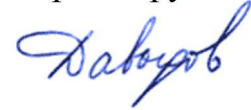


На правах рукописи



ДАВЫДОВ ДЕНИС ОЛЕГОВИЧ

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА УСТАНОВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИИ И КОНТРОЛЯ ПЕРЕВОЗКИ
СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

2.9.4. Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 2021

Работа выполнена в акционерном обществе «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»)

Научный руководитель: кандидат технических наук
Винокурова Татьяна Алексеевна

Официальные оппоненты: **Кириллова Алевтина Григорьевна**
доктор технических наук, профессор, Акционерное общество «РЖД Логистика», руководитель проектного офиса;

Коровяковский Евгений Константинович

кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Логистика и коммерческая работа», и.о. заведующего кафедрой

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», г. Москва

Защита состоится 22 декабря 2021 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.02 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, Москва ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ) <https://miit.ru/>.

Автореферат разослан «___» ноября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сидоренко Валентина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Перевозка скоропортящихся грузов – это особый вид перевозок, имеющий большую социальную значимость и оказывающий влияние на здоровье населения. Правильный выбор технологии перевозки и транспортного средства обеспечивают сохранение качества перевозимого скоропортящегося груза за счет соблюдения требуемых температурных условий, что в свою очередь обеспечивает выполнение требований продовольственной безопасности.

Новые правила перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов (ППСГ), вступившие в силу в конце 2019 года, отменили прежнее централизованное нормативно-техническое регулирование, осуществлявшееся перевозчиком на основе соответствующих методик и исходных данных, и возложили выбор транспортного средства и технологии перевозки на грузоотправителя, не имеющего необходимого методического обеспечения для решения данной задачи. В этих условиях становится актуальным проведение научных исследований в области разработки научно обоснованных рекомендаций по установлению и контролю технологии для каждой конкретной перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом с учетом заданного направления перевозки и даты приема груза к перевозке в комплексе с решением вопросов, связанных с установлением расчетного температурного воздействия на груз в процессе перевозки, оценкой возможной продолжительности перевозки в специализированном транспортном средстве (далее – СТС), установлением параметров СТС, обеспечивающих сохранение качества скоропортящегося груза при перевозке. При этом предлагаемые решения должны быть предназначены для применения в условиях создания и внедрения информационных технологий управления грузовыми перевозками.

Практическая реализация предполагаемых решений при использовании СТС затруднена вследствие того, что актуальные теплотехнические параметры находящихся в эксплуатации изотермических вагонов и термических контейнеров в настоящее время не определены в соответствии с «Соглашением о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок»

(СПС), в том числе по причине отсутствия для вагонов специализированной климатической камеры (далее – камера). Проведение испытаний в ангаре вместо камеры требует применения научно обоснованной методики определения расчетного значения общего коэффициента теплопередачи кузова СТС без помещения СТС в камеру как нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС.

Степень разработанности темы. Большой вклад в исследование проблемы выбора технологии перевозки и установления ее параметров, при которых обеспечивается сохранение качества скоропортящихся грузов, внесли известные учёные: Б.Н. Китаев, М.Н. Тертеров, Н.Е. Лысенко, В.Н. Панферов, В.В. Ефимов, Э.Б. Вальт, С.Б. Левин, А.Г. Кириллова, С.Н. Науменко и другие.

Анализ выполненных исследований показал их высокую значимость для ранее действовавшего централизованного нормативно-технического регулирования перевозок скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом. В рамках проведенных исследований автором, совместно с учеными А.П. Дюбко и Е.А. Васюковой были предложены методы установления общесетевых расчетных температур наружного воздуха, определения предельных сроков перевозки тарно-штучных грузов как в режиме «термос», так и с поддержанием температурного режима. Совместно с Н.А. Соколовой проводились работы в составе рабочей группы по перевозкам скоропортящихся пищевых продуктов (РГ.11) КВТ ЕЭК ООН.

Вместе с тем проведенные исследования не позволяют выбрать возможные технологии перевозки в условиях нового правового регулирования и установить их параметры, при которых обеспечивалось бы сохранение качества скоропортящегося груза при каждой конкретной перевозке.

Целью диссертации является решение научной задачи совершенствования методов и разработки алгоритмов установления и контроля технологии перевозки скоропортящихся грузов в условиях изменившегося правового регулирования, создания и внедрения информационных технологий, имеющей важное значение для транспортной отрасли.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные задачи:**

– проанализировать действующую систему управления перевозками скоропортящихся грузов на железнодорожном транспорте и научные работы, выполненные по рассматриваемой тематике, обосновать направление,

актуальность и состав исследований;

– разработать методику, включающую методы и алгоритмы установления технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом с учетом заданного направления перевозки и даты приема груза к перевозке в комплексе с решением вопросов, связанных с установлением расчетного температурного воздействия на груз в процессе перевозки и определением параметров специализированного транспортного средства, а также оценить эффективность ее применения;

– разработать методику определения и практического применения, в том числе, при освидетельствовании СТС, значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС на основе результатов проведения испытаний СТС в ангаре с учетом требований СПС;

– разработать технологию автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов и требования к ее информационному обеспечению для реализации в автоматизированных системах грузоотправителя, перевозчика, оператора подвижного состава.

Объектом исследования является система управления перевозками скоропортящихся грузов на железнодорожном транспорте в условиях нового правового регулирования, создания и внедрения информационных технологий управления грузовыми перевозками.

Предметом исследования является технология перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом для заданных направления перевозки и даты приема груза к перевозке.

Научная новизна полученных автором диссертации результатов состоит в следующем:

– Разработана комплексная методика установления технологии перевозки скоропортящегося груза, позволяющая в отличие от существующих методик при обоснованных в диссертации параметрах груза установить все возможные технологии для каждой конкретной перевозки в зависимости от даты предъявления груза к перевозке, направления перевозки (станция отправления, станция назначения) и способа организации перевозки с учетом воздействия на груз окружающей среды.

