

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В Е С Т Н И К

**ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**№ 4 (5)
2025**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Издательство ЛГУ им. В. Даля
Луганск
2025**

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№4 (5) 2025

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ
ВХОДИТ В БАЗУ РИНЦ

Учредитель

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля»

VESTNIK

LUGANSK
VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY

№ 4 (5) 2025

THE SCIENTIFIC JOURNAL
WAS FOUNDED IN 2015
INCLUDED INTO THE BASE OF RISC

Founder

LSU NAMED AFTER V. DAHL

Входит в базу данных Российского индекса научного цитирования
(Лицензионный договор № 77-04/2025)

Главный редактор

Киреев Андрей Николаевич, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Ответственный секретарь

Чижевская Дарья Юрьевна, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Редакционная коллегия серии:

Антощенко Николай Иванович, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Батышев Константин Александрович, д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

Беляев Сергей Владимирович, д-р техн. наук (СФУ, Красноярск)

Дейнека Иннеса Григорьевна, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Ленич Сергей Васильевич, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Семенов Константин Геннадьевич, д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

Сёмин Дмитрий Александрович, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Тарарычкин Игорь Александрович, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Турушина Наталья Владимировна, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Филатьев Михаил Владимирович, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Чижевская Дарья Юрьевна, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Энглезы Ирина Павловна, д-р техн. наук (ДАТ, Донецк, ДНР)

Рекомендовано в печать Ученым советом
Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
(Протокол № 1 от 05.09.2025 г.)

© Авторы, 2025

© ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕЧНЫМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ЖИДКОСТЕКООЛЬНЫМИ ЛИТЕЙНЫМИ СТЕРЖНЯМИ Гутько Ю. И., Войтенко В. В., Медведчук С. А., Войтенко Г. О. -----	5
--	---

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОСРЕДСТВОМ РАЗРАБОТКИ КАРТЫ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ Жебанов А. В., Печенкина Ю. А. -----	16
--	----

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

АНАЛИЗ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ НА ОБЪЕКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ Копец Ю. В. -----	24
--	----

О ВОЗМОЖНОМ ПОДХОДЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ Красногрудов А. В. -----	32
--	----

ОБЩИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ Машуков Р. А. -----	40
---	----

О СОЗДАНИИ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ РИСКОРИЕНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ЛИЧНОГО СОСТАВА АВАРИЙНО -СПАСАТЕЛЬНЫХ И ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ Павленко А. Т. -----	49
--	----

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РИСКОРИЕНТИРОВАННОГО ОБОСНОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА Панайотов К. К. -----	57
--	----

CONTENTS
FOUNDRY PRODUCTION

METHODS FOR CONTROLLING STRENGTH GAIN IN CELLULOSE-LIQUID-GLASS
CASTING RODS

Gutko Yu. I., Voytenko V. V., Medvedchuk S. A., Voytenko G. O. ----- 5

**TRANSPORT AND TRANSPORTATION TECHNOLOGICAL SYSTEMS
OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION
OF PRODUCTION IN TRANSPORT**

OPTIMIZATION OF WHEELSET REPAIR PROCESS THROUGH
THE DEVELOPMENT OF A VALUE STREAM MAP

Zhebanov A. V., Pechenkina Yu. A. ----- 16

LABOR SAFETY

ANALYSIS OF THE CREATION OF A COMPLEX PROFESSIONAL RISK
MANAGEMENT SYSTEM AT SOLID WASTE PROCESSING FACILITIES USING
FORECASTING MODELING AND AUTOMATED CONTROL

Kopets I. V. ----- 24

ON A POSSIBLE APPROACH TO CREATE THE CONCEPT OF AN INTEGRATED
RISK-BASED OCCUPATIONAL SAFETY SYSTEM AT FIRE AND EXPLOSIVE
MAN-MADE FACILITIES

Krasnogradov A. V. ----- 32

A GENERAL APPROACH TO DEVELOPING A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR
REGULATORY SUPPORT OF PERSONNEL SAFETY AT PRODUCTION FACILITIES

Mashukov R. A. ----- 40

ON THE CREATION OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL
FOUNDATIONS FOR RISK-ORIENTED OCCUPATIONAL SAFETY
AND HEALTH PROTECTION FOR PERSONNEL IN EMERGENCY RESCUE
AND FIREFIGHTING UNITS

Pavlenko A. T. ----- 49

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODEL OF RISK ORIENTED
JUSTIFICATION OF PROTECTIVE MEASURES FOR ROAD TRANSPORT WORKERS

Panayotov K. K. ----- 57

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.743.42

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕЧНЫМИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ЖИДКОСТЕКольНЫМИ ЛИТЕЙНЫМИ СТЕРЖНЯМИ

Гутько Ю. И., Войтенко В. В., Медведчук С. А., Войтенко Г. О.

METHODS FOR CONTROLLING STRENGTH GAIN IN CELLULOSE-LIQUID-GLASS CASTING RODS

Gutko Yu. I., Voytenko V. V., Medvedchuk S. A., Voytenko G. O.

***Аннотация.** В статье рассматривается технология изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, внутреннее пространство оболочки которых заполнено сухим кварцевым песком либо оборотной смесью без добавления связующего вещества. Преимущества применения целлюлозно-жидкостекольной стержневой технологии для изготовления оболочечных литейных стержней обусловлены сочетанием достоинств стержневого V-процесса, в котором для изготовления оболочки используется целлюлоза (пульперкартон), с добавлением связующего вещества – жидкого стекла, обеспечивающего высокую термическую стойкость оболочки оболочечного литейного стержня. Высокая технологичность изготовления оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня обусловлена применением хорошо отработанной и широко применяемой технологии изготовления упаковочных изделий из пульперкартона, где в качестве связующего вещества используется жидкое стекло. Для правильного выбора параметров целлюлозно-жидкостекольного стержневого процесса предлагается использовать электрический способ неразрушающего контроля набора прочности оболочкой оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, основанный на измерении электрического сопротивления оболочки в процессе набора прочности, которое коррелирует с прочностью оболочки. Также предлагается использовать оптический способ неразрушающего контроля набора прочности оболочкой оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, основанный на анализе параметров цифрового изображения поверхности оболочки, которые также коррелируют с ее прочностью. Приводятся результаты исследований термической стойкости оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня с различной массовой долей связующего вещества – жидкого стекла.*

Цель исследований – разработка способов неразрушающего контроля набора прочности оболочкой оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в процессе его изготовления в стержневом ящике по технологии пульперкартона на неорганическом связующем веществе – жидком стекле.

Ключевые слова: литейный стержень, стержневой процесс, оболочка, пульперкартон, жидкое стекло, набор прочности, электрическое сопротивление, термическая стойкость, выбиваемость.

Abstract. The article discusses the technology for manufacturing cellulose-water glass shell cores, the inner space of which is filled with dry quartz sand or recycled sand, without the addition of a binder. The advantages of using cellulose-water glass core technology for the manufacture of shell cores stem from the combined benefits of the V-process, which uses cellulose (pulpboard) for the shell, with the addition of a binder-water glass-to ensure high thermal stability of the shell core. The high technological efficiency of manufacturing the shell core of cellulose-water glass shell cores is due to the use of a well-established and widely used technology for manufacturing packaging products from pulpboard, where water glass is used as a binder. To correctly select the parameters for the cellulose-water glass core process, it is proposed to use an electrical non-destructive testing method for strength gain in the shell of a cellulose-water glass shell casting core. This method is based on measuring the electrical resistance of the shell during strength gain, which correlates with the shell's strength. It is also proposed to use an optical non-destructive testing method for strength gain in the shell of a cellulose-water glass shell casting core. This method is based on analyzing digital image parameters of the shell's surface, which also correlate with its strength. The results of studies on the thermal stability of the shell of a cellulose-water glass shell casting core with varying mass fractions of the binder (liquid glass) are presented.

The objective of this research is to develop methods for non-destructive testing of the strength development of the shell of a cellulose-water glass casting core during its production in a core box using pulpboard technology with an inorganic binder-water glass.

Key words: casting core, core process, shell, pulpboard, water glass, strength development, electrical resistance, thermal resistance, knockout.

Введение. Стержневые процессы в литейном производстве непрерывно совершенствуются в направлении повышения технологичности и качества литейных стержней и отливок [1, 2]. Наибольшее распространение получили стержневые процессы на органических связующих веществах, которые обладают высокой технологичностью и производительностью в сочетании с высоким качеством песчаных литейных стержней любой сложности [3-5]. Однако не всегда применение песчаных литейных стержней на органических связующих веществах полностью перекрывает задачи литейного производства. Так, при литье алюминиевых литейных сплавов из-за сравнительно низких температур расплава возникают сложности с выбиванием таких песчаных литейных стержней из

небольших отливок [6]. К тому же стержневые процессы на органических связующих веществах имеют невысокие резервы для дальнейшего их усовершенствования по сравнению с стержневыми процессами на неорганических связующих веществах [7, 8]. Поэтому возобновляется интерес к жидкостекольной стержневой технологии ввиду высокой доступности жидкого стекла и низкой его стоимости, что в сочетании с безвредностью для человека и окружающей среды делает ее достаточно перспективной. Распространение V-стержневого процесса на полимерных пленках усложняется необходимостью использования вакуумного оборудования. Однако существуют значительные перспективы замены полимерной оболочки на оболочку из целлюлозно-жидкостекольной

стержневой смеси, которая может быть изготовлена по распространенной технологии изготовления упаковочных изделий сложной формы из пульперкартона при замене применяемого связующего вещества на жидкое стекло. Оболочка такого оболочечного литейного стержня обладает достаточной термической стойкостью, определяемой ее толщиной и массовой долей связующего вещества – жидкого стекла. Внутренняя полость такой целлюлозно-жидкостекольной оболочки заполняется сухим формовочным кварцевым песком без связующего вещества, подобно V-процессу. Для уплотнения кварцевого песка может применяться вакуум или пескодувная машина. Либо песок может просто засыпаться внутрь оболочки через технологические отверстия, которые после этого запечатываются целлюлозно-жидкостекольной или песчано-жидкостекольной стержневой смесью. Такая конструкция оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня будет обладать достаточной жесткостью объема, хорошей термической стойкостью и хорошей выбиваемостью из отливок. Для правильного выбора параметров целлюлозно-жидкостекольного стержневого процесса требуется разработка способов неразрушающего контроля процесса набора прочности, которая может коррелировать с электрическим сопротивлением оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня и с параметрами цифрового изображения его поверхности. Таким образом, разработка таких способов неразрушающего контроля является актуальной научно-технической задачей [9].

Цель исследований – разработка способов неразрушающего контроля

набора прочности оболочкой оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в процессе его изготовления в стержневом ящике по технологии пульперкартона на неорганическом связующем веществе – жидком стекле.

Материалы и методы. Для установления зависимости между прочностью оболочки целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня использовались образцы с различной массовой долей целлюлозы (пульперкартона), воды и связующего вещества – жидкого стекла. В процессе набора прочности контролировалось изменение электрического сопротивления образцов, представляющих собой прямоугольную подложку из фольгированного стеклотекстолита с сформированными методом избирательного травления медными электродами, на поверхность которых наносился сплошной слой толщиной 2 мм из целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси. Зазор между электродами составлял 0,8 мм. Измерение электрического сопротивления образцов выполнялось с периодичностью измерений 1 мин в течение 120 мин при помощи электронного цифрового стационарного мультиметра OWON XDM1241 OW307 с применением функции хранения результатов серии измерений в памяти прибора. С периодичностью 10 мин выполнялось фотографирование поверхности образцов при помощи цифрового фотоаппарата XJ05 при одинаковых условиях освещенности и увеличения. С такой же периодичностью выполнялись испытания образцов аналогичного состава, находящихся в одинаковых условиях набора прочности, на предел прочности при растяжении, для чего использовалась машина для испытаний на

прочность. Результаты испытаний усреднялись по 5 образцам одинакового состава. Анализировался характер изменения электрического сопротивления образцов по времени эксперимента. Полученные данные сопоставлялись с данными испытаний на предел прочности при растяжении, а также с данными по параметрам цифрового изображения поверхности образцов. Далее строились регрессионные модели в том случае, если это допускали экспериментальные данные.

Результаты и обсуждения.

Оболочечные целлюлозно-жидкостекольные литейные стержни, заполненные сухим формовочным кварцевым песком без связующего вещества, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными объемными песчано-жидкостекольными литейными стержнями, которые проявляются в экономии связующего вещества – жидкого стекла, улучшенной выбиваемости и меньшей пригораемости. Важным свойством целлюлозно-жидкостекольного стержневого процесса является возможность адаптирования традиционной технологии изготовления упаковочных изделий сложной формы из пульперкартона под нужды литейного производства, для чего достаточно вместо применяемых связующих веществ использовать жидкое стекло в количестве, необходимом для достижения требуемой манипуляторной и окончательной прочности. Толщина оболочки такого целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня выбирается исходя из требуемой ее термической стойкости, которая зависит также от массовой доли связующего вещества – жидкого стекла, и может составлять порядка 1...2 мм за 300...600 сек при температуре на внешней границе оболочки около 1500°C.

