), уравнение баланса энергии и уравнение состояния смеси.

Расчеты проводились для одномерной области (рис. 1), заполненной углекислым газом (CO₂), компонент (а).

Предполагается, что в начальный момент времени внутри расчетной области среда неподвижна, а плотность, температура и давление равномерно распределены по длине. Плотность равна критической плотности, а температура и давление превышают критические значения для CO₂.

Правая граница (x = 1) является адиабатической и непроницаемой.

На левой границе (x = 0) задаются три разных граничных условия:

1. На границе ставится условие непротекания и задается температура выше начальной температуры внутри области.
2. На границе заданы концентрация SF₆, компонент (б), и граница считается адиабатической.
3. На границе заданы и концентрация SF₆, и температура.

При реализации граничных условий (2) и (3) через границу возникает поток компонента (б) с безразмерной скоростью

$$U_w = D \times \left(\frac{\partial \rho_b}{\partial x} \right)_w,$$

где D = D / (V̇L) – безразмерный коэффициент диффузии, D = 5·10⁻⁸ м²/с – коэффициент диффузии, V̇ = 49 м/с – масштаб скорости, L = 10⁻² м – масштаб длины, $\left(\frac{\partial \rho_b}{\partial x} \right)_w$ – текущее расчетное значение градиента безразмерной плотности (массовой концентрации) компонента (б) на границе.

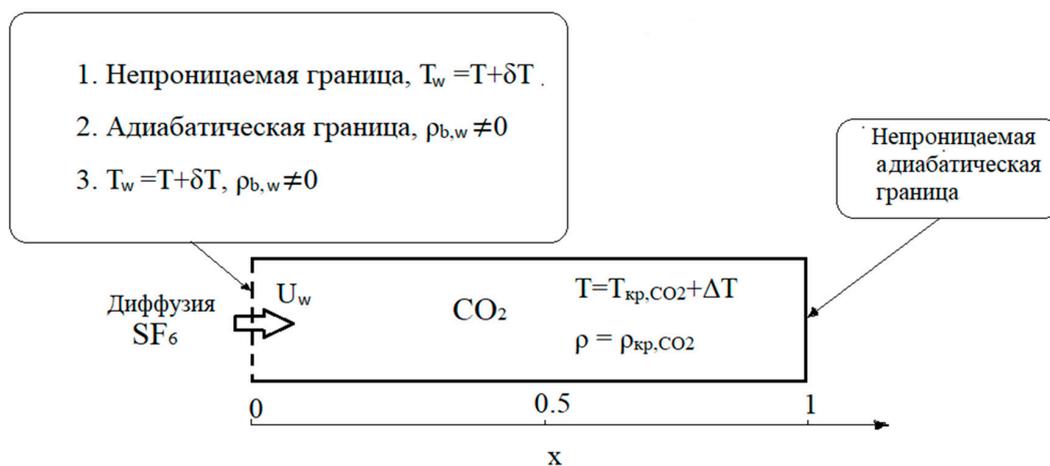


Рис. 1. Схема расчетной области
Источник: составлено авторами

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 представлен пример распределений безразмерной температуры

$$T = T / T_{кр.SF_6}$$

и безразмерной плотности

$$\rho = \rho / \rho_{кр.SF_6}$$

где $T_{кр.SF_6} = 319$ К и $\rho_{кр.SF_6} = 744$ кг/м³ – критическая температура и плотность SF_6 , для граничных условий (1) – пунктирная линия и (2) – сплошная линия к моментам времени 0,5; 1 и 5 с от начала расчета. Прямая горизонтальная сплошная линия соответствует начальному распределению (0 с). Начальная температура превышала критическую $T_{кр.CO_2} = 304,15$ К на $\Delta T = 0,304$ К. Температура границы превышала начальную на $\delta T = 0,1$ К, а значение плотности компонента (b) на стенке составляло $\rho_{bw} = 0,94 \cdot 10^{-4}$.

Из рисунка видно, что в случае непроницаемой нагретой стенки (граничное условие (1), штрих-пунктирные линии) вблизи стенки формируется нагретая область (рис. 2, а) и область разрежения (рис. 2, б), а в толще среды температура и плотность однородны и растут с течением времени. Такая картина формирования и дальнейшей эволюции температурно-плотностной неоднородности при нагреве стенки наблюдалась в большом числе экспериментальных и расчетных работ по изучению «температурного пистон-эффекта» в однокомпонентной среде.

В случае возмущения концентрации на адиабатической границе (граничное условие (2), сплошные линии) вблизи границы также формируется нагретая область, и температура в толще среды однородна и растет со временем. Что касается плотно-

сти, то в непосредственной близости к границе среда уплотняется, а по мере удаления от границы плотность сначала падает ниже начальной, а затем выходит на некоторую однородную величину, превышающую начальную, которая растет со временем.

В случае граничного условия (3) на левой границе поддерживается заданная температура, превышающая начальную, и заданное значение концентрации компонента (b). При такой постановке распределения температуры и плотности должны формироваться в результате совместного действия температурного и массового пистон-эффекта. В качестве иллюстрации на рис. 3 сплошными линиями представлены результаты расчетов температуры и плотности для концентрации компонента (b) $\rho_{bw} = 0,94 \cdot 10^{-3}$ на границе и разных значений температуры δT . Там же приведено распределение температуры и плотности (пунктирная линия) для того же значения граничной концентрации, но при наличии адиабатической стенки.

Из рисунка видно, что при самом большом значении температуры из этой серии на стенке $\delta T = 1$ К распределение температуры (на рис. 3, а, оно не показано, так как лежит значительно выше остальных) и плотности близко к тому, что формируется при отсутствии диффузии с границы. На распределении плотности видна область разрежения около стенки и происходит уплотнение однородной среды вдали от стенки. Профиль температуры лежит значительно выше профиля, формирующегося при отсутствии потока тепла с границы (пунктирная линия), и эта разница обусловлена потоком тепла со стенки. Можно сказать, при таком соотношении температуры и концентрации на стенке доминирует температурный пистон-эффект.