– Разработана методика определения значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС (общего коэффициента теплопередачи кузова СТС) на основе испытаний СТС,

позволяющая в отличие от существующих методик по результатам проведения испытаний методом внутреннего обогрева в ангаре с приближением условий к требованиям СПС учитывать возникающие отклонения от этих требований.

– Разработана технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов и требования к информационному обеспечению на основе научно обоснованной комплексной методики, позволяющая осуществлять автоматизированный контроль данных и условий перевозки при оформлении, согласовании и реализации процесса перевозки с учетом особенностей правового регулирования.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– Предложены и обоснованы новые методы и алгоритмы, позволяющие на основе развития теории организации транспортных процессов осуществлять научно обоснованный выбор технологии перевозки скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом с учетом параметров груза и условий выполнения конкретной перевозки.

– Разработана комплексная методика установления технологии перевозки скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом, положения которой в части установления предельных сроков перевозки скоропортящихся грузов в режиме «термос» и с поддержанием температурного режима, в том числе в крупнотоннажных рефрижераторных контейнерах (КРК) на сцепе платформ, как составная часть включены в особые условия перевозок скоропортящихся грузов, утвержденные распоряжениями ОАО «Российские железные дороги» (далее – ОАО «РЖД») от 12.12.2014 № 2959р, от 20.10.2015 № 2490р, от 29.04.2016 № 797р, а также в типовую методику, утвержденную распоряжением ОАО «РЖД» от 04.12.2012 № 355 (далее – Типовая методика).

– Предложен и обоснован новый метод расчета общего коэффициента теплопередачи кузова СТС на основе результатов его измерения методом внутреннего обогрева при отсутствии специализированной климатической камеры с учетом влияния различных неблагоприятных факторов на точность расчета.

– Разработана методика определения значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС (общего коэффициента теплопередачи кузова СТС), которая прошла апробацию при теплотехнических испытаниях в ангаре как новых вагонов-термосов (ПАО «АЗОВОБЩЕМАШ», ООО «ПК «Балтика») и рефрижераторных вагонов (ООО «Русские Рефрижераторы»), так и в процессе их эксплуатации (АО «Рефсервис», ООО «ТРАНСГЕО», ООО «ПК «Балтика»). Положения методики в части расчета общего коэффициента теплопередачи кузова СТС одобрены ЕЭК ООН и включены в 2018 году в Справочник СПС. Применение предложенных методов и алгоритмов позволяет существенно (в десятки раз) сократить расходы владельцев изотермических вагонов на их освидетельствование с учетом требований СПС.

– Разработана и обоснована технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов, позволяющая контролировать выбор транспортного средства до начала перевозки и обеспечить доставку груза с соблюдением требуемых температурных условий. Практическая значимость разработанной технологии автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов заключается в возможности ее применения при автоматическом оформлении перевозочных документов в автоматизированных системах грузоотправителей, перевозчика в части установления технологии и параметров заявленной перевозки скоропортящегося груза, при подборе СТС по теплотехническим параметрам под конкретную перевозку в автоматизированных системах операторов подвижного состава, при оказании услуг через электронную торговую площадку ОАО «РЖД». Определенные в работе требования к информационному обеспечению являются основой для формирования нормативно-справочной информации.

Акты внедрения приведены в приложении диссертационной работы.

Методы исследования. При решении поставленных задач применены методы теории вероятностей и математической статистики, дифференциального исчисления.

Положения, выносимые на защиту:

– Комплексная методика установления технологии перевозки скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом.

– Методика определения значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС (общего коэффициента теплопередачи кузова СТС) на основе испытаний СТС при отсутствии специализированной климатической камеры.

– Технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов.

Достоверность результатов исследований подтверждается обоснованным применением апробированных методов исследований. Полученные результаты не противоречат исследованиям других авторов и подтверждаются положительными результатами выполненных ОАО «РЖД» перевозок скоропортящихся грузов.

Апробация результатов. Материалы, вошедшие в диссертацию, докладывались на рабочей группе по перевозкам скоропортящихся грузов (РГ.11) Европейской экономической комиссии Организации объединенных наций (КВТ ЕЭК ООН), г. Женева, 8-12 октября 2018 г.; научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ)», г. Москва, 21 ноября 2019 г.; научно-практической конференции «Контейнеры и контейнерные перевозки. Актуальные вопросы, идеи, решения», г. Санкт-Петербург, 20-21 февраля 2019 г.; селекторном совещании Национальной ассоциации лиц, осуществляющих деятельность в области цифровой экономики, (НАЦЭ) и Ассоциации организаций продуктового сектора (АСОРПС) 24 июля 2020 г.; Совете АСОРПС (протокол от 31.08.2020 № 6).

Личный вклад автора. Все результаты работы получены лично автором.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 102 наименований, 13 приложений. Диссертация изложена на 265 страницах машинопечатного текста и содержит 23 рисунка, 4 таблицы и 111 формул.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы исследования, формулируются его цель и основные задачи для ее достижения, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность и апробация результатов, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ действующей системы управления перевозками скоропортящихся грузов на железнодорожном транспорте и научных работ, выполненных по теме исследования. На основе выполненного анализа обоснованы необходимость установления технологии каждой конкретной перевозки, а также определения ее параметров, в том числе расчетного значения общего коэффициента теплопередачи кузова СТС как нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС, определяемого в условиях отсутствия специализированной климатической камеры; разработки технологии автоматизированного контроля при оформлении и в процессе перевозки скоропортящегося груза. Определены значимые параметры, влияющие на установление технологии перевозки.

Вторая глава посвящена разработке комплексной методики установления технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом (далее – комплексная методика).