С течением времени теплового воздействия целлюлоза постепенно термически разлагается с образованием углерода все на большую глубину от внешней поверхности оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, при этом прочность оболочки остается достаточной благодаря требуемому для этого содержанию связующего вещества. Эксперименты показывают, что оболочка оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня должна быть не менее 3 мм чтобы не происходило ее коробления при неравномерном тепловом воздействии со стороны расплава, при этом следует увеличивать ее толщину при возрастании объема литейного стержня. Внутреннее заполнение оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня сухим формовочным кварцевым песком без связующего вещества либо обратной смесью без связующего вещества придает некоторую жесткость объема такому литейному стержню, которая зависит от условий заполнения оболочки. Улучшение выбиваемости оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, заполненных сухим кварцевым формовочным песком, достигается за счет полного выгорания целлюлозы в оболочке литейного стержня при правильном выборе ее толщины и отсутствии связующего вещества в заполнителе оболочки – формовочном кварцевом песке либо обратной смеси [10, 11]. Выгорание целлюлозы в оболочке оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня подобно выгоранию алюминиевой пудры либо стального мелкодисперсного порошка при его добавлении в песчано-жидкостекольную стержневую смесь в количестве 0,5...1 мас. %, что ранее

предлагалось авторами для улучшения выбиваемости песчано-жидкостекольных литейных стержней из чугунных и стальных отливок [12]. Однако при правильном выборе толщины оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня и массовой доли связующего вещества – жидкого стекла – аналогичный эффект может быть достигнут также при литье алюминиевых сплавов и цветных металлов. Как известно, при литье алюминиевых сплавов иногда возникают сложности с выбиванием песчаных литейных стержней из небольших отливок, причем это относится также к песчаным литейным стержням на органических связующих веществах – эпоксидных и фурановых смолах. При изготовлении оболочечных литейных стержней на основе пульперкартона в качестве связующих веществ, кроме жидкого стекла, также могут успешно применяться эпоксидные и фурановые смолы, однако термическая стойкость оболочки такого литейного стержня будет меньше, чем в случае применения в качестве связующего вещества жидкого стекла, однако этого может быть вполне достаточно при литье алюминиевых сплавов. Таким образом, оболочечные литейные стержни на основе пульперкартона имеют значительные резервы для усовершенствования и внедрения в литейное производство.

Важным условием достижения высокого качества отливок является качество изготовления литейных стержней, на что оказывает влияние манипуляторная прочность при извлечении литейных стержней из стержневых ящиков и максимальная прочность литейных стержней при их применении. При

использовании оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней, внутренняя полость которых заполняется сухим формовочным кварцевым песком, контроль набора прочности при изготовлении целлюлозно-жидкостекольной оболочки литейного стержня в стержневом ящике может быть осуществлен путем измерения ее электрического сопротивления при помощи омметра, что подтвердили проведенные эксперименты. Также, кроме устойчивой корреляции между изменением электрического сопротивления оболочки и ее манипуляторной прочностью, наблюдается корреляция между окончательной прочностью оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня и ее электрическим сопротивлением. Таким образом, путем измерения электрического сопротивления оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в процессе его изготовления и окончательной сушки может быть осуществлен контроль как манипуляторной, так и окончательной прочности такого литейного стержня, что подтверждается экспериментально. На рис. 1 приведены зависимости электрического сопротивления целлюлозно-жидкостекольных образцов с разной массовой долей жидкого стекла в стержневой смеси от времени эксперимента, которые демонстрируют увеличение интервала времени, необходимого для достижения максимального значения электрического сопротивления, при увеличении в 2 раза массовой доли жидкого стекла в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси.

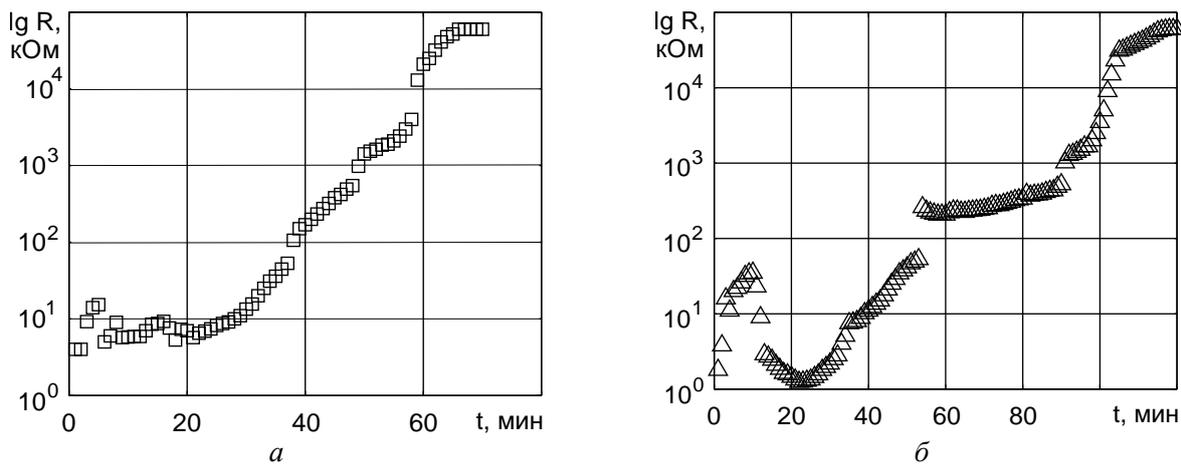


Рис. 1. Зависимость электрического сопротивления образца от времени эксперимента:
 а – массовая доля жидкого стекла 15 масс. %; б – массовая доля жидкого стекла 30 масс. %

Коэффициенты регрессионной модели требуют каждый раз уточнения, когда изменяется массовая доля компонентов стержневой смеси и условия протекания стержневого процесса, после чего предлагаемый метод контроля может быть применен с достаточно высокой точностью, чтобы избежать брака. Для повышения точности предлагаемого метода контроля набора манипуляторной прочности может быть применена электрическая схема, согласно которой несколько областей измерения электрического сопротивления оболочки будут включены последовательно либо параллельно, что обеспечит автоматическое усреднение результатов измерений по нескольким областям контроля. При этом предпочтение следует отдавать параллельному включению областей контроля сопротивления оболочки литейного стержня, что эквивалентно параллельному соединению резисторов. В этом случае при образовании небольших усадочных трещин участок контроля электрического сопротивления, на котором образовалась трещина, и, следовательно, сопротивление резко повысилось, не окажет кардинального влияния на средний результат измерений, как если бы это произошло при

последовательном соединении цепей контроля электрического сопротивления оболочки.

Анализ цифровых изображений образцов, изготовленных из целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси, показал, что цветовые параметры изображений поверхности образцов в процессе набора прочности изменяются. При этом манипуляторная прочность образцов увеличивается с течением времени, что хорошо согласуется с изменением цветовых параметров их изображений. Отмечается, что для разных массовых долей связующего вещества в целлюлозно-жидкостекольной стержневой смеси требуется проводить отдельные эксперименты для получения цветовых параметров изображений поверхности образцов в процессе набора прочности. Однако по результатам таких экспериментов могут быть построены регрессионные модели, позволяющие по измеренным цветовым параметрам изображений поверхности образцов достаточно точно рассчитать их манипуляторную прочность и, таким образом, на практике осуществлять контроль набора прочности оболочечным целлюлозно-жидкостекольным литейным

стержнем для установления момента времени, когда условия для извлечения литейного стержня из стержневого ящика будут оптимальными.

В качестве основного компонента стержневой смеси для изготовления оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, кроме наиболее дешевого пульперкартона, может быть применена целлюлоза в другом виде. Например, при использовании сравнительно дорогой кристаллической целлюлозы также достигается похожий эффект от ее применения. Однако стержневая смесь на основе кристаллической целлюлозы обладает большей хрупкостью оболочки, чем при использовании пульперкартона, обладающего волокнистой структурой. Это свойство кристаллической целлюлозы усложняет технологию изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней и повышает ее стоимость. Несмотря на это, кристаллическая целлюлоза может быть использована в качестве антипригарной добавки к песчано-жидкостекольной стержневой смеси в количестве 1...2 масс. %, что также будет способствовать улучшению выбиваемости таких объемных песчано-жидкостекольных литейных стержней благодаря термическому разложению целлюлозы под действием высоких температур. Использование целлюлозы в иных формах, кроме пульперкартона, при производстве оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней позволяет использовать метод контроля набора прочности оболочечным литейным стержнем, основанный на измерении электрического сопротивления оболочки литейного стержня и использовании регрессионной модели, отражающей

зависимость величины манипуляторной прочности оболочечного литейного стержня от величины электрического сопротивления.

Выводы. Проведенные исследования показали, что целлюлозно-жидкостекольная технология изготовления оболочечных литейных стержней, внутренняя полость которых заполнена сухим формовочным кварцевым песком, имеет определенные перспективы применения при изготовлении небольших отливок из алюминиевых сплавов, а также чугуна и стали. Это связано с возможностью управления термической стойкостью оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня путем увеличения ее толщины более 3 мм, а также управления ее прочностью путем изменения массовой доли связующего вещества – жидкого стекла. Отмечается антипригарный эффект за счет термического разложения целлюлозы с образованием свободного углерода. При этом прочность оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня остается достаточной за счет подбора необходимого количества связующего вещества, обладающего сравнительно высокой термической стойкостью. Традиционная технология изготовления упаковочных изделий сложной формы из пульперкартона может быть достаточно легко адаптирована для изготовления оболочечных целлюлозно-жидкостекольных литейных стержней. В качестве связующих веществ может использоваться не только жидкое стекло, но и эпоксидные либо фурановые смолы, однако при этом термическая стойкость оболочки оболочечного литейного стержня на основе целлюлозы (пульперкартона) будет заметно меньше. Важным

параметром литейных стержней, используемых при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов, является их выбиваемость из отливок. Оболочечные литейные стержни, внутренняя полость которых заполнена сухим формовочным кварцевым песком без связующего вещества либо обратной смесью без связующего вещества, обладают хорошей выбиваемостью из отливок благодаря термическому разложению целлюлозы. Достигается эффект, который наблюдается при практическом использовании алюминиевой пудры в качестве добавки к песчано-жидкостекольной стержневой смеси в количестве 0,5...1 масс. % для улучшения выбиваемости песчано-жидкостекольных литейных стержней из чугунных и стальных отливок за счет выгорания микропорошка алюминия при высоких температурах.

Исследования показали, что метод измерения электрического сопротивления оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня в стержневом ящике может быть применен для контроля набора прочности, при этом следует проводить уточняющие эксперименты при изменении рецептуры и массовой доли компонентов стержневой смеси на основе целлюлозы (пульперкартона). Также установлено, что параметры цветовых компонентов цифрового изображения поверхности оболочки оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня, находящегося в стержневом ящике, могут быть поставлены в соответствие манипуляторной прочности, на чем может быть основан оптический метод набора прочности. При этом следует проводить уточняющие эксперименты при изменении массовой доли связующего вещества в целлюлозно-жидкостекольной стержневой

смеси. Предлагаемые неразрушающие методы контроля манипуляторной прочности в процессе изготовления оболочечного целлюлозно-жидкостекольного литейного стержня будут способствовать снижению процента брака.

Список источников

1. Merta V., Beňo J., Obzina T., Radkovský F., Kroupová I., Lichý P., Folta M., Janovská K., Nguyenová I., Dostál M. Innovative Inorganic Binder Systems for the Production of Cores for Non-Ferrous Metal Alloys Reflecting the Product Quality Requirements. *Metals*. 2021; 11(5):733. URL: <https://doi.org/10.3390/met11050733>
2. Delimanová P., Vasková I., Kožej O. The study of the influence of core mixtures with varying ratios of foundry sand. *Archives of Foundry Engineering*. 2025; (3): 129–135. URL: <https://doi.org/10.24425/afe.2024.151302>
3. Hancerlioglu T. Development of Salt Core Use Alternative in Aluminum Alloy Casting Parts. *Celal Bayar University Journal of Science*. 2021; 18(2): 141–147. URL: <https://doi.org/10.18466/cbayarfb.1033177>
4. Kmita A., Dańko R., Holtzer M., Dańko J., Drożyński D., Skrzyński M., Rocznik A., Gruszka D.R., Jakubski J., Tapola S. Eco-Friendly Inorganic Binders: A Key Alternative for Reducing Harmful Emissions in Molding and Core-Making Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25:5496. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms25105496>
5. Grabowska B., Cukrowicz S., Bobrowski A., Drożyński D., Żymankowska-Kumon S., Kaczmarek K., Tyliczszak B., Pribulová A. Organobentonite Binder for Binding Sand Grains in Foundry Moulding Sands. *Materials (Basel)*. 2023; 16(4):1585. URL: <https://doi.org/10.3390/ma16041585>
6. Udayan N., Srinivasan M.V., Vaira Vignesh R., Govindaraju M. Elimination of casting defects induced by cold box cores. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 46(10): 5022-5026. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.398>
7. Kukartsev V.A., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Bukhtoyarov V.V.,

Tynchenko V.V., Sergienko R.B., Bashmur K.A., Lysyannikov A.V. The Technology of Using Liquid Glass Mixture Waste for Reducing the Harmful Environmental Impact. *Materials (Basel)*. 2022; 15(3):1220. URL: <https://doi.org/10.3390/ma15031220>

8. Khan M.M., Mahajani S.M., Jadhav G.N., Vishwakarma R., Malgaonkar V., Mandre S. Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand. *Journal of Environmental Management*. 2021; 279: 111628. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111628>

9. Sabour M.R., Akbari M., Dezvareh G. Utilization of color change and image processing to evaluate the Waste Foundry Sand reclamation level. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020; 9(1): 1025–1031. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.041>

10. Гутько Ю.И., Войтенко В.В. Выбор рецептуры жидкостекольной стержневой смеси на основе кварцевого песка, оборотной стержневой смеси и измельченной морской ракушки // World Scientific Discoveries: Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф., 15 дек. 2021 г. / Кемерово: ЗапСибНЦ, 2021. – С. 70-73. URL: https://www.sibscience-new.ru/images/doc_temp/15_12.pdf (дата обращения: 11.12.2025).