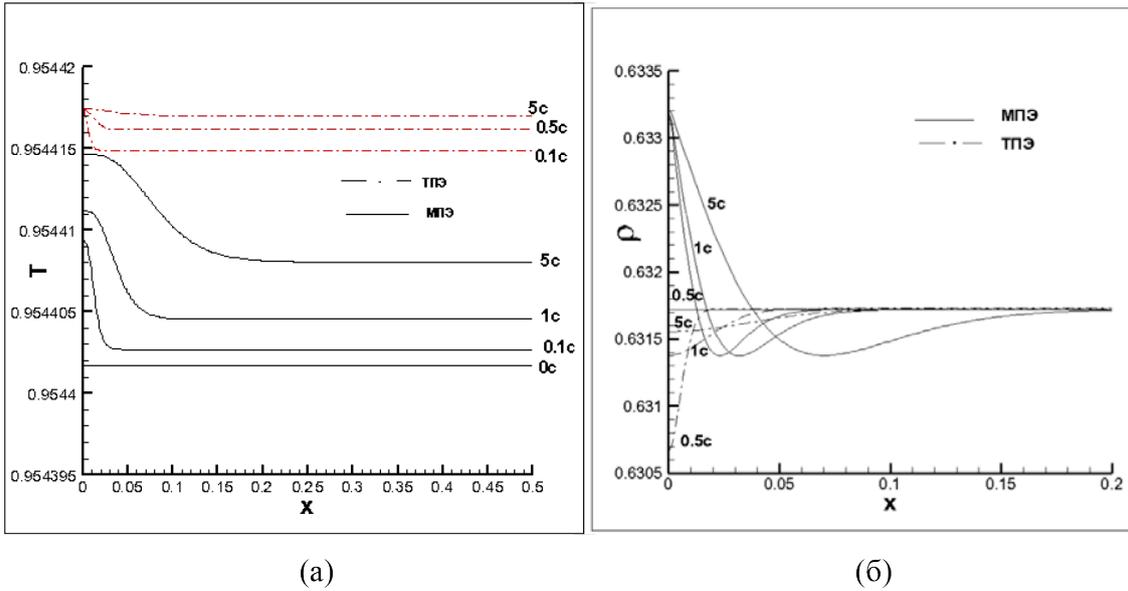


Рис. 2. Пример распределений безразмерной (а) температуры и (б) плотности смеси для граничного условия (1) (штрих-пунктирная линия), «температурный пистон-эффект» (ТПЭ) и для граничного условия (2) (сплошная линия), «массовый пистон-эффект» (МПЭ)
 Источник: составлено авторами

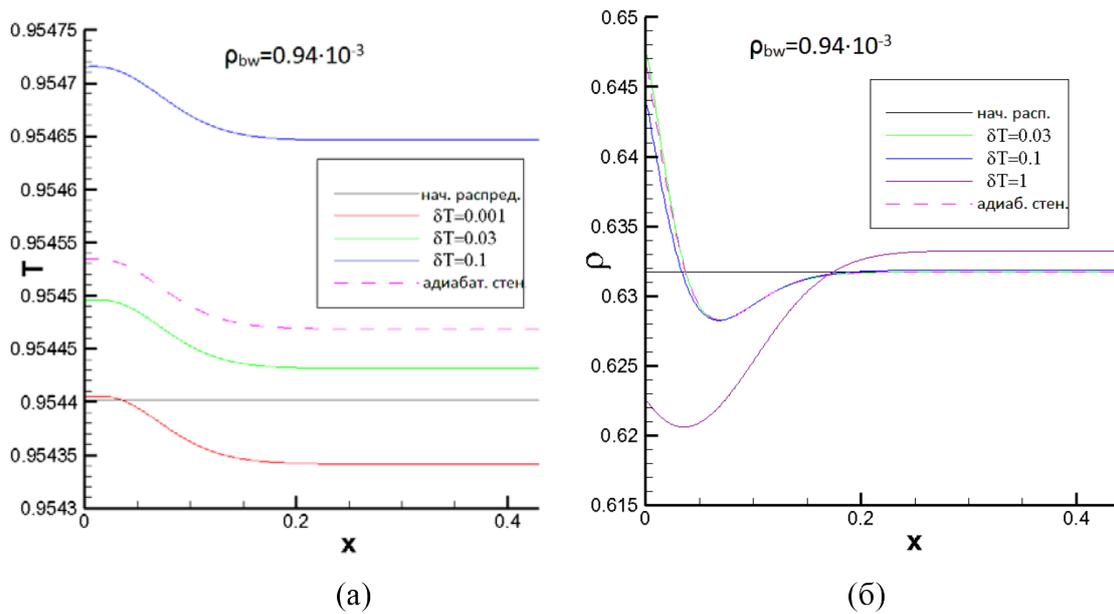


Рис. 3. Распределение (а) температуры и (б) плотности через 5 с после начала расчета для граничного условия (3) при концентрации компонента (b) $\rho_{bw} = 0.94 \cdot 10^{-3}$ и различных значениях температуры стенки δT
 Источник: составлено авторами

При температуре $\delta T = 0,1$ и $0,03$ К профиль плотности близок профилю, характерному для случая отсутствия потока тепла на стенке: вблизи нее образуются области уплотнения и разрежения и происходит подъем плотности в толще среды. Мож-

но сказать, что в этом случае доминирует массовый пистон-эффект. Необходимо отметить, что распределение температуры лежит ниже распределения для нулевого потока тепла со стенки (пунктирная линия). Это говорит о том, что при таком соотно-

шении температуры и концентрации компонента (b) на стенке, вследствие действия массового пистон-эффекта температура среды вблизи нее оказывается выше температуры самой стенки. Поэтому возникает поток тепла от среды в стенку, что приводит к охлаждению толщи среды вследствие действия температурного пистон-эффекта. Более того, при наименьшем значении нагрева $\delta T = 0,001$ К охлаждение оказалось настолько сильным, что температура в толще среды упала ниже начального уровня.

Заключение

На основе системы уравнений для описания движения и теплопереноса в сверхкритической бинарной смеси проведены расчеты динамики температурно-плотностной неоднородности, вызванной возмущением концентрации одного из компонентов на адиабатической или нагреваемой границе области, заполненной сверхкритической смесью углекислого газа и шестифтористой серы. При отсутствии возмущения концентрации на границе подвод тепла со стенки приводит к формированию и эволюции температурно-плотностной неоднородности, характерной для «температурного пистон-эффекта» в однокомпонентной среде. При отсутствии теплового воздействия на границе возмущение концентрации одного из компонентов вызывает характерное изменение температуры и плотности внутри области, которое можно назвать «массовым пистон-эффектом». При возмущении

на границе и температуры, и концентрации действуют оба этих эффекта. Проведен анализ различных режимов формирования распределений плотности и температуры в зависимости от соотношения граничной температуры и концентрации одного из компонентов. Показано, что при доминировании массового пистон-эффекта возможны режимы, при которых происходит охлаждение толщи среды.

Список литературы

1. Nollet L.M.L., Otlés S. eds. Handbook of Analysis and Extraction Methods of Anthocyanins (1st ed.). CRC Press. 2025. DOI: 10.1201/9781003453260.
2. Li Zhou Supercritical Adsorption for Cleaner Energy and the Environment. 2025. Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-85165-2.
3. Raspo I., Christophe N., Neau Ev., Meradji S. Diffusion coefficients of solids in supercritical carbon dioxide: Modelling of near critical behaviour // Fluid Phase Equilibria. 2008. Vol. 263. P. 214–222. DOI: 10.1016/j.fluid.2007.09.025.
4. Гумеров Ф.М. Сверхкритические флюидные технологии: учебник для вузов. СПб.: Лань, 2022. 656 с. ISBN 978-5-507-44904-0.
5. Beysens D. A Review on Transport Phenomena Near the Critical Point of Fluids Under Weightlessness // Frontiers in Space Technologies. 2022. Vol. 3 P. 1–19. DOI: 10.3389/frspt.2022.876642.
6. Zhan-Chao Hu, Xin-Rong Zhang. Piston effect induced by cross-boundary mass diffusion in a binary fluid mixture near its liquid-vapor critical point // Int. J. of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 140. P. 691–704. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.022.
7. Емельянов В.М., Леднев А.К. Численное моделирование релаксации неоднородности температуры и плотности в сверхкритической бинарной смеси // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2024. № 4. С. 26–30. DOI: 10.17513/mjpf.13623.

УДК 532.516:532.517

О ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Сенницкий В.Л.