Скоропортящийся груз имеет следующие параметры, влияющие на выбор технологии его перевозки: особые требования ППСГ (ГРП): мороженая пищевая рыбная продукция, мороженое мясо и мясная продукция (ГРП = 1), все остальные грузы (ГРП = 0); вид упаковки (УПК): тарно-штучный в транспортной упаковке (УПК = 1), неупакованный наливом (УПК = 2); необходимость вентилирования (ВНТ): без вентилирования (ВНТ = 0), с вентилированием (ВНТ = 1); постоянное сопровождение (СПР): с постоянным сопровождением (СПР = 1), без постоянного сопровождения (СПР = 0). Чтобы обеспечить сохранность качества груза его температура при перевозке должна соответствовать диапазону заданных грузоотправителем требуемых температурных условий (ТТУ): $[t_{\text{трmin}}, t_{\text{трmax}}]$. Кроме того, известны масса груза брутто ($G_{\text{гр}}$), станции отправления и назначения, способ организации перевозки, а также дата приема скоропортящегося груза к перевозке (T_0).

Рассматриваются следующие технологии перевозки скоропортящихся грузов: защита только от атмосферных осадков (ТХ3), при которой кузов не препятствует теплообмену, температурные условия внутри кузова изменяются вместе с температурой окружающей среды, при отсутствии вентилирования дополнительный теплоприток за счет излучения от солнца и железнодорожного полотна ведет к дополнительному росту температуры внутри кузова ($\Delta t_{и}$); режим «термос» (ТХ2), при которой кузов ограничивает теплообмен, температурные условия перевозки изменяются в направлении усредненных параметров окружающей среды, груз выступает аккумулятором тепловой энергии, вентилирование не допустимо; поддержание температурного режима (ТХ1), при которой кузов ограничивает теплообмен, остаточный теплоприток компенсируется работой термического оборудования, вследствие чего температурные условия перевозки не зависят от окружающей среды при наличии запаса топлива (V_T) в дизель-генераторном устройстве (ДГУ), а в случае израсходования запаса топлива ($V_T = 0$) термодинамическая система переходит в состояние, аналогичное ТХ2.

Требуется, исходя из заданных условий, определить, какие технологии перевозки возможны и установить их параметры, обеспечивающие соблюдение ТТУ при перевозке груза.

Для скоропортящегося груза, описываемого совокупностью параметров {ГРП, УПК, ВНТ} возможными технологиями перевозки являются:

$$\begin{cases} \text{ТХ1 при } (\text{ГРП} = 0 \vee \text{ГРП} = 1) \wedge \text{УПК} = 1 \wedge (\text{ВНТ} = 0 \vee \text{ВНТ} = 1) \\ \text{ТХ2 при } (\text{ГРП} = 0 \vee \text{ГРП} = 1) \wedge (\text{УПК} = 1 \vee \text{УПК} = 2) \wedge \text{ВНТ} = 0 \\ \text{ТХ3 при } \text{ГРП} = 0 \wedge \text{УПК} = 1 \wedge (\text{ВНТ} = 0 \vee \text{ВНТ} = 1) \end{cases} \quad (1)$$

Принимаем, что температура предъявляемого к перевозке груза ($t_{грн}$) соответствует ТТУ. Тогда выход температуры груза при перевозке за границы диапазона ТТУ ($(t_{гр} < t_{грmin}) \vee (t_{гр} > t_{грmax})$) возможен только в случае внешнего температурного воздействия (t_{ext}), величина которого также находится за границами диапазона ТТУ: $(t_{ext} < t_{грmin}) \vee (t_{ext} > t_{грmax})$. В случае использования СТС с термоизолированным кузовом (ТХ1 или ТХ2), так как после закрытия дверей в процессе перевозки в толще такого кузова происходит гашение температурных колебаний, примем: $t_{ext} = \bar{t}_н$, где $\bar{t}_н$ – средняя расчетная температура наружного воздуха; в случае использования УКВ, УКК (ТХ3), $t_{ext} = \{t_н + \Delta t_{и}\}$, если ВНТ = 0, и $t_{ext} = \{t_н\}$, если ВНТ = 1.

При $t_{\text{трmin}} \leq t_{\text{ext}} \leq t_{\text{трmax}}$ выбранная технология может использоваться без установления параметров и их соблюдения; при $\left((t_{\text{ext}} < t_{\text{трmin}}) \vee (t_{\text{ext}} > t_{\text{трmax}}) \right) \wedge \text{СПР} = 0$ необходимо установить параметры соответствующих технологий и контролировать их соблюдение. При $\text{СПР} = 1$ установление и соблюдение технологии перевозки скоропортящегося груза полностью относится к компетенции грузоотправителя, не зависит от перевозчика и не требует контроля с его стороны.

Расчетную температуру наружного воздуха предложено определять путем анализа статистических метеоданных по разработанному автором алгоритму, включающему:

– привязку k равных элементарных отрезков, на которые разбивается маршрут перевозки (M), с датой и временем их проследования $T_0 \leq T_k \leq (T_0 + \tau_{\text{дост}})$, где $\tau_{\text{дост}}$ – срок доставки груза, сут, к I опорным метеостанциям по кратчайшему расстоянию между ними:

$$(k, i) \leftarrow \min_{i=1..I} S(\overline{LAT_k}, \overline{LON_k}), (LAT_i, LON_i), \quad (2)$$

где (k, i) – установленная привязка k -го элементарного отрезка ($k \in M$) к i -й метеостанции ($i \in I$); $S(\overline{LAT_k}, \overline{LON_k}), (LAT_i, LON_i)$ – расстояние между центром k -го элементарного отрезка и i -й метеостанцией, м;

– извлечение метеоданных за Y предшествующих рассматриваемой перевозке лет с последующей их обработкой прикладными методами математической статистики малых рядов:

$$t_{\text{н}i_d} \leftarrow \left(f_{\text{interp}} \left(\{t_{\text{н}i_{d,y}}, p_{t_{\text{н}i_{d,y}}}\} \right) = p \right), \quad (3)$$

где $t_{\text{н}i_d}$ – расчетная температура наружного воздуха по i -й метеостанции за d -е сутки проследования привязанных к i -й метеостанции элементарных отрезков, °C; $\{t_{\text{н}i_{d,y}}\}$ – множество отсортированных в порядке убывания значений среднесуточной температуры наружного воздуха по i -й метеостанции за d -е сутки и y -й год ($y \in Y$), °C; $\{p_{t_{\text{н}i_{d,y}}}\}$ – обеспеченность температуры в y -й год, доля единицы; p – заданная надежность определения расчетной температуры наружного воздуха ($p = 0,95$). $\bar{t}_{\text{н}} = \overline{\{t_{\text{н}i_d}\}}$.