11. Гутько Ю.И., Войтенко В.В. Исследование физико-технических характеристик жидкостекольных литейных стержней с добавлением измельченной морской ракушки, ПАВ и оборотной стержневой смеси // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: Сб. науч. тр. 2021. № 4 (37). – С. 35-51.

12. Гутько Ю.И., Войтенко В.В. Экспериментальные исследования влияния мелкодисперсных металлических порошков на физико-технические характеристики песчано-жидкостекольных литейных стержней // Литье и металлургия. Минск: БНТУ, 2024. № 1. – С. 20–25. URL: <https://lim.bntu.by/jour/article/view/3651/3545> (дата обращения: 11.12.2025).

References

1. Merta V., Beňo J., Obzina T., Radkovský F., Kroupová I., Lichý P., Folta M., Janovská K., Nguyenová I., Dostál M. Innovative Inorganic Binder Systems for the Production of Cores for Non-Ferrous Metal Alloys Reflecting the Product Quality Requirements. *Metals*. 2021; 11(5):733. URL: <https://doi.org/10.3390/met11050733>

2. Delimanová P., Vasková I., Kožej O. The study of the influence of core mixtures with varying ratios of foundry sand. *Archives of Foundry Engineering*. 2025; (3): 129–135. URL: <https://doi.org/10.24425/afe.2024.151302>

3. Hancerlioglu T. Development of Salt Core Use Alternative in Aluminum Alloy Casting Parts. *Celal Bayar University Journal of Science*. 2021; 18(2): 141–147. URL: <https://doi.org/10.18466/cbayarfb.1033177>

4. Kmita A., Dańko R., Holtzer M., Dańko J., Drożyński D., Skrzyński M., Rocznik A., Gruszka D.R., Jakubski J., Tapola S. Eco-Friendly Inorganic Binders: A Key Alternative for Reducing Harmful Emissions in Molding and Core-Making Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25:5496. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms25105496>

5. Grabowska B., Cukrowicz S., Bobrowski A., Drożyński D., Żymankowska-Kumon S., Kaczmarska K., Tyliszczak B., Pribulová A. Organobentonite Binder for Binding Sand Grains in Foundry Moulding Sands. *Materials (Basel)*. 2023; 16(4):1585. URL: <https://doi.org/10.3390/ma16041585>

6. Udayan N., Srinivasan M.V., Vaira Vignesh R., Govindaraju M. Elimination of casting defects induced by cold box cores. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 46(10): 5022-5026. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.398>

7. Kukartsev V.A., Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.V., Sergienko R.B., Bashmur K.A., Lysyannikov A.V. The Technology of Using Liquid Glass Mixture Waste for Reducing the Harmful Environmental Impact. *Materials (Basel)*. 2022; 15(3):1220. URL: <https://doi.org/10.3390/ma15031220>

8. Khan M.M., Mahajani S.M., Jadhav G.N., Vishwakarma R., Malgaonkar V., Mandre S. Mechanical and thermal methods for reclamation of waste foundry sand. *Journal of Environmental*

Management. 2021; 279: 111628. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111628>

9. Sabour M.R., Akbari M., Dezvareh G. Utilization of color change and image processing to evaluate the Waste Foundry Sand reclamation level. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020; 9(1): 1025-1031. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.041>

10. Gut'ko Yu.I., Voitenko V.V. Vybór retseptury zhidkostekol'noi sterzhnevoi smesi na osnove kvartsevoogo peska, oborotnoi sterzhnevoi smesi i izmel'chennoi morskoi rakushki [Selection of a formulation for liquid glass core mixture based on quartz sand, recycled core mixture and crushed sea shell]. *World Scientific Discoveries: Sbornik materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, 15 dek. 2021 g. Kemerovo: ZapSibNTS, 2021, pp. 70–73. Available at: https://www.sibscience-new.ru/images/doc_temp/15_12.pdf (accessed: 11.12.2025). (In Russ.)

11. Gut'ko Yu.I., Voitenko V.V. Issledovanie fiziko-tekhnicheskikh kharakteristik zhidkostekol'nykh liteinykh sterzhnei s

dobavleniem izmel'chennoi morskoi rakushki, PAV i oborotnoi sterzhnevoi smesi [Study of physical and technical characteristics of liquid glass casting cores with the addition of crushed sea shell, surfactants and recycled core mixture]. *Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva i obrabotki davleniem materialov v mashinostroenii: Sb. nauch. tr.* 2021; 4(37), 35–51. (In Russ.)

12. Gut'ko Yu.I., Voitenko V.V. Eksperimental'nyye issledovaniya vliyaniya melkodispersnykh metallicheskih poroshkov na fiziko-tekhnicheskiye kharakteristiki peschano-zhidkostekol'nykh liteinykh sterzhney [Experimental studies of the influence of finely dispersed metal powders on the physical and technical characteristics of sand-liquid glass casting cores]. *Lit'ye i metallurgiya*. Minsk: BNTU, 2024; 1, 20–25. Available at: <https://ami.im/sbornik/MNPK-462-IN.pdf> (accessed: 11.12.2025). (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 12.12.2025

Информация об авторах

Гутько Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: lguni.lit@yandex.ru

Войтенко Валерий Владимирович, ассистент Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0267-5068>
E-mail: valery.voytenko@outlook.com

Медведчук Сергей Адамович, старший преподаватель Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Войтенко Галина Олеговна, доцент Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: galinamicroel@mail.ru

Information about the authors

Gutko Yury Ivanovich, doctor of Technical Science, Professor of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: lguni.lit@yandex.ru

Voitenko Valery Vladimirovich, assistant of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0267-5068>
E-mail: valery.voytenko@outlook.com

Medvedchuk Sergey Adamovich, Senior Lecturer of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Voitenko Galina Olegovna, docent of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: galinamicroel@mail.ru

Для цитирования:

Гутько Ю.И., Войтенко В.В., Медведчук С.А., Войтенко Г.О. Методы контроля набора прочности оболочечными целлюлозно-жидкостекольными литейными стержнями // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 5-15.

For citation:

Gutko Yu.I., Voytenko V.V., Medvedchuk S.A., Voytenko G.O. Methods for controlling strength gain in cellulose-liquid-glass casting rods // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4(5). – P. 5-15.

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 338.51

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР ПОСРЕДСТВОМ РАЗРАБОТКИ КАРТЫ ПОТОКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ

Жебанов А. В., Печенкина Ю. А.

OPTIMIZATION OF WHEELSET REPAIR PROCESS THROUGH THE DEVELOPMENT OF A VALUE STREAM MAP

Zhebanov A. V., Pechenkina Yu. A.

***Аннотация.** В статье проведен анализ возможных результатов, полученных от внедрения в работу колёсно-роликового участка депо по ремонту грузовых вагонов метода концепции бережливого производства. Он позволяет сократить продолжительность ремонта и уменьшить количество дефектов, выявляемых после их выхода из ремонтного комплекса. Это способствует оптимизации, повышению эффективности производственных процессов предприятия и экономичности.*

***Ключевые слова:** бережливое производство, грузовые вагоны, колёсные пары, вагоноремонтный комплекс.*

***Abstract.** The article analyzes the possible results obtained from the introduction of the lean manufacturing concept into the operation of the wheel-roller section of the freight wagon repair depot. It allows you to shorten the duration of repairs and reduce the number of defects detected after they leave the repair complex. This helps to optimize, increase the efficiency of the company's production processes and cost-effectiveness.*

***Key words:** lean manufacturing, freight wagons, wheel sets, car repair complex.*

Введение. Условия, в которых существует современный железнодорожный транспорт, предполагает постоянное повышение уровня эффективности производственных процессов. Этот аспект эксплуатации с течением времени становится одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность компании [1, с. 140]. В области вагонного хозяйства процессом, требующим наибольших затрат времени и ресурсов, является ремонт

колёсных пар. В его ходе нередко наблюдаются некоторые из производственных потерь, обозначенных концепцией бережливого производства (рис. 1).



Рис. 1. Виды потерь согласно концепции бережливого производства

Зачастую потери наблюдаются в связи со сложностью непосредственно ремонтного процесса, большого количества производимых операций, в том числе излишних, а также неравномерной загруженностью рабочих на разных этапах ремонта. Эти проблемы могут оказать негативное влияние на сроки и качество выполняемых работ [2, с. 54].

В концепции бережливого производства существует несколько инструментов, позволяющих избежать или частично устранить потери. Одним из наиболее эффективных способов ликвидировать ненужные этапы ремонта является составление карты потока создания ценности (англ. *Value Stream Mapping, VSM*) [3, с. 187-188]. Этим термином называют методологию, заключающуюся в визуализации каждого из процессов ремонта, выявлении действий, не представляющих ценности для ремонта, и в определении направлений их устранения. Составление карты способствует снижению времени ремонта и затрат на его производство, а также повышает прозрачность операций, их

эффективность и производительность в целом.

Степень разработанности темы исследования. Проблема необходимости оптимизации ремонтных процессов на железнодорожном транспорте является довольно актуальной и обсуждаемой среди большого числа как отечественных, так и зарубежных исследователей. В течение последних нескольких лет отчетливо замечен рост интереса к исследованию методик, применяемых в концепции бережливого производства [4, с. 69-71]. Однако по большей части этот интерес локализован среди зарубежных научно-исследовательских публикаций. Российские деятели в большинстве исследуют оптимизацию с традиционной технической точки зрения. Чаще можно встретить более узкие направления, к примеру: восстановление геометрии колесных пар, устранение дефектов, контроль качества сварочных и наплавочных работ и т.д.

Для обеспечения качественного и эффективного ремонта важен системный подход при использовании современных инструментов и методик. Существующие исследования демонстрируют примеры

успешного внедрения принципов бережливого производства в работу отдельных цехов вагоноремонтных предприятий, однако нет достаточного количества информации и доказательств их эффективности в рамках ремонта колёсных пар грузовых вагонов [5, с. 65-67].

Цель публикации. Работа представляет собой поиск и структурирование информации, опубликованной в современном информационном пространстве с целью обоснования возможностей оптимизации процесса ремонта колесных пар при использовании карты создания потока ценности. Задачей публикации является систематизация этапов ремонта колесных пар, визуализация потока ценностей и выявление не создающих «ценности» этапов, которые влияют на сроки и качество проведения ремонтных работ. На основе осуществленного анализа будет приведена новая модель возможного будущего состояния плана ремонта колесных пар, обеспечивающая более высокую эффективность, а также снижающая время и затраты на ремонт.

Главная цель публикации – поспособствовать повышению эффективности и производительности ремонтных операций на предприятиях вагоноремонтного комплекса.

Основная часть. Карта потока создания ценности – визуальный инструмент концепции бережливого производства, позволяющий наглядно отобразить каждый из этапов технологического процесса. В рамках ремонта колесных пар грузовых вагонов на такой карте должны быть указаны все операции, начиная с выявления дефекта или неисправности осмотрщиком на ПТО

до выходного контроля после ремонта и сдачи изделия в эксплуатацию [6, с. 10-12].

Основная задача, преследуемая при внедрении метода, – выявление и ликвидация потерь, сокращение общего количества времени ремонта, повышение его качества и в конечном итоге увеличение ценности для клиентов предприятия – собственников вагонов.

Для наибольшей наглядности создаётся сразу 2 карты: текущего состояния (Current State Map) и будущего состояния (Future State Map). Это необходимо для того чтобы заранее увидеть, насколько эффективен будет метод, и поставить перед руководством предприятия цель в виде оптимизированного ремонтного процесса [7, с. 20-23]. Карта текущего состояния предназначена для диагностики существующего в текущий момент времени процесса, выявления его недостатков и анализа возможных изменений. Карта будущего состояния является наглядным примером того, как сможет выглядеть ремонтный процесс после предпринятых мер по его оптимизации [8, с. 112-113].