*ФГБУН Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева Сибирского отделения
Российской академии наук, Новосибирск;
Новосибирский государственный университет, Новосибирск,
e-mail: sennitskii@yandex.ru*

В работе поставлена и решена новая задача о движении гидромеханической системы при периодических по времени воздействиях. Система состоит из вязкой жидкости и двух твердых тел – стенки и пластины. Жидкость заполняет промежуток между твердыми телами. Стенка совершает заданное колебательное движение; пластина является свободной (движение пластины не задано, подлежит определению). На пластину оказывается внешнее периодическое силовое воздействие. Постановка задачи включает в себя уравнение движения пластины, уравнение Навье – Стокса и условия на твердых границах жидкости. Найдено точное решение задачи. Рассмотрен вопрос о возможности синхронизации движения твердых частей гидромеханической системы посредством внешнего периодического силового воздействия на систему. Получены формулы, которыми определяются условия, при выполнении которых синхронность движения имеется или отсутствует. Обнаружено, что при наличии синхронности свободная твердая часть гидромеханической системы (пластина) может совершать движение различных типов (с различными скоростями). Результаты работы могут использоваться при подготовке и проведении направленных экспериментальных исследований динамики гидромеханических систем при периодических воздействиях, в исследованиях в области технических наук, связанных с проблемами механики жидкости, а также при разработке и создании аппаратов, устройств, содержащих жидкость и твердые тела, совершающие периодическое движение.

Ключевые слова: вязкая жидкость, твердые тела, периодическое воздействие, синхронизация движения

ON THE POSSIBILITY OF A MOTION SYNCHRONIZATION OF SOLID PARTS OF A HYDRO-MECHANICAL SYSTEM WITH A VISCOUS LIQUID

Sennitskiy V.L.

*Lavrentev Institute of Hydrodynamics Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk;
Novosibirsk State University, Novosibirsk, e-mail: sennitskii@yandex.ru*

The new problem is formulated and solved in the work on the motion of a hydro-mechanical system under periodic in time influences. The system consists of a viscous liquid and two solid bodies – a wall and a plate. The liquid fills the space between the solid bodies. The wall fulfills a given oscillational motion; the plate is free (the motion of the plate is not prescribed, it requires to be determined). The plate undergoes an external periodic force influence. The formulation of the problem includes the equation of the plate motion, the equation of Navier–Stokes and conditions at the solid boundaries of the liquid. The exact solution of the problem is found. The question is considered on the possibility of a synchronization of the motion of the solid parts of the hydro-mechanical system by an external periodic force influence to the system. The formulas are obtained that determine the conditions under fulfilling of which the synchronicity of the motion is present or is absent. It is revealed that under the presence of the synchronicity the free solid part of the hydro-mechanical system (the plate) is able to perform its motion by various types (by various velocities). The results of the work can be used under a preparation and an implementation of directed experimental investigations of the dynamics of hydro-mechanical systems under periodic influences, for investigations in the field of technical sciences connected with the problems of fluid mechanics and also under development and creation of instruments, devices which contain a liquid and solid bodies that fulfill a periodic motion.

Keywords: viscous liquid, solid bodies, periodic influence, motion synchronization

Введение

Одним из актуальных и перспективных направлений исследований в механике жидкости является изучение динамики гидромеханических систем при периодических по времени воздействиях. Актуальность и перспективность данного научного направления обусловлены наличием у результатов проводимых исследований фундамен-

тального и прикладного содержания, тем, что периодические воздействия способны качественным образом влиять на динамику гидромеханических систем, быть средством управления системами [1], а также возможностью использования получаемых результатов при организации актуальных направленных исследований, при поиске инновационных подходов к решению актуальных

научных и технических проблем, в частности проблем аэрокосмической техники, тонкой химии, экологии [2–4]. Состояние исследований в рассматриваемом направлении характеризуется работами [5, 6].

К числу важных современных научно-технических задач с очевидностью относится задача синхронизации движения составных частей механических систем. Отклонения от синхронности могут качественным образом отражаться на динамике систем. В настоящей работе начато изучение вопросов, касающихся синхронизации движения в гидромеханических системах. Поставлена и решена новая задача о движении гидромеханической системы с вязкой жидкостью при периодических воздействиях.

Целью исследования является решение вопроса о возможности синхронизации движения свободной твердой части гидромеханической системы с вязкой жидкостью (часть системы, движение которой не задано, подлежит определению) и твердой части системы, совершающей заданное периодическое движение посредством внешнего периодического силового воздействия на систему (на свободную твердую часть системы).

Постановка и решение задачи

Имеется гидромеханическая система, состоящая из вязкой несжимаемой жидкости и абсолютно твердых тел – стенки η и однородной пластины ξ . Стенка η ограничена плоскостью, перпендикулярной к оси X инерциальной прямоугольной системы координат X, Y, Z , и пересекающей ось X в точке $X = 0$. Пластина ξ ограничена плоскостями, перпендикулярными к оси X и пересекающими ось X в точках $X = A, X = B$ ($A > 0, B > A$ – постоянные). Жидкость заполняет область $\Omega: 0 < X < A; -\infty < Y < \infty; -\infty < Z < \infty$. Стенка η совершает заданное движение со скоростью $\mathbf{U} = U\mathbf{e}$, периодически с периодом T изменяющейся со временем t ($\mathbf{e} = \{0, 1, 0\}$; $U = \tilde{U} \sin(2\pi t/T)$; $\tilde{U} > 0$ – постоянная). Пластина ξ подвергается силовому воздействию со стороны жидкости и внешнему силовому воздействию, периодически с периодом T изменяющемуся со временем. Вследствие оказываемых силовых воздействий пластина ξ движется со скоростью $\mathbf{W} = W\mathbf{e}$, которую необходимо найти. Скорость жидкости \mathbf{V} и давление в жидкости P не зависят от координат Y, Z . Требуется определить периодическое по времени движение гидромеханической системы (свободных частей гидромеханической системы – жидкости и пластины ξ).

Пусть $\tau = t/T$; $x = X/A$; ρ – плотность жидкости; ξ' – абсолютно твердое тело, (ка-

кая-либо) часть пластины ξ , заполняющая в (какой-либо) момент времени $t = t'$ область $A < X < B, Y^* < Y < Y^* + D_Y, Z^* < Z < Z^* + D_Z$ ($Y^*, Z^*, D_Y > 0, D_Z > 0$) – постоянные);

ρ' – плотность тела ξ' (пластины ξ); $m = \rho'(B-A) D_Y D_Z$ – масса тела ξ' ;

$\mathbf{u} = T\mathbf{U}/A = u\mathbf{e}$; $\mathbf{v} = T\mathbf{V}/A = v(x, \tau)\mathbf{e}$;

$p = T^2 P / (\rho A^2) = p(x, \tau)$; $\mathbf{w} = T\mathbf{W}/A = w\mathbf{e}$;

ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости; $Re = A^2 / (\nu T)$ – число Рейнольдса; $\varkappa = \rho A / [\rho'(B-A)]$; $\mathbf{F}_{liq} = F_{liq}\mathbf{e}$ – сила, действующая на тело ξ' со стороны жидкости;

$f_{liq} = T^2 F_{liq} / (mA) = -(\varkappa / Re) (\partial v / \partial x)|_{x=1}$;

$\mathbf{F}_{ext} = F_{ext}\mathbf{e}$ – внешняя сила, действующая на тело ξ' ;

$$f_{ext} = T^2 F_{ext} / (mA) = T^2 \tilde{F} / (mA) \sin(2\pi\tau + \varphi) = \tilde{f} \sin(2\pi\tau + \varphi) \quad (\tilde{f} > 0, 0 \leq \varphi < 2\pi - \text{параметры}).$$