При выборе ТХ1 и $\left(\left(\bar{t}_H < \max_{j=1..J} t_{\text{трmin}_j} \right) \vee \left(\bar{t}_H > \min_{j=1..J} t_{\text{трmax}_j} \right) \vee \left(\max_{j=1..J} \text{ВНТ}_j = 1 \right) \right) \wedge \text{СПР} = 0$ подлежит установлению, как параметр перевозки, запас топлива в общем для J СТС ДГУ ($V_{\text{Тmin}}$), обеспечивающий перевозку в течение срока доставки, при следующих ограничениях:

$$Q_j(\bar{t}_H, K_{Hj}, F_j) < N_j, j = 1..J; \sum_{j=1}^J W_j < W_H, \quad (4)$$

где Q_j , N_j , W_j – соответственно, расчетный теплоприток, производительность и энергопотребление термического оборудования j -го СТС, Вт; W_H – номинальная мощность ДГУ, Вт; K_{Hj} , F_j – соответственно, общий коэффициент теплопередачи кузова j -го СТС, определенный по методике, приведенной в главе 3, Вт/(м²·К), средняя площадь кузова, м², j -го СТС.

Определим $V_{\text{Тmin}}$ в соответствии с расчетными циклами работы термического оборудования СТС и вероятностью нахождения термического оборудования СТС в конкретном варианте энергоснабжения ((в) – включено, (о) – отключено):

$$V_{\text{Тmin}} = \left(\tau_{\text{дост}} - \min_{j=1..J} \left(\tau_{\text{терм.ост}_j} \right) \right) \cdot 24 \cdot \left(R_{0э} + r \times \left(\sum_{j=1}^J P_{0\text{т.о.}_j} + \sum_{x=1}^{2^J} \left[\prod_{j=1}^J \left(\frac{K_{Hj} \cdot F_j \cdot \left| \bar{t}_{\text{тр}_j} - \bar{t}_H \right| \pm Q_{\text{вн}}}{N_j}, (в) \right) \cdot \sum_{j=1}^J W_{j_x} \right] \right) \right), \quad (5)$$

где $\tau_{\text{терм.ост}_j}$ – остаточный предельный срок перевозки груза в j -м СТС после израсходования топлива в ДГУ, сут, определяемый аналогично $\tau_{\text{терм}}$ для ТХ2; $R_{0э}$ – расчетный расход топлива на собственные нужды ДГУ, л/ч; r – приведенный расход топлива на выработку электроэнергии, л/Вт-ч; $P_{0\text{т.о.}_j}$ – суммарная средняя мощность постоянно работающих блоков j -го СТС, Вт; $\bar{t}_{\text{тр}_j}$ – значение середины диапазона ТТУ для j -го СТС, °С; $Q_{\text{вн}}$ – внутренние тепловыделения (некоторые виды грузов, вентиляторы-циркуляторы).

Для ТХ2 при $\left(\left(\bar{t}_H < t_{\text{трmin}} \right) \vee \left(\bar{t}_H > t_{\text{трmax}} \right) \right) \wedge \text{СПР} = 0$ подлежит

установлению в качестве параметра значение общего коэффициента теплопередачи кузова СТС, обеспечивающее сохранение качества скоропортящегося груза при перевозке (K_{max}). Применение ТХ2 возможно при условии, что $K_H \leq K_{max}$, где K_H – значение общего коэффициента теплопередачи кузова СТС, определенное по методике, приведенной в главе 3, Вт/(м²·К). Значение K_{max} получается решением уравнения:

$$\tau_{терм}(\bar{t}_H, K_{max}, F, G_{гр}, c_{гр}) = \tau_{дост}, \quad (6)$$

где $\tau_{терм}$ – предельный срок перевозки груза в режиме «термос», сут.; F – средняя площадь кузова СТС, м²; $c_{гр}$ – удельная теплоемкость груза, кДж/(кг·К).

Решение уравнения (6) относительно K_{max} для УПК = 2 имеет вид:

$$K_{max} = \frac{\bar{c}_{гр} \cdot G_{гр} \cdot \ln \left| \frac{1}{\bar{t}_H - t_{грп}} \cdot \left(\bar{t}_H - t_{грп} - \frac{(W_k + 1,251 \cdot V) \cdot \frac{t_{H0} - t_{грп}}{2}}{c_{грп} \cdot G_{гр}} \right) \right|}{86,4 \cdot F \cdot \tau_{дост}}, \quad (7)$$

где $\bar{c}_{гр}$, $c_{грп}$ – теплоемкость груза, соответственно, средняя (за груженный рейс) и при предъявлении к перевозке, кДж/(кг·К); $t_{грп}$ – предельная в соответствии с ТТУ и расчетными условиями температура груза, °С; W_k , V – параметры котла цистерны, соответственно, теплоусвоение, кДж/К, и полный объем, м³.

Решение уравнения (6) относительно K_{max} для УПК = 1 получено численными методами.

Установление ТХ3 при СПР = 0 производится с учетом расчетной температуры воздуха внутри кузова, которую предлагается определять как:

$$t_B = \{t_{B_{id}}\} = \{t_{H_{id}} + \Delta t_{H_{id}}\} = \left\{ t_{H_{id}} + \frac{Q_{id} \cdot 3,6}{W_{ТС}} \right\}, \text{ВНТ} = 0, \quad (8)$$

где Q_{id} – расчетное тепловое воздействие солнечного излучения и тепла от железнодорожного полотна на кузов УКВ, УКК при проследовании грузом i -й метеостанции за d -е сутки, Вт, принимаемых как среднесуточные значения с учетом вероятной облачности; $W_{ТС}$ – теплоусвоение кузова, кДж/К.