В ходе ремонта колёсных пар грузовых вагонов карта потока создания ценности позволит визуализировать каждый из этапов ремонта, определить «ненужные» операции, выявить источник неэффективности этих операций, приводящий к потерям [9, с. 187-190]. После этого разрабатываются мероприятия, направленные на сокращение времени нахождения изделия в ремонтном цеху и обеспечение согласованности действий разных подразделений предприятия между собой [10, с. 127-128]. Конечным итогом этого исследования должна быть новая карта, отражающая будущее состояние, составленная с учетом собранной информации.

В виде табл. 1 представлена возможная карта создания потока ценности для колесно-роликового участка вагоноремонтного депо.

Таблица 1

Этап процесса	Описание операции	Время операции	Время ожидания	Запасы/запасные части	Примечания
1. Приёмка колесных пар	Визуальный осмотр, дефектация, оформление документации	30 мин	1 час	-	Ожидание очереди на приёмку
2. Разборка колесной пары	Снятие колес, буксов, подшипников	45 мин	30 мин	Наличие подшипников	Перемещение деталей между участками
3. Очистка и подготовка	Удаление загрязнений, подготовка к ремонту	60 мин	1 час	-	Использование специализированного оборудования
4. Ремонтные работы	Сварка трещин, наплавка, механическая обработка	120 мин	2 часа	Запас сварочных материалов	Ожидание охлаждения и контроля качества
5. Замена подшипников	Демонтаж и установка новых подшипников	60 мин	1 час	Запас подшипников	Проверка качества деталей
6. Сборка колесной пары	Монтаж колес и буксов, балансировка	45 мин	30 мин	-	Проверка правильности сборки
7. Испытания и контроль	Геометрический контроль, дефектоскопия, испытания	30 мин	15 мин	-	Испытания на стенде
8. Частичная окраска	Окраска отремонтированных элементов	40 мин	20 мин	Краска, материалы	Сушка и проверка качества

С учетом времени, затрачиваемого на ожидание и простои, весь процесс ремонта занимает около 8 часов. Значительные простои наблюдаются на этапах приёмки, очистки и ремонта из-за длительного времени ожидания. Большое количество времени уходит на перемещение колёсных пар между отделениями цеха. Ситуацию усугубляет отсутствие автоматизированных

стандартизированных операций, которые могли бы значительно повысить эффективность ремонта. Также на эффективность влияет большое количество запасных частей, которые в большинстве простаивают [11, с. 8-10].

В табл. 2 приведена карта возможного будущего состояния.

Таблица 2

Этап процесса	Описание операции	Время операции	Время ожидания	Запасы/запасные части	Мероприятия по оптимизации
1. Приёмка и дефектация	Быстрый осмотр с использованием цифровых инструментов	20 мин	15 мин	Минимальные запасы	Внедрение цифровой дефектации
2. Разборка и сортировка	Одновременная разборка и сортировка деталей	35 мин	15 мин	Оптимизированные запасы	Организация потоковой линии
3. Подготовка к ремонту	Очистка и подготовка с использованием автоматических систем	40 мин	20 мин	-	Автоматизация очистки
4. Ремонтные работы	Сварка и механическая обработка с применением стандартизированных процедур	90 мин	30 мин	Контролируемые запасы	Внедрение стандартов и обучения
5. Замена подшипников	Быстрая замена с использованием модульных комплектов	40 мин	20 мин	Оптимизированные запасы	Использование готовых комплектов
6. Сборка и балансировка	Интегрированная сборка с автоматическим контролем	35 мин	15 мин	-	Автоматизация контроля
7. Испытания и контроль	Быстрые испытания с использованием современных методов	20 мин	10 мин	-	Внедрение цифрового контроля
8. Частичная окраска	Окраска с применением быстросохнущих материалов	30 мин	10 мин	Оптимизированные материалы	Использование инновационных технологий окраски

Таким образом, оптимизированный процесс ремонта занимает около 5 часов на одно изделие.

Общая продолжительность ремонта сокращается почти на 40 %, что повышает пропускную способность участка и снижает затраты на ремонт.

Выводы. Применение инструментов бережливого производства в процессе технического обслуживания и ремонта колесных пар грузовых вагонов позволяет

существенно оптимизировать работу предприятия вагоноремонтного комплекса. Внедрение предложенного метода в работу позволяет достигнуть следующих результатов:

1. Сокращение времени ремонта за счёт автоматизации и стандартизации основных этапов ремонта, а также устранения простоев.

2. Повышение качества ремонта благодаря цифровому контролю и

исключению операций, не представляющих ценности.

3. Увеличение экономической эффективности благодаря рациональному использованию ресурсов.

В перспективе данная методика может быть использована не только в колесно-роликовом, но и в других участках депо для оптимизации работы предприятия в целом.

Список источников

1. Протасова, А. Д. Применение элементов бережливого производства с целью оптимизации организации работы участка по текущему ремонту грузовых вагонов / А. Д. Протасова, А. В. Жебанов // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия : Материалы II Международной научно-методической конференции: в 3 частях, Оренбург, 08–09 ноября 2023 года. – Оренбург: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 138-142.
2. Обухова, А. А. Бережливое производство как инструмент управления затратами на качество ремонта вагонов / А. А. Обухова // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 3(22). – С. 54.
3. Воеводина, С. П. Развитие железнодорожного транспорта с помощью внедрения технологий бережливого производства / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXXII международной научно-практической конференции, Тула, 15 марта 2023 года / Под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2023. – С. 187-190.
4. Галиуллин, А. Р. Развитие участка тор по ремонту грузовых вагонов при использовании инструментов бережливого производства / А. Р. Галиуллин // Дни студенческой науки: Сборник материалов 47-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 14-30 апреля 2020 года. Том Выпуск 21, Том 1. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 68-71.
5. Коркина, С. В. Применение методов бережливого производства для анализа эффективности технологии работы цеха по ремонту колесных пар вагоноремонтного производства / С. В. Коркина, А. Д. Потапова, А. С. Захарова // Наука и образование транспорту. – 2022. – № 1. – С. 65-67.
6. Давлетшина, Р. Р. Повышение эффективности работы вагонного эксплуатационного депо посредством внедрения системы бережливого производства / Р. Р. Давлетшина, В. А. Неумоин // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2025. – № 1(19). – С. 7-15.
7. Воеводина, С. П. Развитие предприятий вагонного хозяйства при использовании технологий бережливого производства / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : Материалы III Международной научно-методической конференции, посвященной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, 21–22 марта 2023 года. – Оренбург: ОрИПС – филиала СамГУПС, 2023. – С. 20-23.
8. Протасова, А. Д. Методы бережливого производства, используемые при эксплуатации вагонов / А. Д. Протасова, А. В. Жебанов // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : Материалы III Международной научно-методической конференции, посвященной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, 21–22 марта 2023 года. – Оренбург: ОрИПС – филиала СамГУПС, 2023. – С. 111-116.
9. Жебанов, А. В. Использование элементов «Бережливого производства» в организации работы участка текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов / А. В. Жебанов // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 1. – С. 24-26.6. Воеводина, С. П. Развитие железнодорожного транспорта с помощью внедрения технологий бережливого

производства / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXXII международной научно-практической конференции, Тула, 15 марта 2023 года / Под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2023. – С. 187-190.

10. Анализ технологического процесса ремонта колесных пар в условиях ВРЗ с применением методов бережливого производства / С. В. Коркина, А. В. Жебанов, И. В. Павельев [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 2(110). – С. 126-130.

11. Чичин, А. В. Вагонное хозяйство: ориентиры - на бережливое производство / А. В. Чичин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2012. – № 4(32). – С. 8-10.

References

1. Protasova, A. D. Application of lean manufacturing elements to optimize the work organization of the freight car maintenance section / A. D. Protasova, A. V. Zhebanov // Science, education, transport: topical issues, priorities, interaction vectors: Proceedings of the II International Scientific and Methodological Conference: in 3 parts, Orenburg, November 08–09, 2023. – Orenburg: Samara State University of Railway Engineering, 2023. – P. 138-142.

2. Obukhova, A. A. Lean manufacturing as a tool for managing costs for the quality of car repairs / A. A. Obukhova // Internet journal Naukovedenie. – 2014. – No. 3(22). – P. 54.

3. Voevodina, S. P. Development of railway transport through the introduction of lean manufacturing technologies / S. P. Voevodina, A. V. Zhebanov // Priority areas of science and technology development: reports of the XXXII international scientific and practical conference, Tula, March 15, 2023 / Under the general editorship of V. M. Panarin. – Tula: Innovative Technologies Publishing House, 2023. – P. 187-190.

4. Galiullin, A. R. Development of a section of the freight car repair shop using lean manufacturing tools / A. R. Galiullin // Days of student science: Collection of materials of the 47th

scientific conference of students of Samara State University of Railway Transport, Samara, April 14–30, 2020. Volume Issue 21, Volume 1. – Samara: Samara State University of Railway Engineering, 2020. – Pp. 68-71.

5. Korkina, S. V. Application of lean manufacturing methods to analyze the efficiency of the technology of the wheelset repair shop of the car repair production / S. V. Korkina, A. D. Potapova, A. S. Zakharova // Science and education in transport. – 2022. – No. 1. – Pp. 65-67.

6. Davletshina, R. R. Improving the efficiency of the car maintenance depot through the implementation of the lean manufacturing system / R. R. Davletshina, V. A. Neumoin // Actual problems of modern transport. – 2025. – No. 1(19). – Pp. 7-15.

7. Voevodina, S. P. Development of wagon industry enterprises using lean manufacturing technologies / S. P. Voevodina, A. V. Zhebanov // Science and education: current issues of theory and practice: Proceedings of the III International scientific and methodological conference dedicated to the 50th anniversary of Samara State Transport University, Samara, March 21-22, 2023. – Orenburg: OrIPS - branch of Samara State Transport University, 2023. – P. 20-23.

8. Protasova, A. D. Lean manufacturing methods used in the operation of wagons / A. D. Protasova, A. V. Zhebanov // Science and education: current issues of theory and practice: Proceedings of the III International scientific and methodological conference dedicated to the 50th anniversary of Samara State Transport University, Samara, March 21-22, 2023. – Orenburg: OrIPS – branch of Samara State University of Railway Transport, 2023. – P. 111-116.

9. Zhebanov, A. V. Use of “Lean Manufacturing” elements in organizing the work of the section for current uncoupling repair of freight cars / A. V. Zhebanov // Science and education in transport. – 2018. – No. 1. – P. 24-26.6. Voevodina, S. P. Development of railway transport through the introduction of lean manufacturing technologies / S. P. Voevodina, A. V. Zhebanov // Priority areas for the development of science and

technology: reports of the XXXII international scientific and practical conference, Tula, March 15, 2023 / Under the general editorship of V. M. Panarin. – Tula: Innovative Technologies Publishing House, 2023. – P. 187-190.

10. Analysis of the technological process of repair of wheelsets in the conditions of the Volga Railway Plant using lean manufacturing methods /

S. V. Korkina, A. V. Zhebanov, I. V. Pavelyev [et al.] // Bulletin of Transport of the Volga Region. - 2025. - No. 2 (110). - P. 126-130.

11. Chichin, A. V. Wagon fleet: guidelines - for lean manufacturing / A. V. Chichin // Wagons and wagon fleet. - 2012. - No. 4 (32). – P. 8-10.

Статья поступила в редакцию 10.08.2025

Информация об авторах

Жебанов Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара.

SPIN-код: 9762-0545, AuthorID: 742372

E-mail: a.zhebanov@samgups.ru

Печенкина Юлия Алексеевна, студент 4-го курса, Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара.

SPIN-код: 4605-4248

E-mail: pechenkinaja2004@gmail.com

Information about the authors

Zhebanov Alexander Vladimirovich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volga State Transport University, Samara.

SPIN-код: 9762-0545, AuthorID: 742372

E-mail: a.zhebanov@samgups.ru

Pechenkina Yulia Alekseevna, 4th year student Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volga State Transport University, Samara.

SPIN-код: 4605-4248

E-mail: pechenkinaja2004@gmail.com

Для цитирования:

Жебанов А.В., Печенкина Ю.А. Оптимизация процесса ремонта колесных пар посредством разработки карты потока создания ценности // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 16-23.

For citation:

Zhebanov A.V., Pechenkina Yu.A. Optimizing the wheelset repair process by developing a value stream map // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4(5). – P. 16-23.

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

УДК 628.4:658.382

АНАЛИЗ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ НА ОБЪЕКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ

Копец Ю. В.

ANALYSIS OF THE CREATION OF A COMPLEX PROFESSIONAL RISK MANAGEMENT SYSTEM AT SOLID WASTE PROCESSING FACILITIES USING FORECASTING MODELING AND AUTOMATED CONTROL

Kopets I. V.