Задачу о движении гидромеханической системы составляют уравнение движения пластины ξ (тела ξ'), уравнение Навье – Стокса и условия на твердых границах жидкости

$$\frac{dw}{d\tau} = f_{liq} + f_{ext}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta v \quad \text{в } \Omega; \quad (2)$$

$$v = u \quad \text{при } x = 0; \quad (3)$$

$$v = w \quad \text{при } x = 1. \quad (4)$$

Из (2)–(4) следует

$$p = p(\tau); \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} = \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \quad \text{в } \Omega; \quad (6)$$

$$v = u \quad \text{при } x = 0; \quad (7)$$

$$v = w \quad \text{при } x = 1. \quad (8)$$

Сделаем в (6)–(8) подстановку

$$v = \text{Real}(\tilde{v} e^{2\pi i \tau}), \quad w = \text{Real}(\tilde{w} e^{2\pi i \tau}), \quad (9)$$

где \tilde{v} – функция x ; \tilde{w} – постоянная. Используя полученные в результате этого соотношения, определим задачу

$$q^2 \tilde{v} = \frac{d^2 \tilde{v}}{dx^2} \quad \text{для } 0 < x < 1; \quad (10)$$

$$\tilde{v} = -i\tilde{u} \quad \text{при } x = 0; \quad (11)$$

$$\tilde{v} = \tilde{w} \quad \text{при } x = 1. \quad (12)$$

Здесь $q = (1 + i)\sqrt{\pi Re}$; $\tilde{u} = (T\tilde{U})/A$. Решая уравнение (10), найдем

$$\tilde{v} = \alpha e^{qx} + \beta e^{-qx}, \quad (13)$$

где α, β – постоянные. Из (11)–(13) следует

$$\alpha = \frac{\tilde{w} + i\tilde{u}e^{-q}}{2shq}, \quad \beta = -\frac{\tilde{w} + i\tilde{u}e^q}{2shq}. \quad (14)$$

Используя (13), (14) получим

$$\tilde{v} = \frac{\tilde{w}shqx + i\tilde{u}shq(x-1)}{shq}. \quad (15)$$

Согласно (1), (9), (15) имеем

$$\tilde{w} = -i \frac{\varkappa q \tilde{u} + Re(shq) e^{i\varphi} \tilde{f}}{q(qshq + \varkappa chq)}. \quad (16)$$

Формулами (5), (9), (15), (16) определяется точное решение задачи (1)–(4).

Обратимся к вопросу о возможности синхронизации движения твердых частей гидромеханической системы посредством внешнего силового воздействия на систему (на свободную твердую часть системы – пластину ξ). Представим комплексную амплитуду \tilde{w} в виде

$$\tilde{w} = |\tilde{w}| e^{i\psi}, \quad (17)$$

где ψ – аргумент амплитуды

$$\tilde{w} (\sin \psi = \text{Imag } \tilde{w} / |\tilde{w}|, \cos \psi = \text{Real } \tilde{w} / |\tilde{w}|).$$

Из (9), (17) следует

$$w = |\tilde{w}| \cos(2\pi\tau + \psi). \quad (18)$$

Синхронность движения пластины ξ и стенки η состоит в том, что при любом значении τ имеет место равенство

$$\cos(2\pi\tau + \psi) = \sin 2\pi\tau.$$

Данное равенство (для любого τ) выполняется тогда и только тогда, когда выполняются соотношения

$$\begin{aligned} \text{Imag } \tilde{w} / |\tilde{w}| &= \sin \psi = -1, \\ \text{Real } \tilde{w} / |\tilde{w}| &= \cos \psi = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Пусть значения Re велики по сравнению с единицей. Используя (16), получим

$$\begin{aligned} \tilde{w} &\sim -\frac{\tilde{f} e^{i\varphi}}{2\pi}, \quad \sin \psi \sim -\sin \varphi, \\ \cos \psi &\sim -\cos \varphi \quad \text{при } Re \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (20)$$

Согласно (18)–(20) при больших Re имеет место следующее. Пластина ξ и стенка η

движутся синхронно, если «управляющий» параметр φ удовлетворяет условию

$$\varphi = \pi/2 \quad (21)$$

(если $\varphi \neq \pi/2$ синхронность отсутствует). При выполнении (21) синхронное (с движением стенки η) движение пластины ξ происходит со скоростью

$$w = \frac{\tilde{f}}{2\pi} \sin 2\pi\tau$$

(амплитуда скорости пластины ξ зависит от «управляющего» параметра \tilde{f}). Внешнее силовое воздействие, обеспечивающее синхронность движения пластины ξ и стенки η , определяется формулой

$$f = \tilde{f} \cos 2\pi\tau.$$

Пусть значения $Re > 0$ малы по сравнению с единицей. Используя (16), пренебрегая величинами, малыми по сравнению с Re , получим

$$\tilde{w} \sim -i\tilde{u} \left\{ 1 + \left[\frac{\tilde{f} e^{i\varphi}}{\tilde{u}} - i\pi(\varkappa + 2) \right] \frac{Re}{\varkappa} \right\},$$

$$\sin \psi \sim -1,$$

$$\cos \psi \sim \left[\tilde{f} \sin \varphi - \pi\tilde{u}(\varkappa + 2) \right] \frac{Re}{\varkappa\tilde{u}} \quad \text{при } Re \rightarrow 0. \quad (22)$$

Согласно (18), (19), (22) при малых Re имеет место следующее.

1. В нулевом приближении (при учете только слагаемых, не зависящих от Re) пластина ξ и стенка η движутся синхронно, независимо от того, какова сила f_{ext} (независимо от значений параметров \tilde{f}, φ).

2. В первом приближении (при учете наряду со слагаемыми, не зависящими от Re , также слагаемых, пропорциональных Re) пластина ξ и стенка η движутся синхронно или несинхронно в зависимости от значений «управляющих» параметров \tilde{f}, φ . При выполнении соотношения $\pi(\varkappa + 2)\tilde{u} / \tilde{f} > 1$ синхронность движения невозможна. Для значений «управляющего» параметра \tilde{f} , при которых выполняется соотношение $\pi(\varkappa + 2)\tilde{u} / \tilde{f} \leq 1$, пластина ξ и стенка η движутся синхронно, если «управляющий» параметр φ удовлетворяет условию

$$\sin \varphi = \pi \frac{(\varkappa + 2)\tilde{u}}{\tilde{f}} \quad (23)$$

(если $\sin \varphi \neq \pi(\varkappa + 2)\tilde{u} / \tilde{f}$, синхронность отсутствует). При выполнении (23) возможна реализация синхронного (с движением

стенки η) движения пластины ξ со следующими скоростями

$$w = \tilde{u} \left(1 + \frac{\tilde{f}}{\varkappa \tilde{a}} \operatorname{KRe} \right) \sin 2\pi\tau \quad \text{для } 0 < \varphi < \pi/2;$$

$$w = \tilde{u} \left(1 - \frac{\tilde{f}}{\varkappa \tilde{a}} \operatorname{KRe} \right) \sin 2\pi\tau \quad \text{для } \pi/2 < \varphi < \pi;$$

$$w = \tilde{u} \sin 2\pi\tau \quad \text{для } \varphi = \pi/2,$$

где

$$K = \frac{1}{\tilde{f}} \sqrt{\tilde{f}^2 - \pi^2 (\varkappa + 2)^2 \tilde{u}^2}.$$