При ВНТ = 1, $\Delta t_{H_{id}}$ принимается равным нулю и $t_B = \{t_{H_{id}}\}$.

При $(\{t_{B_{id}}\} < t_{трmin}) \vee (\{t_{B_{id}}\} > t_{трmax})$ определяются:

– доля времени от срока доставки, когда имели место выходы

температуры внутри кузова (t_B) за, соответственно, верхнюю (ϖ_{\uparrow}) и нижнюю (ϖ_{\downarrow}) границы ТТУ:

$$\varpi_{\uparrow} = \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^{D_i} \left(\frac{\tau_{i_d}}{\tau_{\text{дост}}}, t_{B\uparrow i_d} > t_{\text{трmax}} \right), \quad (9) \quad \varpi_{\downarrow} = \sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^{D_i} \left(\frac{\tau_{i_d}}{\tau_{\text{дост}}}, t_{B\downarrow i_d} < t_{\text{трmin}} \right), \quad (10)$$

– средний выход t_B за верхнюю ($\overline{\Delta t_{\uparrow}}$) и нижнюю ($\overline{\Delta t_{\downarrow}}$) границы ТТУ, °С:

$$\overline{\Delta t_{\uparrow}} = \left[\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^{D_i} \left(\tau_{i_d} \cdot (t_{B\uparrow i_d} - t_{\text{трmax}}), t_{B\uparrow i_d} > t_{\text{трmax}} \right) \right] \cdot \frac{1}{\varpi_{\uparrow} \cdot \tau_{\text{дост}}}, \quad (11)$$

$$\overline{\Delta t_{\downarrow}} = \left[\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^{D_i} \left(\tau_{i_d} \cdot (t_{\text{трmin}} - t_{B\downarrow i_d}), t_{B\downarrow i_d} < t_{\text{трmin}} \right) \right] \cdot \frac{1}{\varpi_{\downarrow} \cdot \tau_{\text{дост}}}, \quad (12)$$

где τ_{i_d} – суммарное расчетное время проследования грузом элементарных отрезков, привязанных к i -й метеостанции, за d -е сутки, сут.; $t_{B\uparrow i_d}$, $t_{B\downarrow i_d}$ – расчетные температуры воздуха внутри кузова УКВ, УКК по i -й метеостанции за d -е сутки при, соответственно, $p_{\uparrow} = p$ (верхняя граница ТТУ) и $p_{\downarrow} = (1 - p)$ (нижняя граница ТТУ), °С.

На Рис. 1 приведена схема алгоритма по установлению технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом и ее параметров с применением комплексной методики.

Для количественной оценки влияния $\overline{\Delta t_{\uparrow}}$ на ухудшение качества груза, связанного с нарушением ТТУ при перевозке (уменьшение срока хранения), применяется «коэффициент Q10».

С применением разработанной комплексной методики проведена оценка соответствия технологии выполненных ОАО «РЖД» перевозок тарно-штучных скоропортящихся грузов в июне 2020 года ТТУ (всего 2758 отправок). Анализ полученных результатов показал, что при установлении технологии перевозки с применением комплексной методики 28,5 % перевезенных отправок (11,4 % – в вагонах-термосах, 84,3 % – в крытых вагонах) не имели бы установленных расчетами выходов температуры за границы ТТУ. При этом продолжительность выхода температуры за границы ТТУ в среднем при перевозке в вагоне-термосе (ТХ2) по расчетам составила 7,2 % от продолжительности всего груженого рейса, в крытом вагоне (ТХ3) – 54,6 % с выходом расчетной температуры внутри кузова УКВ в среднем от 1,8 °С до 6,2 °С (максимальный выход – 10,6 °С), что соответствует уменьшению от 9 % до 31 % срока хранения грузов.