***Аннотация.** В статье излагаются основы исследования, посвящённого решению научно-практической задачи повышения безопасности трудовой деятельности персонала на предприятиях, осуществляющих сбор, транспортировку, сортировку и термическую переработку твёрдых коммунальных отходов. Проанализированы недостатки применяемых в настоящее время организационных и технических мер защиты, не учитывающих комплексный и изменчивый характер опасностей на различных технологических этапах. Доказана целесообразность создания единой системы управления профессиональными рисками, базирующейся на принципах прогнозирования, непрерывного мониторинга и адаптивного регулирования. Определены цель и структура работы, заключающиеся в формировании методологической базы и практических решений для минимизации угроз здоровью работников путём разработки и внедрения интегрированной системы безопасности. Детализированы основные компоненты научного инструментария: систематизация источников опасности, построение прогнозных моделей различной природы, конструирование алгоритмов автоматизированного управления инженерно-техническими средствами защиты и оценка их результативности. Внедрение предлагаемых решений обеспечит переход от ситуативного реагирования к непрерывному превентивному управлению условиями труда, гарантируя подтверждаемое снижение уровня профессионального риска и повышение эксплуатационной надёжности технологических линий.*

***Ключевые слова:** безопасность труда, профессиональный риск, твёрдые коммунальные отходы, пиролиз, риск-ориентированный подход, автоматизированное управление, численное моделирование, системы мониторинга, средства коллективной и индивидуальной защиты, моделирование процессов переработки.*

Abstract. *The article presents the results of a study aimed at solving the scientific and practical problem of improving the safety of personnel working at enterprises engaged in the collection, transportation, sorting, and thermal processing of municipal solid waste. The article analyzes the shortcomings of the current organizational and technical protection measures, which do not take into account the complex and variable nature of hazards at different stages of the production process. The article proves the feasibility of creating a unified system for managing occupational risks based on the principles of forecasting, continuous monitoring, and adaptive regulation. The purpose and structure of the work have been defined, which consists in the formation of a methodological framework and practical solutions for minimizing health threats to workers by developing and implementing an integrated safety system. The main components of the scientific toolkit have been detailed, including the systematization of hazard sources, the construction of predictive models of various nature, the design of algorithms for automated control of engineering and technical means of protection, and the assessment of their effectiveness. The implementation of the proposed solutions will ensure a transition from reactive to continuous preventive management of working conditions, guaranteeing a confirmed reduction in occupational risk and improving the operational reliability of technological lines.*

Key words: *occupational safety, occupational risk, municipal solid waste, pyrolysis, risk-oriented approach, automated control, numerical modeling, monitoring systems, collective and individual protection equipment, and modeling of recycling processes.*

Введение. Рост населения и урбанизация ведут к постоянному увеличению объёмов образующихся твёрдых коммунальных отходов, что требует развития мощностей для их переработки. Технологии высокотемпературной конверсии, такие как пиролиз, позволяют не только уменьшить объём отходов, но и получить полезные энергоносители. Однако данные процессы создают специфические условия труда, характеризующиеся наличием множества взаимосвязанных опасных и вредных производственных факторов [1, 2].

Угрозы здоровью персонала на объектах обращения с ТКО носят полиморфный характер и включают: химическую опасность (токсичные газы, пары, продукты неполного сгорания), термическое воздействие, риск возгораний и взрывов (из-за образования горючих газовых смесей и пыли), биологическую опасность, механические травмы и неблагоприятные эргономические условия [3, 4]. Действующие регламенты и

локальные системы защиты часто не обеспечивают комплексного противодействия этим факторам, особенно в условиях переменчивых параметров сырья и технологического режима [5]. Существующий подход, ориентированный в основном на соблюдение нормативных предписаний и ликвидацию последствий, демонстрирует свою ограниченность в динамичной производственной среде.

В связи с этим возникает потребность в создании интеллектуальных систем, способных не только фиксировать, но и предсказывать возникновение опасных ситуаций, автоматически корректируя работу защитных устройств и режимы технологических процессов. Основная гипотеза настоящего исследования состоит в том, что качественный скачок в обеспечении безопасности может быть достигнут посредством объединения в единый информационно-управляющий контур следующих элементов:

1) модулей прогностического моделирования на основе данных о свойствах отходов и параметрах процесса;

2) распределённой сети датчиков для мониторинга состояния окружающей среды и оборудования;

3) подсистем адаптивного управления инженерными защитными комплексами;

4) оптимизированных решений в области индивидуальной и коллективной защиты, отобранных по критерию минимизации риска.

Данный синтетический подход развивает принципы предиктивной аналитики и системного управления рисками применительно к сфере переработки отходов [6, 7].

Изложение основных материалов. Вопросы безопасности на мусороперерабатывающих заводах и полигонах являются предметом многочисленных исследований. Процессы термического разложения отходов и эмиссии загрязняющих веществ изучены в работах [8, 9]. Для анализа распространения вредных факторов в

помещениях активно используются методы компьютерного моделирования [10, 11].

Повышение уровня безопасности труда при обращении с ТКО может быть достигнуто за счет интеграции в единую систему следующих основных блоков (рис. 1):

1) автоматизированных систем мониторинга параметров производственной среды и технологического процесса;

2) алгоритмов и моделей математического и численного прогнозирования формирования и распространения опасных факторов;

3) адаптивных систем управления инженерными системами безопасности (вентиляция, газоочистка, противоаварийная защита);

4) оптимизированных средств коллективной и индивидуальной защиты, параметры которых обоснованы на основе риск-ориентированного подхода.

Такой комплексный подход является логическим развитием идей риск-ориентированного управления [9, 10].



Рис. 1. Основные элементы системы обеспечения безопасности труда при обращении с твердыми коммунальными отходами

Тем не менее обзор публикаций [12, 13] и статистики [14] указывает на наличие устойчивых проблемных зон:

1. Отсутствие интеграции между отдельными подсистемами. Модели, системы контроля и управления вентиляцией или газоочисткой, как

правило, функционируют независимо, что препятствует оперативному принятию скоординированных решений.

2. Жёсткость алгоритмов защиты. Большинство применяемых технических средств срабатывают по фиксированным уставкам, не адаптируясь к изменению состава отходов, производительности линии или конфигурации опасности.

3. Упрощённые методы оценки риска. При аттестации рабочих мест и планировании мероприятий редко учитывается потенциация эффектов при одновременном воздействии разнородных факторов (например, высокой температуры и токсичных газов), что ведёт к некорректной оценке реальной угрозы [15].

4. Консервативность нормативной базы. Требования действующих стандартов и правил не отражают возможности современных систем предиктивного контроля и адаптивного управления для новых технологий переработки [16].

Следовательно, необходима разработка целостной концепции, которая позволит устранить выявленные диссонансы.

Основной целью статьи является формирование методологических основ и пакета технико-организационных решений для снижения уровня профессионального риска на предприятиях по обращению с ТКО путём создания интегрированной системы, объединяющей инструменты прогнозного моделирования, автоматизированного мониторинга, адаптивного управления защитными системами и оптимизации применяемых средств защиты.

Для достижения цели требуется последовательное решение ряда задач:

1. Провести систематизацию и классификацию источников профессиональных рисков на всех этапах

технологической цепочки обращения с ТКО, используя данные аварийности, профессиональной заболеваемости и результаты инспекционных проверок.

2. Разработать комплекс моделей, описывающих генерацию и трансформацию опасных факторов (газов, аэрозолей, тепла) при различных сценариях обработки отходов, включая аварийные ситуации.

3. Создать методику интегральной оценки профессионального риска, учитывающую совместное воздействие нескольких вредных факторов и динамику их изменения.

4. Разработать архитектуру, алгоритмы и протоколы для системы автоматизированного мониторинга ключевых параметров среды и технологического процесса, а также для адаптивного управления системами вентиляции, газоочистки и противоаварийной защиты.

5. Обосновать критерии выбора и оптимизации параметров средств коллективной и индивидуальной защиты, основываясь на результатах моделирования и оценках риска.

6. Подготовить рекомендации по актуализации систем управления охраной труда и нормативной документации для предприятий отрасли с учётом внедрения разработанных решений.

Общая концепция комплексной системы обеспечения безопасности труда при обращении с ТКО может быть формализована в виде кортежа, определяющего ее ключевые функциональные компоненты:

$$R = \langle S, M, Z, N \rangle, \quad (1)$$

где S – модуль прогнозирования;

M – модуль контроля и сбора данных;

Z – модуль управления;
 N – нормативно-методический функционал, обеспечивающий практическую реализацию и регламентацию.

Модуль прогнозирования и моделирования (S) отвечает за анализ потенциальных опасностей и построение сценариев их развития. Он включает:

1. Базу данных физико-химических свойств различных фракций ТКО.
2. Библиотеку расчётных моделей процессов пиролиза, газовой выделенности, горения и распространения примесей.
3. Подсистему логико-вероятностного анализа для оценки частоты и последствий возможных отклонений от нормального режима работы.
4. Блок расчёта интегральных индексов опасности, комбинирующих влияние нескольких факторов на организм человека.

Модуль контроля и сбора данных (M) обеспечивает получение информации о текущем состоянии объекта в реальном времени:

1. Сеть датчиков для измерения концентраций ключевых газов (CO , CH_4 , H_2S , летучих органических соединений), температуры, давления, запылённости, параметров микроклимата.
2. Системы визуального и тепловизионного контроля.
3. Образ платформы для сбора, первичной обработки и хранения поступающих данных.

Модуль управления защитными системами (Z) на основе данных от модулей S и M формирует управляющие воздействия:

1. Алгоритмы адаптивной регулировки работы систем приточно-вытяжной вентиляции и местных отсосов для поддержания безопасных концентраций вредных веществ в зонах присутствия персонала.
2. Систему управления режимами пиролизного реактора и газоочистного

оборудования для предотвращения возникновения аварийных ситуаций.

3. Автоматику запуска систем пожаротушения, блокировок и аварийной сигнализации при достижении пороговых значений контролируемых параметров.

Модуль нормативно-методического сопровождения (N) направлен на внедрение и легитимизацию системы. Данный блок объединяет методики испытаний и верификации разрабатываемых компонентов, процедуры оценки экономической и социальной эффективности внедрения разрабатываемой системы, а также рекомендации по дополнению и изменению локальных документов по охране труда и промышленной безопасности на предприятиях.

Выводы. Разработанная концепция интегрированной системы управления профессиональными рисками для предприятий переработки ТКО, основанная на синтезе методов предиктивного моделирования и адаптивного автоматизированного контроля, позволит создать программно-аппаратный комплекс для непрерывного мониторинга и проактивного управления условиями труда на объектах переработки ТКО, сформировать технические требования к модернизации систем вентиляции, газоанализа и противоаварийной автоматики.

Новые интегральные критерии оценки опасности, учитывающие синергетический эффект от сочетанного воздействия химических, термических и биологических факторов, характерных для процессов пиролиза, и создание принципов построения алгоритмов адаптивного управления инженерными системами защиты, учитывающих нестационарный характер технологических процессов

обращения с отходами, будут способствовать разработке рекомендаций по оптимизации применяемого парка средств индивидуальной и коллективной защиты.

Внедрение предлагаемых решений обеспечит создание замкнутого цикла «оценка – прогноз – управление – контроль», что позволит перейти от пассивной регистрации опасностей к активному предотвращению случаев травматизма и профессиональных заболеваний. Ожидаемым результатом является существенное снижение уровня профессионального риска, сокращение эксплуатационных потерь, связанных с аварийными остановками, и создание технологического задела для развития безопасных и экономически эффективных предприятий в сфере обращения с отходами.

Изложенная концепция интегрированной системы управления профессиональными рисками предлагает системный ответ на вызовы, связанные с обеспечением безопасности труда на развивающихся предприятиях по переработке твёрдых коммунальных отходов. Объединение современных методов моделирования, средств автоматизированного контроля и адаптивного управления в единый контур создаёт основу для перехода к новому качеству управления охраной труда – упреждающему и основанному на данных. Реализация данного подхода будет способствовать не только защите здоровья работников, но и повышению надёжности и экологической устойчивости технологических процессов утилизации отходов, что соответствует стратегическим целям развития экономики замкнутого цикла.

Список источников

1. Копец Ю.В. Повышение эффективности утилизации твёрдых коммунальных отходов на примере Луганской Народной Республики: дис. ... канд. техн. наук. ВГД., 2004. 138 с
2. Lombardi L., Carnevale E., Corti A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste // *Waste Management*. – 2015. – Vol. 37. – P. 26–44.
3. Измеров Н.Ф. (ред.). Профессиональные риски для здоровья работников. – М.: Медицина, 2019. – 512 с.
4. Сдвиг парадигмы в гигиене труда: прогнозирование и каузация как основа управления риском / Э. И. Денисов, Л. В. Прокопенко, Г. В. Голованева, И. В. Степанян // *Гигиена и санитария*. – 2012. – Т. 91, № 5. – С. 62–65.
5. ГОСТ Р 54934-2012/OHSAS 18001:2007. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. – М.: Стандартинформ, 2019.
6. Aven T., Renn O. *Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications*. – Springer, 2018. – 244 p.
7. ISO 31000:2018. *Risk management – Guidelines*. – Geneva: ISO, 2018.
8. Копец, Ю. В. Процесс и установка для пиролизной утилизации твердых органических отходов / Ю. В. Копец // *Экологический вестник Донбасса*. – 2023. – № 8. – С. 25–28.
9. Malkow T. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal // *Waste Management*. – 2004. – Vol. 24, № 1. – P. 53–79.
10. Андерсен К., Ванге П. Вычислительная гидродинамика. Основы и применения. – М.: Техносфера, 2018. – 488 с.
11. Ferziger J.H., Perić M. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. – Springer, 2019. – 423 p.
12. Итышев, И. К. О проблемах пожарной безопасности твердых бытовых отходов и мест их хранения / И. К. Итышев, С. О. Потапова // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. – 2018. – Т. 1, № 9. – С. 292–300.