Внешнее силовое воздействие, обеспечивающее синхронность движения пластины ξ и стенки η , определяется формулами

$$f = \tilde{f} \left[K \sin 2\pi\tau + \pi \frac{(\varkappa + 2) \tilde{u}}{\tilde{f}} \cos 2\pi\tau \right]$$

$$\text{для } 0 < \varphi < \pi/2;$$

$$f = \tilde{f} \left[-K \sin 2\pi\tau + \pi \frac{(\varkappa + 2) \tilde{u}}{\tilde{f}} \cos 2\pi\tau \right]$$

$$\text{для } \pi/2 < \varphi < \pi;$$

$$f = \tilde{f} \cos 2\pi\tau \quad \text{для } \varphi = \pi/2.$$

Заключение

Рассмотрена новая задача о движении гидромеханической системы с вязкой жидкостью. Найдено точное решение задачи. Установлена возможность осуществления синхронизации периодического движения твердых частей гидромеханической системы посредством внешнего периодического

силового воздействия на систему. Обнаружено, что при наличии синхронности движение свободной твердой части системы может происходить с различными скоростями. Полученные результаты могут использоваться, в частности, в исследованиях прикладного характера, касающихся динамики гидромеханических систем.

Список литературы

1. Сенницкий В.Л. Парадоксальное движение жидкости // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 8 (1). С. 28–33. DOI: 10.17513/mjprfi.11753.

2. Серегина М.А., Модорский В.Я., Черепанов И.Е., Бабушкина А.В. Численное моделирование распространения волны в прямоугольном канале с препятствиями в связанной постановке // Всероссийская научно-техническая конференция «Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2024» (Пермь, 18–20 ноября 2024 г.). Пермь: ПНИПУ, 2024. 241 с. С. 183–184. ISBN 978-5-398-03226-0.

3. Таран О.П. Гидропереработка возобновляемого растительного сырья // Научно-технологический симпозиум «Гидропроцессы в катализе» (Сочи, 3–6 октября 2024 г.). Сборник тезисов. Новосибирск: Институт катализа СО РАН, 2024. 216 с. С. 19–20. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=73805219>. ISBN 978-5-906376-57-2 (дата обращения: 10.04.2025).

4. Севостьянова Н.Т. Синтезы сложных эфиров путем карбонилирования с использованием CO: минимизация образования побочных продуктов в целях повышения экологической безопасности // Международная научно-техническая конференция «Минские научные чтения – 2024» (Минск, 3–5 декабря 2024 г.). Сборник статей в 3-х т. Т. 3. Минск: БГТУ, 2024. 400 с. С. 316–319. URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/68845/1/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%D1%8F%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7%D1%8B.pdf (дата обращения: 10.04.2025). ISBN 978-985-897-238-7.

5. Карпунин И.Э., Козлов В.Г. Осцилляционная динамика границы раздела жидкостей в радиальной ячейке Хеле-Шоу // Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 3. С. 62–73. DOI: 10.15372/PMTF202215190.

6. Сенницкий В.Л. Особенности динамики вязкой жидкости со свободной границей при периодических воздействиях // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2024. Т. 32. № 2. С. 197–208. DOI: 10.18500/0869-6632-003091.

СТАТЬЯ

УДК 615.074

**ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА
ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ФАРМАЦИИ****Трубицына И.М., Василенко И.А.***Институт фармации и биотехнологии РУДН, Москва, e-mail: irina.cymbal@mail.ru*

Жирные кислоты и их производные находят широкое применение в фармации как вещества, обладающие собственной фармакологической активностью, и вспомогательные вещества в фармацевтической технологии. Ввиду постоянного совершенствования современных средств измерений и программного обеспечения, а также появления новых требований к достоверности результатов испытаний, на данный момент актуальным становится проведение валидации методик определения состава жирных кислот на современном оборудовании. В ходе данной работы проведена валидация методики определения состава жирных кислот в таком вспомогательном веществе фармацевтической технологии, как стеарат магния. Валидация проведена с использованием газового хроматографа Shimadzu GC-2010 в комплекте с пламенно-ионизационным детектором, программного обеспечения LabSolutions, а также фармакопейных стандартных образцов пальмитиновой и стеариновой кислот. В качестве испытуемого образца выступал произведенный в Нидерландах стеарат магния. Перед хроматографическим разделением проводилась дериватизация с использованием метанольного раствора трифторида бора. В ходе валидации подтверждена линейность, правильность, специфичность, внутрिलाбораторная прецизионность, повторяемость и робастность методики. Установлены предел обнаружения, предел количественного определения и аналитическая область методики. Доказано, что данная методика пригодна для получения достоверных сведений об испытуемом образце с высокой точностью.

Ключевые слова: валидация, газовая хроматография, состав жирных кислот, дериватизация

**VALIDATION OF METHODS FOR DETERMINING
THE COMPOSITION OF FATTY ACIDS IN PHARMACY****Trubitsyna I.M., Vasilenko I.A.***Institute of Pharmacy and Biotechnology RUDN, Moscow, e-mail: irina.cymbal@mail.ru*

Fatty acids and their derivatives are widely used in pharmacy as substances with their own pharmacological activity and as auxiliary substances in pharmaceutical technology. Due to the constant improvement of modern measuring instruments and software, as well as the emergence of new requirements for the reliability of test results, validation of methods for determining the composition of fatty acids on modern equipment is currently becoming relevant. The validation of the method for determining the composition of fatty acids in such an auxiliary substance of pharmaceutical technology as magnesium stearate was carried out in the course of this work. Validation was carried out using a Shimadzu GC-2010 gas chromatograph complete with a flame ionization detector, LabSolutions software, and pharmacopoeial standard samples of palmitic and stearic acids. The test sample was magnesium stearate produced in the Netherlands. Derivatization was performed using a methanol solution of boron trifluoride prior to chromatographic separation. The linearity, accuracy, specificity, intra-laboratory precision, repeatability and robustness of the method were confirmed during validation. The detection limit, the limit of quantification and the analytical range of the method were established. It has been proven that this method is suitable for obtaining reliable information about the test sample with high accuracy.

Keywords: validation, gas chromatography, fatty acid composition, derivatization

Введение

Жирные кислоты и их производные находят широкое применение в фармации. Некоторые из них обладают своей собственной фармакологической активностью [1-3]. Например, полиненасыщенные жирные кислоты и некоторые виды растительных масел. Среди вспомогательных веществ в фармацевтической технологии имеется внушительное количество жирных кислот и их производных, которые обладают эмульгирующими, скользкими, противоположающими и пластифицирующими свойствами.

Для подтверждения подлинности и количественного определения примесей при исследовании подобного рода веществ применяется метод газовой хроматографии

[4; 5]. Согласно рекомендациям XV издания Государственной фармакопеи (ГФ) и международных стандартов, любую аналитическую методику необходимо подвергать валидации, что выражается в экспериментальном подтверждении пригодности таковой к практическому использованию в лаборатории в плане обеспечения получения достоверной информации об объекте исследования [6; 7].

Но методики исследования состава жирных кислот методом газовой хроматографии используются в практике лабораторий с середины прошлого века. С тех пор происходило постоянное совершенствование газовых хроматографов и программного обеспечения, а также появление новых подходов

к обработке хроматограмм и современных требований к достоверности результатов испытаний. А потому проведение валидации методики определения состава жирных кислот с использованием современного оборудования и программного обеспечения представляется актуальной задачей.