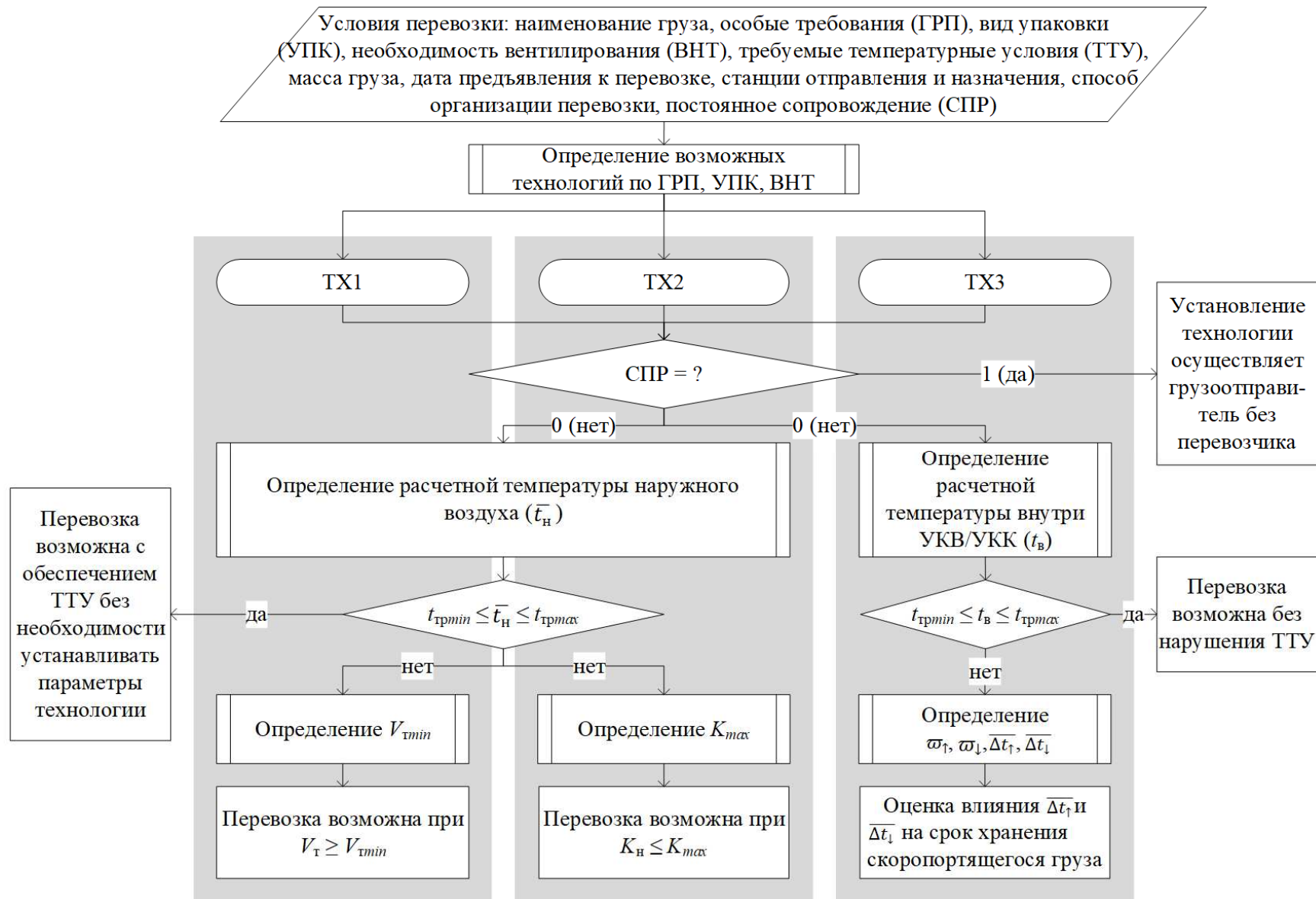


Рисунок 1 – Схема алгоритма по установлению технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом с применением комплексной методики

Третья глава посвящена разработке методики определения значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС (общего коэффициента теплопередачи кузова СТС – коэффициента К) на основе испытаний СТС при отсутствии специализированной климатической камеры. Методика позволяет определить значение коэффициента К измерением при проведении испытаний методом внутреннего обогрева в ангаре вместо камеры с приближением фактических условий проведения испытаний к требованиям СПС применением предложенных способов, определить расчетное значение коэффициента К с учетом полученного разброса его значений при проведении измерений, а также привести расчетное значение коэффициента К к заданным в СПС параметрам (средней температуре стенок кузова и скорости воздушного потока).

Предложены следующие способы приближения фактических условий проведения испытаний методом внутреннего обогрева в ангаре вместо камеры к требованиям СПС при измерении коэффициента К:

– выбор предпочтительных месторасположения ангара и начала декады проведения в нем испытаний по минимуму оценки, учитывающей отклонения расчетных параметров окружающей среды от требований СПС:

$$(i, d) \leftarrow \min_{\substack{i=1..I \\ d=1..D-9}} \sum_d^{d+9} \left(\begin{array}{l} 0, (6 \leq t_{Bid} \leq 9) \\ \infty, (t_{Bid} > t_{imax}) \vee (t_{Bid} < t_{imin}) \\ \frac{t_{Bid} - 9}{t_{imax} - 9}, (9 < t_{Bid} \leq t_{imax}) \\ \frac{6 - t_{Bid}}{6 - t_{imin}}, (t_{imin} \leq t_{Bid} < 6) \end{array} + \frac{\Delta t_{hid}}{10} + 1 - k_{облid} \right), (13)$$

где t_{hid} , t_{Bid} – расчетная среднесуточная температура воздуха, соответственно, снаружи и внутри i -го месторасположения ангара ($i = 1..I$) в d -е анализируемые сутки ($d = 1..D$), °С; t_{imin} , t_{imax} – границы допустимого интервала измерений температуры, для которого установлена и подтверждена погрешность используемых средств измерений, °С; $k_{облid}$ – доля ослабления прямого солнечного излучения, обусловленное расчетной облачностью; [6, 9] – границы допустимого интервала средних температур воздуха снаружи кузова СТС в соответствии с требованиями СПС, °С;

– использование электронагревателей с тепловым потоком менее 350 Вт/м², устанавливаемым на высоте 0,5 м над уровнем пола, и стабилизаторов напряжения точностью не ниже ±3 % как способов выравнивания температурного поля внутри СТС и показателей тепловой мощности;

– увеличение минимальной продолжительности периода устойчивого состояния с 12 до 24 ч и расчетного интервала для определения среднего значения коэффициента К с 6 до 12 ч с установлением его границ в соответствии с минимальным значением совокупной математической оценки, учитывающей разброс значений коэффициента К в рассматриваемых границах;

Согласно СПС, значение коэффициента К определяется на основании результатов многократных повторных измерений теплопроизводительности электрических нагревателей, температуры воздуха снаружи и внутри кузова СТС в 12 точках (далее – точечные значения коэффициента К). Совокупность точечных значений коэффициента К, полученных за период расчетного интервала, представляет собой случайную величину. На основании выполненных автором испытаний 28 изотермических вагонов не удалось установить закон распределения величины коэффициента К. Расчетное значение коэффициента К предложено определять на основании таких количественных характеристик исходных параметров как средние значения и среднеквадратические отклонения:

$$K_p = \frac{\bar{Q}}{\bar{S} \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}_e)} + k \cdot \sqrt{\left(\frac{u_c(\bar{Q})}{\bar{S} \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)} \right)^2 + \left(\frac{\bar{Q} \cdot u_c(\bar{S})}{\bar{S}^2 \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)} \right)^2 + \frac{\bar{Q}^2 \cdot (u_c(\bar{T}_i)^2 + u_c(\bar{T}_e)^2)}{\bar{S}^2 \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)^4} + \frac{\bar{Q}^2 \cdot 2 \cdot r(T_e, T_i) \cdot u_c(\bar{T}_e) \cdot u_c(\bar{T}_i)}{\bar{S}^2 \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)^4} + \frac{2 \cdot \bar{Q} \cdot r(Q, T_i) \cdot u_c(\bar{Q}) \cdot u_c(\bar{T}_i)}{\bar{S}^2 \cdot (|\bar{T}_e - \bar{T}_i|)^3}}, \quad (14)$$