13. Термическая переработка отходов - Эффективный способ их утилизации и технология развития альтернативной энергетики в Российской Федерации / С. Г. Тяглов, В. А. Козловский, С. А. Колясников, А. А. Харагоргиев-Тяглов // Финансовые исследования. – 2022. – № 2(75). – С. 77-82.

14. Данные Федеральной службы по труду и занятости (Роструд) о состоянии условий труда и производственного травматизма. – URL: <https://www.rostrud.gov.ru> (дата обращения: 10.11.2025).

15. Куренкова, Г. В. Комплексное действие факторов производственной среды на организм инженеров авиационного предприятия / Г. В. Куренкова, М. П. Дьякович, Е. П. Лемешевская // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2006. – № 3(49). – С. 19-23.

16. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

References

1. Kopets I.V. Improving the Efficiency of Municipal Solid Waste Disposal on the Example of the Lugansk People's Republic: Dis. ... Candidate of Technical Sciences. Volgograd, 2024. 138 p.

2. Lombardi L., Carnevale E., Corti A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste // Waste Management. – 2015. – Vol. 37. – P. 26–44.

3. Izmerov N.F. (ed.). Professional Risks for Workers' Health. – Moscow: Medicine, 2019. – 512 p.

4. Paradigm Shift in Occupational Health: Forecasting and Causation as a Basis for Risk Management / E. I. Denisov, L. V. Prokopenko, G. V. Golovaneva, and I. V. Stepanyan // Hygiene and Sanitation. – 2012. – Vol. 91, No. 5. – Pp. 62-65.

5. GOST R 54934-2012/OHSAS 18001:2007. Occupational Safety and Health Management Systems. – Moscow: Standartinform, 2019.

6. Aven T., Renn O. Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications. – Springer, 2018. – 244 p.

7. ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. – Geneva: ISO, 2018.

8. Kopets, I. V. Process and Installation for Pyrolysis Utilization of Solid Organic Waste / I. V. Kopets // Environmental Bulletin of Donbas. – 2023. – No. 8. – Pp. 25-28.

9. Malkow T. Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal // Waste Management. – 2004. – Vol. 24, No. 1. – Pp. 53–79.

10. Andersen K., Vange P. Computational Fluid Dynamics. Fundamentals and Applications. – Moscow: Tekhnosfera, 2018. – 488 p.

11. Ferziger J.H., Perić M. Computational Methods for Fluid Dynamics. – Springer, 2019. – 423 p.

12. Ityshev, I. K. On the Problems of Fire Safety of Solid Household Waste and Its Storage Sites / I. K. Ityshev, S. O. Potapova // Fire Safety: Problems and Prospects. – 2018. – Vol. 1, No. 9. – Pp. 292-300.

13. Thermal recycling of waste is an effective method of waste disposal and an alternative energy development technology in the Russian Federation / S. G. Tyaglov, V. A. Kozlovsky, S. A. Kolyasnikov, and A. A. Kharagorgiev-Tyaglov // Financial Research. – 2022. – No. 2(75). – Pp. 77-82.

14. Data from the Federal Service for Labor and Employment (Rostrud) on the state of working conditions and occupational injuries. – URL: <https://www.rostrud.gov.ru> (accessed on: 11/10/2025).

15. Kurenkova, G. V. The complex effect of environmental factors on the body of aviation engineers / G. V. Kurenkova, M. P. Dyakovich, E. P. Lemeshevskaya // Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences. – 2006. – № 3(49). – Pp. 19-23.

16. Federal Law No. 116-FZ of July 21, 1997 "On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities".

Статья поступила в редакцию 15.11.2025

Информация об авторе

Копец Юрий Витальевич, канд. тех. наук, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты, Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

SPIN-код: 9524-6246 AuthorID: 1164071

E-mail: Yura_87-87@mail.ru

Information about the author

Kopets Iurii Vitalievich, PhD in Engineering, Head of the Department of Technosphere Safety at the Institute of Civil Protection of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

SPIN-код: 9524-6246 AuthorID: 1164071

E-mail: Yura_87-87@mail.ru

Для цитирования:

Копец Ю. В. Анализ создания комплексной системы управления профессиональными рисками на объектах переработки твердых коммунальных отходов с применением методов прогнозного моделирования и автоматизированного контроля // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 24-31.

For citation:

Kopets I. V. Analysis of the creation of a complex professional risk management system at solid waste processing facilities using forecasting modeling and automated control // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4(5). – P. 24-31.

УДК 614.8:658.382

О ВОЗМОЖНОМ ПОДХОДЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Красногрудов А. В.

ON A POSSIBLE APPROACH TO CREATE THE CONCEPT OF AN INTEGRATED RISK-BASED OCCUPATIONAL SAFETY SYSTEM AT FIRE AND EXPLOSIVE MAN-MADE FACILITIES

Krasnogradov A. V.

***Аннотация.** В статье представлено общее описание исследования, направленного на решение актуальной научной проблемы обеспечения безопасности труда персонала на современных пожаро- и взрывоопасных техногенных объектах. Проведен анализ неэффективности существующих разрозненных регламентов и средств защиты, не позволяющих оперативно реагировать на совокупное и динамичное воздействие опасных факторов. Обоснована необходимость разработки комплексной риск-ориентированной системы, интегрирующей методы математического прогнозирования развития аварийных ситуаций, адаптивного управления вентиляционно-автоматическими процессами и оптимизированные средства коллективной защиты. Сформулирована цель и функционал исследования, заключающийся в разработке и обосновании методологии и технических решений для снижения профессионального риска за счет создания такой системы. Описаны ключевые элементы ее научного аппарата: анализ и классификация доминирующих факторов риска, построение физико-химических, численных и логико-вероятностных моделей опасных процессов, разработка алгоритмов адаптивного управления, оптимизация параметров защитных систем и оценка их эффективности. Реализация предложенной концепции позволит осуществить переход от реагирующего к интегрированному управлению безопасностью труда, обеспечивая доказуемое снижение профессионального риска и повышение устойчивости технологических объектов.*

***Ключевые слова:** безопасность труда, профессиональный риск, пожаровзрывоопасные объекты, риск-ориентированный подход, адаптивное управление, численное моделирование, вентиляционные системы, пожарная автоматика, средства коллективной защиты, моделирование горения и взрыва.*

***Abstract.** The article provides a general description of a study aimed at solving the urgent scientific problem of ensuring the safety of personnel at modern fire- and explosion-hazardous industrial facilities. The article analyzes the ineffectiveness of existing fragmented regulations and protective measures, which do not allow for prompt response to the combined and dynamic effects of hazardous factors. The article substantiates the need for the development of a comprehensive risk-oriented system that integrates methods of mathematical forecasting of emergency situations, adaptive control of ventilation and automatic processes, and optimized collective protection measures. The purpose and functionality of the*

study have been formulated, which consists in developing and justifying a methodology and technical solutions for reducing professional risk by creating such a system. The key elements of its scientific apparatus have been described: the analysis and classification of dominant risk factors, the construction of physical, chemical, numerical, and logical models.

Key words: *occupational safety, professional risk, fire- and explosion-hazardous facilities, risk-oriented approach, adaptive control, numerical modeling, ventilation systems, fire automation, collective protection means, combustion and explosion modeling.*

Введение. Современный этап технологического развития характеризуется интенсивной автоматизацией и внедрением новых высокоэнергетических процессов в промышленности и энергетике. Производственные комплексы, связанные с использованием литий-ионных аккумуляторов (включая объекты электротранспорта и накопления энергии), применением водоугольных топлив, работой в условиях сверхвысоких давлений и функционированием роботизированных линий, обладают значительным пожарным и взрывным потенциалом [1, 2]. Специфика данных объектов заключается в сложности, быстротечности и взаимосвязанности протекающих в них аварийных процессов.

Травматизм и профессиональная заболеваемость персонала на таких объектах обусловлены не изолированным, а сочетанным воздействием целого спектра опасных факторов: теплового (от открытого пламени и конвективных потоков), токсического (от продуктов горения и химических реакций), механического (от фрагментов оборудования и ударной волны) и аэродинамического (задымленность, перепады давления) [3]. Существующие системы защиты, регламенты и нормативные документы зачастую рассматривают эти факторы изолированно, что не позволяет адекватно оценивать и управлять совокупным профессиональным риском в динамично меняющихся условиях

[4, 5]. Преобладающий сегодня реактивный подход, основанный на ликвидации последствий уже возникшей аварии, является недостаточным для обеспечения требуемого уровня безопасности.

В этой связи актуализируется задача разработки комплексных систем, применение которых позволит прогнозировать развитие опасных ситуаций и заблаговременно инициировать превентивные защитные меры. Настоящее исследование базируется на гипотезе о том, что кардинальное повышение уровня безопасности труда может быть достигнуто за счет интеграции в единый комплекс трех ключевых компонентов: 1) систем математического прогнозирования развития опасных ситуаций в реальном времени; 2) адаптивных систем автоматического регулирования параметров производственной среды; 3) оптимизированных средств инженерной и организационной защиты, параметры которых обоснованы на основе риск-ориентированного подхода. Такой комплексный подход является логическим развитием идей риск-ориентированного управления [6, 7] и концепции «умных» производственных объектов применительно к задачам промышленной и пожарной безопасности.

Изложение основных материалов. Проблема обеспечения безопасности на пожаро- и взрывоопасных объектах традиционно находится в центре внимания

исследователей. Значительный вклад в теорию горения и взрыва внесли работы отечественных и зарубежных ученых [8, 9]. В области моделирования опасных факторов пожара и взрыва широкое распространение получили методы вычислительной гидродинамики, позволяющие с высокой степенью детализации исследовать поля температур, концентраций токсичных веществ и динамику газовых потоков [10, 11].

Вместе с тем анализ литературных источников [12, 13] и статистических данных [14] позволяет выявить ряд нерешенных проблем:

1. Разрозненность моделей и систем управления. Существующие численные модели, системы пожарной автоматики и вентиляции часто разрабатываются и функционируют изолированно. Отсутствует единая платформа, обеспечивающая использование результатов прогнозного моделирования для оперативной корректировки работы инженерных систем.

2. Неадаптивность систем защиты. Большинство существующих систем вентиляции и пожарной автоматики работают по заранее заданным, жестким алгоритмам, не учитывающим специфику конкретного сценария развития аварии. Это приводит к их неэффективной работе в нештатных ситуациях, отклоняющихся от расчетных.

3. Несовершенство критериев риска. При оценке профессионального риска не в полной мере учитывается синергетический эффект от совместного воздействия нескольких опасных факторов, что приводит к занижению реального уровня опасности для персонала [15].

4. Отставание нормативной базы. Действующие нормативные документы

зачастую не успевают за внедрением новых технологий и не регламентируют использование комплексных систем адаптивного управления безопасностью [16].

Таким образом, возникает необходимость в научном обосновании и разработке принципиально новой концепции, устраняющей указанные противоречия.

Целью статьи является разработка и обоснование методологии и технических решений по снижению профессионального риска работников на пожаро- и взрывоопасных объектах за счет создания и внедрения комплексной риск-ориентированной системы, интегрирующей адаптивные вентиляционно-автоматические системы, математическое прогнозирование опасных факторов и оптимизированные средства коллективной защиты.

Для достижения поставленной цели в рамках исследования предполагается реализовать следующие основные задачи:

1. Проведение системного анализа и классификации доминирующих факторов профессионального риска на основе ретроспективных данных государственной статистической отчетности, материалов расследований аварий и данных отраслевых мониторингов.

2. Анализ существующих нормативных требований, средств коллективной и индивидуальной защиты, выявление их недостатков и «узких мест» в условиях применения на современных техногенных объектах.

3. Формализация требований к комплексной риск-ориентированной системе и разработка ее общей архитектуры, определяющей взаимосвязи между прогнозными модулями, системами

управления и исполнительными устройствами.

Для создания концепции необходимо сформировать такую систему, которую можно представить в виде кортежа (1):

$$S_R = \langle M, U, K, N \rangle, \quad (1)$$

где M – элемент комплексной системы, реализованный в виде модельно-прогностического функционала;

U – «интеллектуальная» составляющая системы, обеспечивающая ее реакцию на прогнозируемую угрозу, т.е. функционал управления;

K – конструктивно-оптимизационный функционал создаваемой системы, который нацелен на совершенствование пассивных и активных средств защиты на основе критериев риска;

N – функционал системы, реализующий нормативную реализацию принимаемых решений.