Целью исследования является обоснование выбора метода дериватизации стеарата магния для дальнейшего исследования методом газовой хроматографии и оптимизация условий хроматографического разделения. Посредством исследования намечено доказать повторяемость, внутрилабораторную прецизионность, робастность и правильность. Задачей ставится оценка предела обнаружения, предела количественного определения и аналитической области методики.

Материалы и методы исследования

Валидация методики проводится с использованием газового хроматографа Shimadzu 2010 в комплекте с пламенно-ионизационным детектором. Образцы европейской фармакопеи пальмитиновой и стеариновой кислот выступают в качестве стандартных. Испытуемым образцом является произведенный в Нидерландах стеарат магния. А для хроматографического разделения используется капиллярная колонка DB-WAX, Agilent, которая изготовлена из плавленого диоксида кремния, имеет длину 30 м и диаметр 0,32 мм, а также нанесенную фазу макрогол 20000 Р с толщиной пленки в 0,5 мкм.

Результаты исследований и их обсуждение

Дериватизация используется в анализе состава жирных кислот с целью получения более летучих дериватов. Жирные кислоты за счет высокой молекулярной массы и наличия гидроксильных полярных групп, склонных к образованию водородных связей, обладают низкой летучестью. Алкилирование, по результатам которого получают метиловые, этиловые и пропиловые эфиры карбоновых кислот, чаще всего применяют для исследования жирных кислот и их производных методом газовой хроматографии.

Сложные эфиры из свободных жирных кислот получают этерификацией, а в случае с триацилглицеридами и прочими производными жирными кислотами используется переэтерификация [8; 9]. Однако в щелочных условиях свободные жирные кислоты не этерифицируются, поэтому переэтерификация не подходит для триацилглицеридов с их содержанием. А переэтерификация и этерификация в последова-

тельных щелочных и кислотных условиях пригодна для всех триглицеридов, которые не содержат лауриновые жирные кислоты [10]. Для проб с жирными кислотами целесообразно применять метод этерификации в кислотных условиях. Метанольный раствор трифторида бора этерифицирует свободные жирные кислоты и переэтерифицирует сложные эфиры жирных кислот [11]. И поэтому для получения метиловых эфиров из стеарата магния и используемых в качестве стандартных образцов пальмитиновой и стеариновой кислот выбран трифторид бора в метаноле (14%-ный раствор).

Объектом валидации выступает методика определения состава жирных кислот во вспомогательном веществе «магния стеарат» в соответствии с монографией 01/2022-0229 из 11 издания Европейской фармакопеи [12]. По итогам работы внесены некоторые уточнения в методику. Так, установлено, что деление потока газа-носителя 1 к 20 способствует отсутствию перегрузки капиллярной колонки и соблюдению требований к пригодности хроматографической системы. Перед валидацией важно проводить проверку пригодности хроматографической системы на соответствие требованиям методики, результаты которой представлены в таблице 1. Высокое значение разрешения между пиками метилпальмитата и метилстеарата указывает на то, что методика специфична.

Примеры хроматограмм представлены на рисунках 1 и 2.

В процессе валидации доказана линейность методики в широком диапазоне концентраций растворов стандартных образцов по 10 точкам от предела обнаружения методики до 120% от максимальной концентрации жирной кислоты в пробе. Рассчитанные коэффициенты корреляций составляют 0,9991 для пальмитиновой кислоты и 0,9993 для стеариновой кислоты, что выше требований ГФ РФ XV к коэффициенту 0,99. Построенные графики линейных зависимостей представлены на рисунках 3 и 4. Свободные члены линейных зависимостей ничтожно малы. Ниже допустимого уровня шума прибора 100 мкВ.

В процессе валидации удалось установить внутрилабораторную прецизионность методики посредством оценки значимости различий дисперсий двух выборок, полученных двумя разными операторами после проверок данных выборок на однородность [13-15]. Каждая выборка состояла из 10 повторностей. Расчетный критерий Фишера в данном случае ниже табличного значения. Также оценена робастность методики при замене газа-носителя с гелия на азот. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 1

Проверка пригодности хроматографической системы

Критерии приемлемости	Требования	Результат
Время удерживания пика метилпальмитата относительно пика метилстеарата	около 0,9	0,8846
Разрешение между пиком метилпальмитата и пиком метилстеарата на хроматограмме стандартного раствора	не менее 5,0	43,0
Относительное стандартное отклонение для площадей пиков метилпальмитата по результатам 6 повторных инъекций стандартного раствора	не более 3,0%	1,8%
Относительное стандартное отклонение для площадей пиков метилстеарата по результатам 6 повторных инъекций стандартного раствора	не более 3,0%	1,4%
Относительное стандартное отклонение для отношения площадей пиков метилпальмитата и метилстеарата по результатам 6 повторных инъекций стандартного раствора	не более 1,0%	0,4%

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

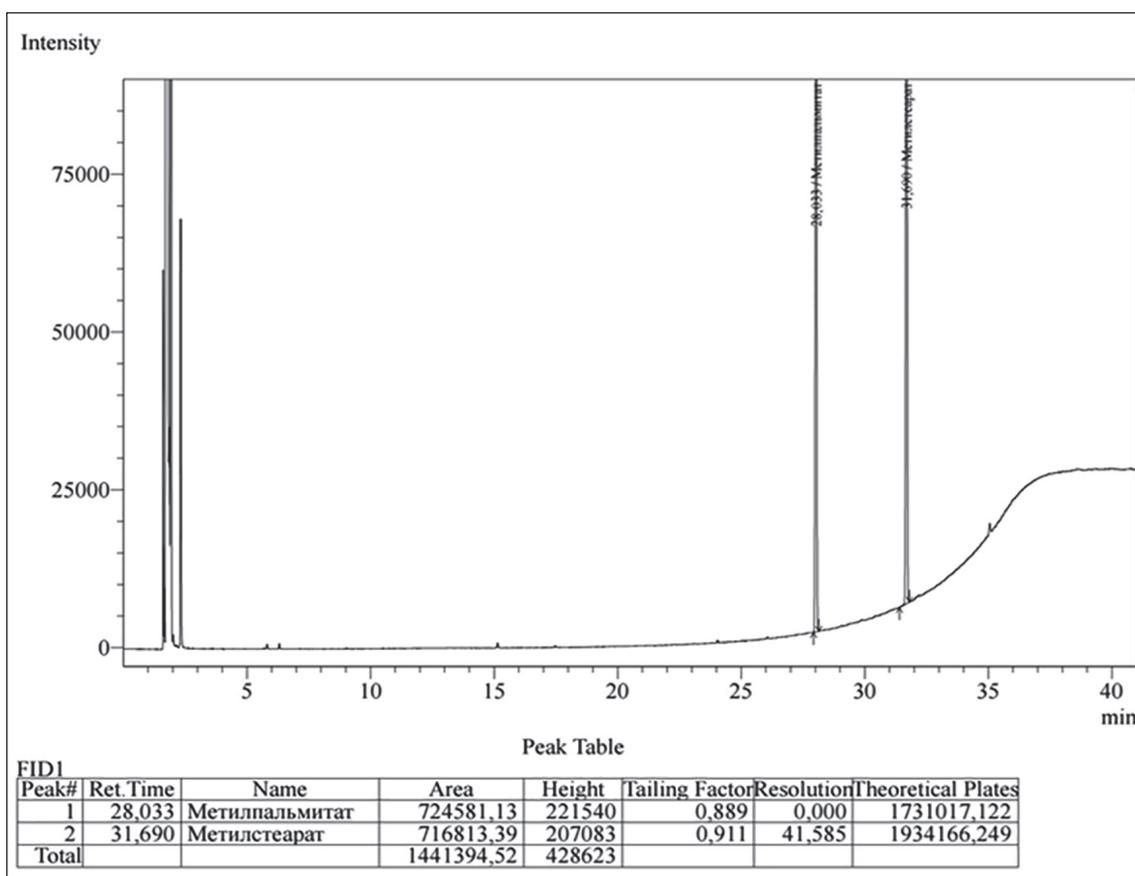


Рис. 1. Единичная хроматограмма стандартного раствора
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Вывявленные в ходе валидации характеристики методики приведены в таблице 3. Для определения предела обнаружения и предела количественного определения использовался метод инструментальной оценки. В процессе валидации установлена концентрация раствора стандартных образцов, которая образует пик на хроматограмме с отноше-