где \bar{Q} , \bar{S} , \bar{T}_i , \bar{T}_e – средние значения, соответственно, теплопроизводительности внутри кузова, Вт, площади средней поверхности кузова, м², температуры воздуха внутри и снаружи кузова, °С; k – коэффициент для установления ширины доверительного интервала при заданной вероятности; $u_c(\bar{Q})$, $u_c(\bar{T}_i)$, $u_c(\bar{T}_e)$, $u_c(\bar{S})$ – стандартные отклонения от средних значений,

соответственно, \bar{Q} , \bar{S} , \bar{T}_i , \bar{T}_e ; $r(T_e, T_i)$, $r(Q, T_i)$ – коэффициенты корреляции, соответственно, значений температуры воздуха снаружи и внутри кузова (автором предложено рассчитывать их с учетом временного смещения), а также теплопроизводительности и температуры внутри кузова СТС.

Расчетное значение коэффициента K приводится к требованиям СПС (средней температуре стенок кузова и скорости движения воздушных масс) и принимается как нормативный параметр кузова СТС:

$$K_H = K_p \cdot \frac{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{d}{\lambda_\Phi} + \frac{1}{\alpha_{H0}}}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{d}{\lambda_{СПС}} + \frac{1}{\alpha_{HСПС}}}, \quad (15)$$

где d – средняя толщина ограждений грузового помещения, м; α_B – расчетный коэффициент теплоотдачи от внутренних поверхностей ограждений кузова к воздуху в нем; $\alpha_{HСПС}$, α_{H0} – расчетные коэффициенты теплоотдачи от наружных стен кузова при скорости движения воздушных масс, соответственно, 2 м/с по СПС и в состоянии покоя; $\lambda_{СПС}$, λ_Φ – расчетные коэффициенты теплопроводности основного термоизоляционного материала кузова при температуре, равной, соответственно, средней температуре его стенок по СПС (плюс 20 °С) и фактической, Вт/(м·К).

В диссертации предлагается следующая технология практического применения разработанной методики к освидетельствованию существующего парка изотермических вагонов согласно требованиям ППСГ. Испытания проводятся не с каждым изотермическим вагоном, а с их выборкой, объем которой определяется по каждому собственнику и модели вагона в соответствии с максимальным значением совокупного параметра эксплуатации:

$$\xi_q = \frac{V_q}{\sum V} + \frac{L_q}{\sum L} + \frac{T_q}{\sum T}, \quad (16)$$

где V_q , L_q , T_q – соответственно, количество груженых рейсов, суммарный пробег, км, и время эксплуатации, сут, по q -му вагону исследуемого сегмента парка; $\sum V$, $\sum L$, $\sum T$ – то же, суммарно по всем вагонам сегмента парка.

Определение коэффициента K_H проводится по каждому вагону из выборки в соответствии с приведенной выше методикой с распространением результатов на исследуемый парк вагонов. Применение предложенной технологии позволяет по проведенным автором оценкам существенно (в десятки раз) сократить расходы владельцев изотермических вагонов на освидетельствование по

сравнению с освидетельствованием каждого вагона в соответствии с СПС.

В четвертой главе установлены этапы контроля (оформление заявки на перевозку грузов (далее – заявка), до погрузки и после погрузки груза, в пути следования) и разработаны требования к информационному обеспечению технологии автоматизированного контроля. Для контроля на этапе оформления заявки на перевозку разработаны алгоритмы: контроля технологии перевозки груза в вагоне-термосе (схема для примера приведена на рисунке 2), контроля перевозок скоропортящихся грузов в УКВ. Для контроля на этапе до погрузки груза разработаны алгоритмы контроля перевозок в универсальных и термических контейнерах. Для контроля на этапе после погрузки груза разработан алгоритм контроля при перевозке в КРК без сопровождения. Разработанные алгоритмы контроля предназначены для реализации в автоматизированных системах грузоотправителя, перевозчика, оператора подвижного состава. Алгоритм контроля в пути следования разработан для условий взаимодействия с автоматизированными системами ОАО «РЖД».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований в работе содержится решение научной задачи совершенствования методов и разработки алгоритмов установления и контроля технологии перевозки скоропортящихся грузов в условиях изменившегося правового регулирования, создания и внедрения информационных технологий, имеющей важное значение для транспортной отрасли. При решении данной задачи в диссертации получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Выявлена на основе анализа действующей системы управления перевозками скоропортящихся грузов на железнодорожном транспорте после введения нового правового регулирования таких перевозок необходимость создания научно обоснованных методик, позволяющих определять для каждой конкретной перевозки скоропортящегося груза технологии перевозки и их параметры, обеспечивающие сохранение качества груза.

2. Разработана комплексная методика установления технологии и контроля перевозки скоропортящегося груза в зависимости от особенностей каждой конкретной перевозки. Методика содержит алгоритмы расчета температуры наружного воздуха для заданных направления перевозки и даты приема груза к перевозке, температуры внутри кузова транспортного средства без термоизоляции, а также методы оценки соответствия температурных условий перевозки скоропортящегося груза требуемым в зависимости от типа транспортного средства. Оценка проводится при перевозке в УКВ и УКК по результатам анализа величины и продолжительности выхода температуры окружающего груз воздуха в процессе перевозки за границы требуемых температурных условий; при перевозке в изотермических вагонах и термических контейнерах – по предельно допустимому значению общего коэффициента теплопередачи кузова СТС; при перевозке в КРК без сопровождения, в том числе на сцепе платформ, – по величине запаса топлива, необходимому для обеспечения непрерывной работы термического оборудования.