Ниже рассмотрим подробное описание перечисленных основных блоков создаваемой системы.

Модельно-прогностический функционал можно представить в виде следующего кортежа (2):

$$M = \langle T, O, F(T, O), I_K \rangle, \quad (2)$$

где T – блок формирования физико-химических моделей рассматриваемых процессов;

O – блок построения численных моделей рассматриваемых процессов;

$F(T, O)$ – блок формирования логико-вероятностных функций. Которые описывают рассматриваемые процессы;

I_K – блок формирования интегральных критериев профессионального риска.

Этот функционал должен включать следующую реализацию поэтапно решаемых задач:

1. Разработку детализированных физико-химических моделей процессов терморазложения, горения и взрыва для современных видов энергонасыщенных материалов. Особое внимание уделяется моделям для специфичных объектов: процессов разложения литий-ионных аккумуляторов с учетом термораспространения [17], горения водоугольных суспензий и пылевоздушных смесей из угольных пластов, поведения систем под высоким давлением при аварийном разрыве.

2. Построение и верификация численных моделей для трехмерного моделирования распространения опасных факторов (дыма, токсичных газов, горючих паров, ударных волн) в пространственно-сложной структуре производственного объекта. Необходимо исследовать различные модели турбулентности для адекватного описания аэродинамических процессов в помещениях и на открытых площадках [18].

3. Создание логико-вероятностных моделей (ЛВМ) для сценарного прогнозирования развития аварийных ситуаций на основе деревьев событий и нечеткой логики. ЛВМ позволят оценивать вероятности различных путей развития аварии, учитывая отказы оборудования и человеческий фактор.

4. Формирование интегральных критериев профессионального риска, учитывающих совместное воздействие нескольких опасных факторов (например, индекс токсико-термического воздействия). Эти критерии станут основой для количественной оценки эффективности предлагаемых решений.

Функционал системы управления можно представить в виде следующего кортежа (3):

$$U = \langle A, U_A, P(A, U_A) \rangle, \quad (3)$$

где A – блок формирования Алгоритмов для адаптивного управления системами вентиляции;

U_A – блок управления гидравлическими приводами и установками пожарной автоматики;

$P(A, U_A)$ – блок формирования протоколов интеграции построенных моделей.

Для обеспечения управления создаваемой системы необходимо создание «интеллектуальной» составляющей, обеспечивающей ее реакцию на прогнозируемую угрозу, включая:

1. Разработку алгоритмов для адаптивного управления системами вентиляции. Алгоритмы будут в реальном времени анализировать данные с датчиков и результаты численного моделирования, определяя оптимальные направления и расходы воздушных потоков для создания зон с приемлемыми условиями (бездымные зоны, противодействие на распространение пожара).

2. Создание систем управления гидравлическими приводами и установками пожарной автоматики. Управление будет адаптироваться к изменяющимся параметрам аварии (скорость развития, площадь, тип горючей нагрузки), обеспечивая своевременный и дозированный запуск систем тушения, например, регулирование давления и расхода в спринклерных и дренчерных системах.

3. Разработку протоколов интеграции между прогнозными моделями, системами управления и исполнительными

механизмами, обеспечивающих минимальное время отклика всей системы.

Конструктивно-оптимизационный функционал нацелен на совершенствование пассивных и активных средств защиты на основе критериев риска:

1. Исследование и оптимизация параметров средств коллективной защиты с целью исследования эффективности новых огнезащитных покрытий и оболочек для оборудования и трубопроводов, конструктивные решения противопожарных преград и кожухов, тактико-технические характеристики высоконапорных пожарных установок.

2. Постановка и решение задачи оптимизации по критерию «риск-затраты». Для различных сценариев будет определяться оптимальное сочетание средств защиты, обеспечивающее требуемое снижение риска при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

Нормативный функционал обеспечивает практическую реализацию и правовое сопровождение разработки. Разработанные модели, алгоритмы и прототипы устройств будут проходить валидацию в лабораторных условиях, на полигонных испытаниях и в ходе пилотной эксплуатации на реальных промышленных предприятиях. Также необходимо разработать методику расчета предотвращенного ущерба, включая стоимостную оценку сохраненных жизней и здоровья работников, а также сохранности оборудования. Кроме этого, требуется создание нормативных и методических рекомендаций по актуализации системы управления охраной труда (СУОТ) и промышленной безопасностью на пожаро-взрывоопасных предприятиях, направленных на

легитимизацию использования адаптивных риск-ориентированных систем.

Практическая ценность создаваемой концепции состоит в том, что ее реализация в виде комплексной системы позволит:

1. Создать программно-алгоритмический комплекс для оперативной оценки и управления профессиональным риском на пожаро-взрывоопасных объектах.

2. Разработать технические требования и прототипы устройств для модернизации систем вентиляции, гидроприводов и пожарной автоматики.

3. Предоставить производственным предприятиям и проектным организациям научно обоснованные рекомендации по выбору и оптимизации средств коллективной защиты.

4. Подготовить предложения по актуализации федеральных норм и правил в области промышленной и пожарной безопасности, способствующие внедрению риск-ориентированного подхода и адаптивных систем.

Выводы. Представленная концепция комплексной риск-ориентированной системы направлена на преодоление фрагментарности и неадаптивности существующих подходов к обеспечению безопасности труда на объектах с высоким энергетическим потенциалом. Ее ключевым преимуществом является создание замкнутого контура управления, в котором данные прогнозного моделирования, основанного на современных физико-химических и аэродинамических моделях, в реальном времени используются для адаптивной подстройки работы всех инженерных систем защиты. Это позволяет перейти от пассивного противопоставления опасностям к активному, проактивному управлению рисками.

Ожидаемыми результатами внедрения системы являются доказуемое снижение уровня профессионального риска для персонала не менее чем на 30%, повышение надежности и устойчивости технологических объектов, а также формирование научно-обоснованной базы для актуализации отраслевых нормативных документов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию в систему более сложных элементов искусственного интеллекта и машинного обучения для повышения точности прогнозов, а также на углубленный учет психофизиологических аспектов человеческого фактора в моделях управления эвакуацией и действиями персонала в аварийной ситуации.

Список источников

1. Баратов А.Н., Пчелинцев А.Я. Пожарная безопасность производства. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – 456 с.
2. Hall J., Buckley A. Lithium-ion Battery Fire Hazards // *Journal of Hazardous Materials*. – 2020. – Vol. 381. – P. 121–135.
3. Мاستрюков Б.С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них. – М.: Академия, 2018. – 320 с.
4. Князев В.И., Молчанов Ю.И. Управление профессиональными рисками: теория и практика. – СПб.: Профессия, 2019. – 288 с.
5. Aven T. Risk Assessment and Management: Fundamental Concepts // *Safety Science*. – 2020. – Vol. 129. – P. 104–112.
6. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – М.: Госгортехнадзор России, 2001. – 45 с.
7. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018.
8. Фомин В.М. Теория горения и взрыва. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 436 с.

9. Hurley M.J., et al. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. – 5th ed. – Springer, 2019. – 3464 p.
10. Вертенгауз Г.А., Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: Стройиздат, 2017. – 215 с.
11. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Hemisphere Publishing Corp., 2018. – 214 p.
12. Gann R.G., Bryner N.P., Johnsson E.L. Fire Safety Challenges in the 21st Century // Fire Technology. – 2021. – Vol. 57. – P. 1–12.
13. Абдуллагимов И.М., Корольченко А.Я. Огнезащита строительных материалов и конструкций. – М.: Пожнаука, 2020. – 278 с.
14. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат). – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 15.10.2023).
15. Лебедев А.Т. Гидравлические и пневматические системы в пожарной технике. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 192 с.
16. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
17. Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., & Sun, J. A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. // Progress in Energy and Combustion Science. – 2019. – Vol. 73. – P. 95-131.
18. McGrattan, K., McDermott, R., Weinschenk, C., & Overholt, K. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. – NIST, 2020. – 195 p.
5. Aven T. Risk Assessment and Management: Fundamental Concepts // Safety Science. – 2020. – Vol. 129. – P. 104–112.
6. RD 03-418-01. Methodological guidelines for conducting risk analysis of hazardous production facilities. Moscow: Gosgortehnadzor of Russia, 2001. 45 p.
7. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2018.
8. Fomin V.M. Gorenje i explosion Theory. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2019. 436 p.
9. Hurley M.J., et al. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. – 5th ed. – Springer, 2019. – 3464 p.
10. Vertengauz G.A., Koshmarov Yu.A. Forecasting of fire hazards in the room. – М.: Stroyizdat, 2017. – 215 p.
11. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Hemisphere Publishing Corp., 2018. – 214 p.
12. Gann R.G., Bryner N.P., Johnsson E.L. Fire Safety Challenges in the 21st Century // Fire Technology. – 2021. – Vol. 57. – P. 1–12.
13. Abdullagimov I.M., Korolchenko A.Ya. Fire protection of building materials and structures. Moscow: Pozhnauka, 2020. 278 p.
14. The official website of the Federal State Statistics Service (Rosstat). – URL: <https://rosstat.gov.ru> (date of reference: 10/15/2023).
15. Lebedev A.T. Hydraulic and pneumatic systems in fire fighting equipment. Moscow: INFRA-M, 2020. 192 p.
16. GOST 12.1.004-91. SSBT. Fire safety. General requirements. – М.: Standartinform, 2019. – 25 p.
17. Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., & Sun, J. A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. // Progress in Energy and Combustion Science. – 2019. – Vol. 73. – P. 95-131.
18. McGrattan, K., McDermott, R., Weinschenk, C., & Overholt, K. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. – NIST, 2020. – 195 p.

References

Статья поступила в редакцию 04.11.2025

Информация об авторе

Красногрудов Александр Васильевич,
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой
«Пожарная безопасность» Института
гражданской защиты Луганского
государственного университета имени
Владимира Даля, г. Луганск.
SPIN-код: 1213-0670, AuthorID: 1317834
E-mail: krasnogradov@mail.ru

Information about the author

Krasnogradov, Alexander Vasilyevich,
candidate of Sciences in Technology, Associate
Professor, head of the Department of Fire Safety at
the Institute of Civil Protection of the Lugansk
State University named after Vladimir Dahl,
Lugansk.
SPIN-код: 1213-0670, AuthorID: 1317834
E-mail: krasnogradov@mail.ru

Для цитирования:

Красногрудов А.В. О возможном подходе для создания концепции комплексной риск-ориентированной системы обеспечения безопасности труда на пожаро- и взрывоопасных техногенных объектах // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 32-39.

For citation:

Krasnogradov A.V. On a possible approach to create the concept of an integrated risk-based occupational safety system at fire and explosive man-made facilities // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4 (5). – P. 32-39.

УДК 331.45

**ОБЩИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ДЛЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Машуков Р. А.

**A GENERAL APPROACH TO DEVELOPING A DECISION
SUPPORT SYSTEM FOR REGULATORY SUPPORT
OF PERSONNEL SAFETY AT PRODUCTION FACILITIES**

Mashukov R. A.

***Аннотация.** В статье рассматривается формирование общего подхода к созданию системы поддержки принятия решений для нормативного регулирования вопросов защиты персонала производственного объекта в условиях цифровой трансформации. Обосновывается необходимость интеграции интеллектуально-правовых механизмов, вероятностно-статистических моделей оценки риска и современных технических (цифровых) решений. Предлагается архитектура комплексной системы, включающая модули анализа нормативно-правовых требований, динамического мониторинга производственной среды, оценки профессиональных рисков с учетом человеческого фактора, а также формирования адаптивных управляющих воздействий и рекомендаций по совершенствованию системы управления охраной труда. Особое внимание уделяется согласованию технических решений (сенсорных сетей, систем прогнозирования) с правовыми ограничениями в области защиты персональных данных и определения ответственности. Результатом исследования является концептуальная модель, направленная на повышение эффективности нормативного регулирования и оперативного управления безопасностью труда на основе риск-ориентированного подхода.*

***Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, нормативное регулирование, защита персонала, безопасность труда, риск-ориентированный подход, цифровая трансформация, интеллектуально-правовые механизмы, профессиональные риски, система управления охраной труда, производственная среда.*

***Abstract.** The article discusses the formation of a general approach to creating a decision support system for regulatory issues of personnel protection at an industrial facility in the context of digital transformation. The necessity of integrating intellectual and legal mechanisms, probabilistic and statistical risk assessment models, and modern technical (digital) solutions is substantiated. An architecture of a comprehensive system is proposed, which includes modules for analyzing regulatory and legal requirements, dynamic monitoring of the production environment, assessing occupational risks taking into account the human factor, and generating adaptive control actions and recommendations for improving the occupational safety management system. Special attention is paid to coordinating technical solutions (sensor networks, forecasting systems) with legal restrictions on personal data protection and*

liability. The research result is a conceptual model aimed at improving the efficiency of regulatory control and operational management of occupational safety based on a risk-oriented approach.