нием уровня сигнала к шуму, равным 3. Данная концентрация (0,0125% от суммы жирных кислот) является пределом обнаружения. Концентрация раствора стандартных образцов, которая образует пик на хроматограмме с отношением сигнала к шуму, равным 10, является пределом количественного определения (0,04% от суммы жирных кислот).

Таблица 2

Оценка значимости различий дисперсий двух выборок при оценке показателей «внутрилабораторная прецизионность», «робастность»

Наименование показателя	Внутрилабораторная прецизионность		Робастность	
	Метилпальмитат	Метилстеарат	Метилпальмитат	Метилстеарат
Критерий Фишера табличный, F (0,05;9;9)	3,18			
Критерий Фишера расчетный	1,69	1,69	2,86	2,86

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

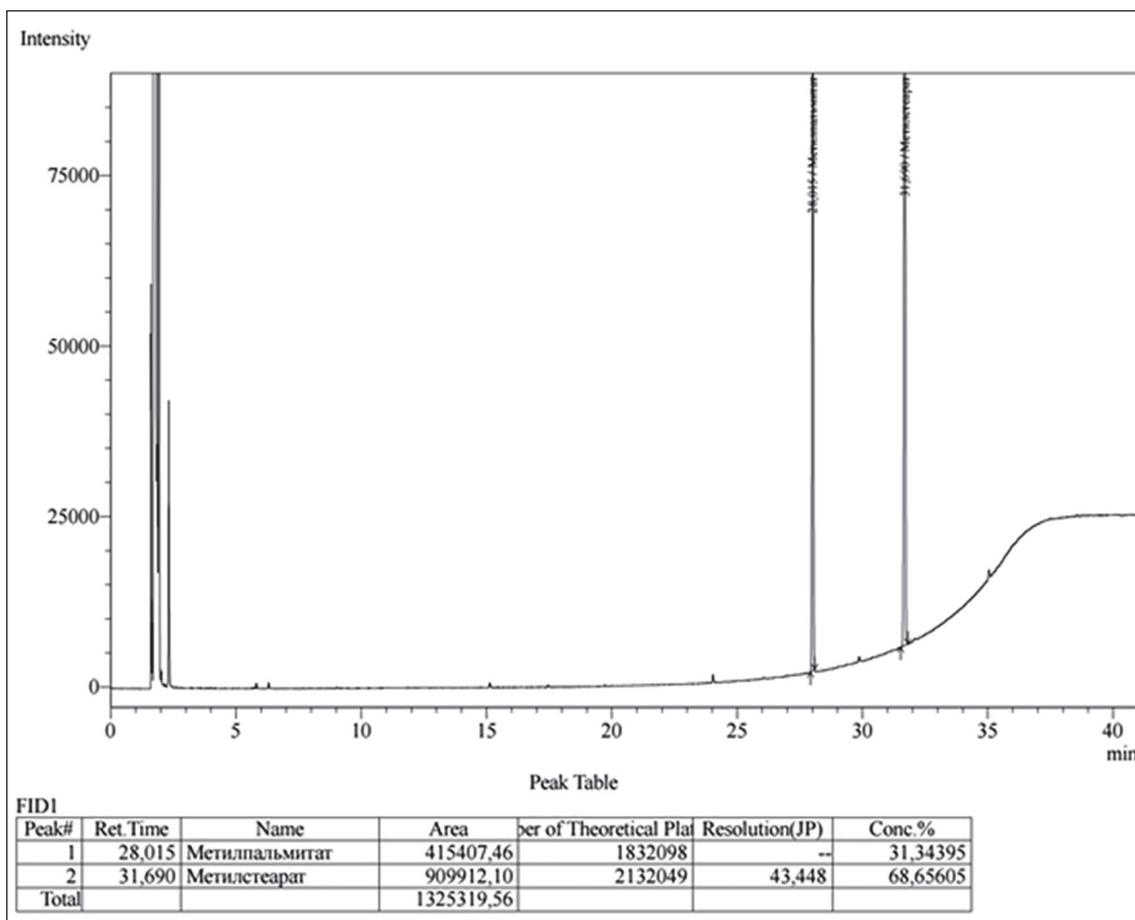


Рис. 2. Единичная хроматограмма испытуемого раствора
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 3

Показатели, установленные в результате валидации методики

Показатель повторяемости	0,027%
Показатель внутрилабораторной прецизионности	0,076%
Аналитическая область методики	От 0,0125% до 100% от суммы жирных кислот
Предел количественного определения	0,04% жирной кислоты от суммы жирных кислот
Предел обнаружения	0,0125% жирной кислоты от суммы жирных кислот
Неопределенность результатов исследования	0,06%

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

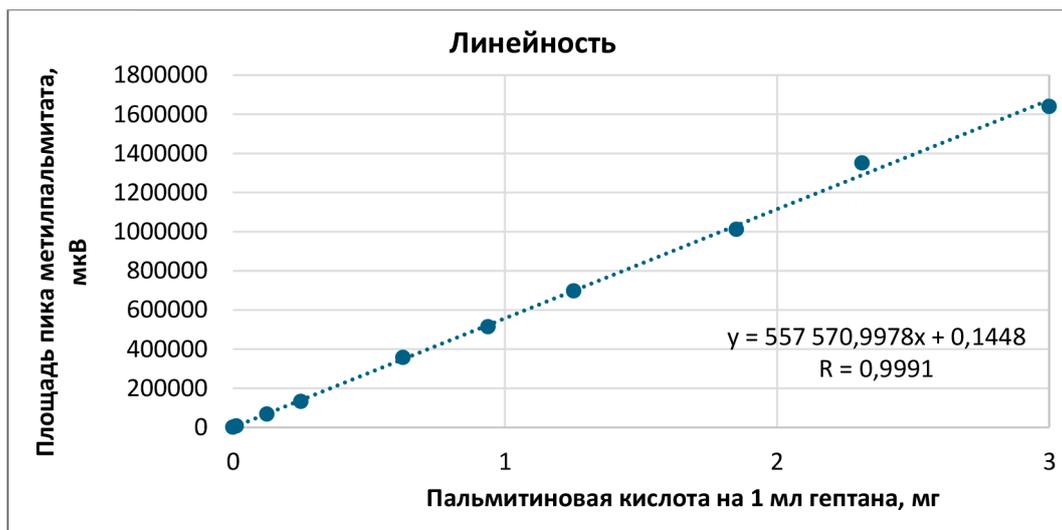


Рис. 3. График зависимости площадей пиков метилпальмитата от массы навески пальмитиновой кислоты
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