3. Разработана методика определения значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС (общего коэффициента теплопередачи кузова СТС), включающая способы уменьшения влияния различных неблагоприятных факторов на точность расчетов при проведении испытаний в ангаре, а также приведения полученного итогового расчетного значения к требованиям СПС.

4. Предложена технология практического применения методики определения значения нормативного параметра для установления технологии перевозки скоропортящегося груза в СТС (общего коэффициента теплопередачи кузова СТС) к освидетельствованию существующего парка изотермических вагонов по результатам испытаний в ангаре выборок изотермических вагонов конкретной модели и собственника по параметрам их эксплуатации. Применение предложенной технологии позволяет по проведенным автором оценкам существенно (в десятки раз) сократить расходы владельцев изотермических вагонов на освидетельствование по сравнению с освидетельствованием каждого вагона в соответствии с СПС.

5. Разработана технология автоматизированного контроля перевозки скоропортящегося груза для контроля правильности установления технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом. Основные этапы автоматизированного контроля установлены в соответствии с этапами

перевозки скоропортящегося груза. Разработаны алгоритмы контроля в зависимости от выбранной технологии перевозки, а также рода вагона или типа контейнера для использования в автоматизированных системах грузоотправителей, операторов подвижного состава и отраслевых автоматизированных системах ОАО «РЖД».

6. Разработанная комплексная методика может использоваться для любых грузов, требующих соблюдения температурных условий при перевозке (продукция электронной, химической, фармацевтической промышленности и др.). Направлениями дальнейшего развития комплексной методики являются уточнение исходных данных, используемых в расчетах, автоматизация сбора и обработки статистической информации. Перспективы практического применения – реализация предложенных методов и алгоритмов в автоматизированных системах грузоотправителей, операторов подвижного состава и отраслевых автоматизированных системах ОАО «РЖД».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

а) в рецензируемых научных изданиях:

1. Давыдов, Д.О. Методика расчета общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства для перевозки скоропортящихся грузов / Д.О. Давыдов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2019. – № 4(78). – С. 249–256.

2. Давыдов, Д.О. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом / Д.О. Давыдов // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2(74). – С. 51–59.

3. Давыдов, Д.О. Комплексная методика установления технологии перевозки скоропортящегося груза железнодорожным транспортом / Д.О. Давыдов // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2020. – № 7. – С. 33–39.

4. Давыдов, Д.О. Методика проведения испытаний по определению изотермических свойств кузова грузовых вагонов, предназначенных для перевозок скоропортящихся грузов, в условиях отсутствия специализированной климатической камеры / Д.О. Давыдов // Вестник научно-исследовательского

института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 3(79). – С. 171–179.

5. Давыдов, Д.О. Подходы к освидетельствованию по теплотехническим параметрам эксплуатируемых изотермических вагонов и контейнеров, принадлежащих российским операторам / Е.А. Васюкова, Т.А. Винокурова, Д.О. Давыдов, Н.А. Соколова // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2020. – № 9. – С. 29–33.

б) в официально зарегистрированных программах для ЭВМ:

6. Свид. 2019615905 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Расчет общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства для перевозки скоропортящихся грузов (K_UNC) / Д.О. Давыдов; заявитель и правообладатель Давыдов Денис Олегович (RU). – № 2019614808; заявл. 26.04.2019; опубл. 14.05.2019, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

7. Свид. 2019660714 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом (T_EXT_TRANSA) / Д.О. Давыдов; заявитель и правообладатель Давыдов Денис Олегович (RU). – № 2019619792; заявл. 01.08.2019; опубл. 12.08.2019, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

в) в других изданиях и материалах конференций:

8. Давыдов, Д.О. О необходимости контроля и освидетельствования специальных транспортных средств / С.Е. Ададуров, Н.А. Соколова, Е.А. Васюкова, Д.О. Давыдов // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. – 2010. – № 1. – С. 22–24.

9. Давыдов, Д.О. Теоретические и экспериментальные исследования при разработке условий перевозок новых видов продуктов жировых в режиме «термос» в летний период года / Н.А. Соколова, Е.А. Васюкова, Д.О. Давыдов, В.П. Гольцев, Р.Л. Горчакова // Труды ВНИИАС. – 2007. – Выпуск 7. – С. 261-266.

10. Давыдов, Д.О. Система периодического освидетельствования транспортных средств, используемых для перевозок скоропортящихся грузов с учетом требований Федерального закона «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 02 января 2000 г., № 29-ФЗ / В.П. Гольцев, Н.А. Соколова, Д.О. Давыдов, Е.А. Васюкова, Р.Л. Горчакова // Труды ВНИИАС. – 2007.

– Выпуск 7. – С. 267-272.

11. Давыдов, Д.О. Методика определения допустимой продолжительности перевозки скоропортящихся грузов в режиме «термос» с учетом климатических условий на конкретном железнодорожном направлении / Д.О. Давыдов, В.С. Доренский // Труды ВНИИАС. – 2005. – Выпуск 3. – С. 174-182.

12. Давыдов, Д.О. Рациональные сферы применения рефрижераторных контейнеров на железных дорогах России / Е.А. Васюкова, Н.А. Соколова, Д.О. Давыдов, В.С. Доренский // Труды ВНИИАС. – 2005. – Выпуск 3. – С. 138-147.

13. Давыдов, Д.О. Технология автоматизированного контроля перевозок скоропортящихся грузов / Д.О. Давыдов, Т.А. Винокурова // Труды восьмой научно-технической конференции Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ). – 2019. – С. 164–168.

Давыдов Денис Олегович

**КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА УСТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И
КОНТРОЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

2.9.4. Управление процессами перевозок

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 2021 г. Заказ № _____ Формат 60x84 ¹/₁₆

Объем 1,5 усл. п.л.

Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9,
ЦСО Отдел дизайна, верстки и печати РУТ (МИИТ)