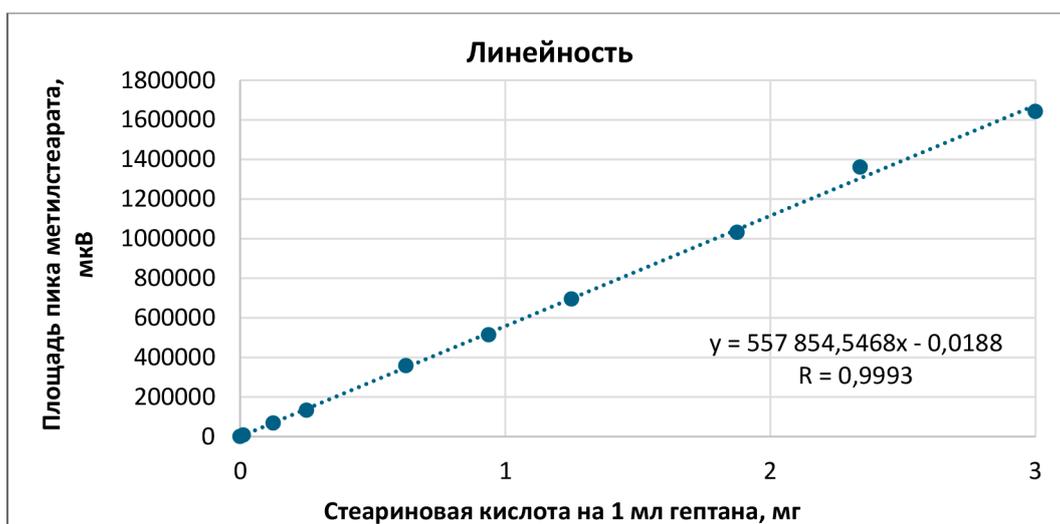


Рис. 4. График зависимости площадей пиков метилстеарата от массы навески стеариновой кислоты
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Заключение

В процессе исследования теоретически обосновано использование 14% раствора трифторида бора в метаноле для дериватизации стеарата магния, подобраны условия проведения хроматографического разделения и установлено значение деления потока газа-носителя 1:20. Проведена валидация методики исследования состава жирных кислот с использованием современных поверенных средств измерения. По итогам валидации определено, что методика характеризуется соблюдением линейности

в широком диапазоне от 0,0125% до 120% и специфична, доказана ее правильность. Полученные результаты оценки повторяемости, внутрिलाбораторной прецизионности и робастности методики удовлетворяют критериям приемлемости.

Валидация методики исследования состава жирных кислот подтверждает собственную пригодность для получения достоверных сведений об испытуемом образце с высокой точностью. Установленный предел обнаружения 0,0125% от суммы жирных кислот оказался лучше значения

в 1%, которое присуще для более ранних сведений о характеристиках подобных методик. Предел количественного определения составил 0,04%, что соответствует указаниям современных методик исследования состава жирных кислот, согласно которым не учитываются пики менее 0,05% от суммарного содержания жирных кислот.

Список литературы

1. Плавинский С.Л., Барина А.Н. Использование препарата высококонцентрированных полиненасыщенных жирных кислот в профилактике осложнений после перенесенного инфаркта миокарда. Анализ стоимость-польза // Медицина. 2017. Т. 5. № 4. (20). С. 8-20. URL: <https://fsmj.ru/file/15/000/000310.pdf> (дата обращения: 22.05.2025). DOI: 10.29234/2308-9113-2017-5-4-8-20. EDN: YPSZMN.
2. Синькова М.Н., Исаков Л.К., Тарасов Н.И., Тепляков А.Т. Отдаленные эффекты влияния омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на течение ишемической болезни сердца у больных, перенесших инфаркт миокарда с подъемом сегмента ST на фоне многососудистого стенозирующего атеросклероза коронарных артерий // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2014. Т. 13. № 6. С. 32-37. URL: <https://cardiovascular.elpub.ru/jour/article/download/79/83> (дата обращения: 22.05.2025). DOI: 10.15829/1728-8800-2014-6-32-37. EDN: TBSPAL.
3. Титов В.Н., Иванов Г.А., Антонов А.М. Лауриновая жирная кислота, среднепечочные триглицериды, позитивное действие при синдроме резистентности к инсулину, дегенеративной патологии нейронов, атеросклерозе и атероматозе // Клиническая лабораторная диагностика. 2019. Т. 64. № 2. С. 68-77. URL: <https://kld-journal.fedlab.ru/0869-2084/issue/download/9072/3961> (дата обращения: 22.05.2025). DOI: 10.18821/0869-2084-2019-64-2-68-77. EDN: PPVOIB.
4. Тринеева О.В. Особенности оценки качества и перспективы стандартизации жирных растительных масел и масляных экстрактов фармацевтического назначения (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. № 2 (15). С. 114-134. URL: <https://www.pharmjournal.ru/jour/article/download/93/92> (дата обращения: 22.05.2025). EDN: WYJZMH.
5. Тринеева О.В., Сливкин А.И. Изучение жирнокислотного состава растительных масел и масляных экстрактов фармацевтического назначения методами ГЖХ и ИКС // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 2. С. 212-219. URL: <https://journals.vsu.ru/sorpchrom/article/download/1342/1401/> (дата обращения: 22.06.2025). EDN: VWHRRP.
6. ОФС.1.1.0012 Валидация аналитических методик. Общая фармакопейная статья. 2023. 15 с. [Электронный ресурс]. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/063/402/original/ОФС_Валидация_аналитических_методик.docx (дата обращения: 22.05.2025).
7. Киричевский М., Комарова С.С. Верификация методики измерений в химической лаборатории // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики: сборник статей участников III Международной научно-практической конференции молодых ученых. Екатеринбург, 2021. С. 262-268. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/107525/3/978-5-91256-544-1_2021.pdf (дата обращения: 22.05.2025). EDN: HYPUDV.
8. ОФС.1.5.3.0017 Определение состава жирных кислот в маслах жирных растительных и жирах. Общая фармакопейная статья. 2023. 9 с. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/063/532/original/ОФС_Определение_состава_жирных_кислот_в_маслах_жирных_растительных_и_жирах.docx (дата обращения: 22.05.2025).
9. ГОСТ 31665-2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот. М.: Стандартиформ, 2013. 12 с. URL: <https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=&RegNum=15&id=176472> (дата обращения: 22.05.2025).
10. 2.4.22. Composition of fatty acids by gas chromatography. Methods of analysis. European pharmacopoeia 11.0. 2023. P. 157-159. ISBN 978-92-871-9105-2.
11. ISO 12966-2 Жиры и масла животные и растительные. Газовая хроматография метиловых эфиров жирных кислот. 2011. 11 с.
12. Magnesium stearate. 01/2022:0229. Monographs. European pharmacopoeia 11.0 2023. P. 3535-3538. ISBN 978-92-871-9105-2.
13. ОФС.1.1.0013 Статистическая обработка результатов физических, физико-химических и химических испытаний. Общая фармакопейная статья. 2023. 51 с. URL: https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/063/628/original/ОФС_Статистическая_обработка_результатов_физич_физико-химич_и_химич_испытаний.docx (дата обращения: 22.05.2025).
14. ГОСТ Р ИСО 21748-2021 Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений. М.: ФГБУ «РСТ», 2021. 36 с.
15. МИ 2336-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 58 с.