Key words: *decision support system, regulatory control, personnel protection, occupational safety, risk-oriented approach, digital transformation, intellectual and legal mechanisms, occupational risks, occupational safety management system, production environment.*

Введение. Обеспечение безопасности персонала на производственных объектах было и остается одной из фундаментальных задач социально ответственного государства и бизнеса. Однако в XXI веке эта задача приобретает новое измерение, обусловленное стремительной цифровой трансформацией, появлением принципиально новых технологий и материалов, а также ростом сложности производственных систем [1, 2]. В этих условиях традиционная модель нормативного регулирования, сложившаяся в XX веке и основанная на установлении жестких, зачастую статичных требований к оборудованию, среде и процедурам, демонстрирует свою ограниченность. Актуальность проблемы сегодня заключается не столько в отсутствии правил, сколько в их несоответствии динамичной реальности современного производства и недостаточной эффективности в предотвращении аварий и травматизма.

По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), несмотря на общую тенденцию к снижению, уровень производственного травматизма в России остается значительным. В 2022 году на производстве пострадало более 20 тысяч человек, из них около 1,5 тысячи случаев – со смертельным исходом [3]. Анализ показывает, что значительная доля тяжелых и смертельных травм, а также крупных аварий происходит не из-за полного игнорирования норм, а в ситуациях, когда существующие

регламенты не учитывают специфику конкретной, часто нетиповой ситуации, совокупное воздействие факторов или поведение сложных технологических систем [4]. Это указывает на системный кризис предписывающего подхода и актуализирует вопрос о поиске новой парадигмы регулирования.

Классическая модель регулирования промышленной безопасности и охраны труда, закреплённая в таких документах, как Трудовой кодекс РФ, федеральные нормы и правила (далее – ФНП), ГОСТы и правила по охране труда (далее – ПОТ), исторически выполняла важнейшую функцию – установила минимальный обязательный уровень требований. Ее основными характеристиками являются следующие:

1. Нормы задают конкретные параметры (допустимые концентрации вредных веществ, требования к ограждениям, периодичность инструктажей).
2. Правила разрабатываются для типовых ситуаций и широкого круга предприятий.
3. Процесс обновления нормативной базы бюрократически сложен и длителен, что приводит к ее отставанию от технологического прогресса.

Главный недостаток такой модели – ее неспособность к оперативной адаптации. Она эффективна для борьбы с известными, стандартными опасностями, но оказывается беспомощной перед новыми комплексными рисками. Примером может служить

регулирование в области литий-ионных аккумуляторов. Традиционные правила пожарной безопасности для электроустановок не учитывают специфику теплового разгона батарей – каскадной необратимой реакции с выделением огромного количества тепла и токсичных газов [5]. Предприятие, формально соблюдающее все предписания по электробезопасности, может столкнуться с катастрофическим пожаром на складе аккумуляторов из-за отсутствия в нормах требований к системам раннего обнаружения теплового разгона или специфичным способам тушения. Тут же можно привести пример и по внедрению роботизированных комплексов. Существующие правила по охране труда при работе с инструментом и оборудованием регламентируют защитные ограждения и зоны отчуждения. Однако современные коллаборативные роботы (коботы), предназначенные для работы рядом с человеком, требуют принципиально иного подхода, основанного на динамическом ограничении скорости и силы при обнаружении человека в совместной зоне, что должно регулироваться не столько параметрами забора, сколько алгоритмами работы системы управления [6]. Отсутствие таких норм создает правовой вакуум и сдерживает внедрение безопасных инноваций.

Результаты. Цифровизация приносит не только новые риски, но и инструменты для их управления. Сенсорные сети, IoT-платформы, цифровые двойники и системы предиктивной аналитики позволяют перейти от периодического контроля к непрерывному мониторингу состояния оборудования и среды в реальном времени.

Наглядным примером является проект «умного месторождения». Датчики на скважинах, трубопроводах и оборудовании генерируют терабайты данных, которые анализируются для прогноза выбросов, обрушений или утечек. Но действующие ФНП в нефтегазовой отрасли не признают такие прогнозы основанием для превентивной остановки работы – регламент требует констатации уже свершившегося факта превышения параметра [7]. Таким образом, технология позволяет предотвратить аварию, но нормативная база не позволяет этого сделать легитимно, не нарушая регламент.

Ответом на эти вызовы является постепенный переход к риск-ориентированному регулированию, закрепленному в международных стандартах (ISO 45001:2018) [8] и российских документах (РД 03-418-01) [9]. Его суть – в смещении фокуса со следования жестким предписаниям на постоянный процесс идентификации, оценки и управления профессиональными рисками. В этой модели нормативный акт задает не параметры, а требования к процессу управления рисками, оставляя предприятию свободу в выборе конкретных мер, адекватных его уникальной risk-profile.

Актуальность обеспечения безопасности персонала сегодня напрямую связана с необходимостью кардинального обновления системы нормативного регулирования. Устаревшая, статичная и предписывающая модель не соответствует скорости технологических изменений и сложности современных рисков. Статистика травматизма и примеры аварий свидетельствуют о системном характере проблемы.

Выходом является последовательный переход к гибкой, динамичной и

интегрированной модели, основанной на следующих принципах:

1. Принятие риск-ориентированного подхода как центральной парадигмы, фокусирующейся на управлении процессами, а не на контроле параметров.

2. Активная интеграция цифровых технологий в нормативное поле через признание юридической силы данных мониторинга в реальном времени и разработку стандартов для интеллектуальных систем безопасности.

3. Стимулирование предупреждающего принятия решений через нормативное закрепление требований к прогнозно-аналитическим системам и превентивным мерам, основанным на данных.

4. Ускорение процессов актуализации нормативной базы за счет внедрения механизмов быстрого реагирования на появление новых технологий и рисков, возможно, через отраслевые «регуляторные песочницы».

Только такой комплексный подход позволит превратить нормативное регулирование из сдерживающего фактора в драйвер внедрения инноваций для создания подлинно безопасной производственной среды в эпоху цифровой трансформации. Безопасность персонала должна обеспечиваться не вопреки технологическому прогрессу, а с его помощью, при поддержке адекватного и современного правового поля.

Целью статьи является формирование общего подхода к созданию системы поддержки принятия решений (далее – СППР), ориентированной на задачи нормативного регулирования и практической защиты персонала производственного объекта. Такая система призвана стать связующим звеном между теорией риск-ориентированного

управления, современными технологиями и практикой правоприменения.

Нормативное регулирование безопасности труда – это не просто набор правил. Его эффективность определяется правосознанием субъектов (работодателя, работника, контролирующих органов), их волей к соблюдению норм и адекватностью волеизъявления (например, в виде корректных инструкций или приказов) [4]. СППР должна учитывать эти факторы, моделируя не только физические параметры среды, но и «правовое поле» предприятия, включая уровень правовой культуры и готовность к выполнению предписаний.

Категория «вероятности» является центральной для риск-ориентированного подхода. В правовом поле она трансформируется в понятия допустимого риска, презумпции вины или, напротив, непреодолимой силы [10]. СППР должна оперировать не только статистическими вероятностями аварий или травм, но и юридически значимыми вероятностными порогами, за которыми наступает ответственность.

Таким образом, проблемное поле для создания СППР лежит на стыке дисциплин: необходимо разработать методологию, которая позволит согласовать формальные юридические конструкции с математическими моделями риска и потоком данных от технологических систем.

Выводы. В качестве концепции СППР для нормативного регулирования и защиты персонала предлагается многоуровневая архитектура. Ее ядром является интеграционная платформа, обеспечивающая взаимодействие четырех основных модулей:

1. Модуль нормативно-правового анализа и актуализации. Этот модуль представляет собой базу знаний, содержащую структурированные нормативные требования (Трудовой кодекс, правила по охране труда, отраслевые стандарты), а также их вероятностно-правовую интерпретацию. С помощью методов текстового анализа и онтологического моделирования система отслеживает изменения в законодательстве, выявляет противоречия и «серые зоны». На основе моделей, учитывающих интеллектуально-волевые факторы конкретной организации, модуль генерирует рекомендации по адаптации локальных нормативных актов (инструкций, положений СУОТ) [11]. Для ЛПР на уровне регулятора система может предложить проекты изменений в НПА, основанные на анализе накопленных данных о возникающих рисках и эффективности существующих норм.

2. Модуль динамического мониторинга и оценки рисков. Данный модуль получает информацию от сенсорных сетей, систем видеонаблюдения, данных о состоянии оборудования и персонала (с соблюдением требований к защите персональных данных) [12]. На его основе в реальном времени рассчитываются интегральные показатели риска, разработанные по аналогии с исследованиями системы «оператор-машина-среда» (ОМС) [4, 13]. Эти показатели сочетают технические параметры (концентрация вредных веществ, уровень шума) с поведенческими факторами (соблюдение процедур, признаки усталости) и контекстуальными данными (сложность выполняемой задачи, опыт работника). Вероятностные модели оценивают возможность наступления неблагоприятного события, а правовые

подмодели определяют, при каком уровне риска могут быть нарушены те или иные нормативные требования.

3. Модуль формирования управляющих воздействий и рекомендаций. На основе оценки рисков данный модуль предлагает ЛПР спектр возможных действий. На оперативном уровне это могут быть автоматические сигналы об опасности, блокировка оборудования, активация систем аварийной вентиляции или оповещение ответственных лиц. На тактическом уровне – рекомендации по изменению технологического процесса, назначению дополнительных инструктажей, внедрению конкретных средств коллективной или индивидуальной защиты, в том числе адаптивных [14]. На стратегическом уровне – предложения по инвестициям в модернизацию, изменениям в штатном расписании или программе обучения.

4. Модуль моделирования и прогнозирования. Этот модуль использует цифровые двойники производственных участков для проигрывания сценариев. ЛПР может оценить, как повлияет на уровень риска введение нового оборудования, изменение нормативного требования или организационной структуры. Прогностические модели, основанные на исторических данных и машинном обучении, позволяют anticipate потенциально опасные ситуации, вызванные стечением факторов [15]. Особую ценность представляет использование иммерсивных технологий (VR/AR) для моделирования последствий принятых решений и обучения персонала в безопасной, но реалистичной среде [16].

Предлагаемая СППР не является заменой существующей СУОТ или корпоративных информационных систем

(далее – ИС), а служит для их расширения и повышения интеллектуальности. Ключевая задача – обеспечить двустороннюю интеграцию: получение данных из систем диспетчеризации и в свою очередь поставка в них управляющих команд и аналитических отчетов.

Конечно, требуется определить, кто несет ответственность в случае сбоя алгоритма или некорректной интерпретации данных датчиков: разработчик системы, владелец или работник, проигнорировавший сигнал [17]. СППР должна документировать всю цепочку: от исходных данных и параметров модели до сформированной рекомендации и решения, принятого человеком.

Внедрение инновационных технических решений (адаптивной защиты, роботизированных комплексов) часто опережает их отражение в правилах по охране труда. СППР, обладающая модулем нормативного анализа, может идентифицировать эти пробелы и формировать научно обоснованные предложения по изменению НПА, способствуя их своевременной актуализации.

Внедрение комплексной СППР, построенной на предложенных принципах, позволит перейти от реагирования на инциденты к пердупреждающему управлению безопасностью. Ожидаемые эффекты включают:

1. Снижение уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости за счет раннего выявления и устранения опасностей.

2. Повышение обоснованности и адресности нормативного регулирования благодаря использованию объективных данных и моделей.

3. Оптимизацию затрат на охрану труда путем концентрации ресурсов на наиболее значимых рисках.

4. Формирование культуры безопасности, основанной на понимании рисков и доверии к объективным системам поддержки.

Формирование общего подхода к созданию системы поддержки принятия решений для нормативного регулирования защиты персонала требует преодоления междисциплинарных барьеров. Концепция СППР задает необходимый широкий контекст, объединяющий интеллектуально-правовые основы, вероятностные методы и цифровые технологии. Предложенная в статье архитектура СППР реализует этот синтез, предлагая практический инструмент для ЛПР на разных уровнях.

Такой системный подход позволяет трансформировать охрану труда из области формального подхода в динамичную, наукоемкую и технологически оснащенную сферу управления рисками. Реализация данной концепции потребует совместных усилий юристов, специалистов по безопасности труда, математиков-моделистов и IT-разработчиков, но ее результат – создание интеллектуальной среды, в которой жизнь и здоровье работника защищены комплексом адаптивных правовых и технических механизмов – является стратегически важной задачей для устойчивого развития промышленности в эпоху цифровой трансформации.

Список источников

1. Марилов, Н. Г. Цифровая трансформация в области охраны труда в Российской Федерации / Н. Г. Марилов, Л. В. Козырева, В. В. Лебедев // Цифровая экономика и общество : материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 29

марта 2024 года. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2024. – С. 28-34.

2. Паршина, М. А. Риск-ориентированный подход при осуществлении государственного и общественного контроля в национальной системе управления охраной труда / М. А. Паршина // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР): Материалы Молодежной программы 25-ой Международной специализированной выставки и Форума «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2021, Москва, 07–10 декабря 2021 года. – Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2021. – С. 188-190.

3. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Официальная статистика: Травматизм на производстве. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 15.11.2025).

4. Оценка безопасности труда. – URL: https://chulym.nso.ru/sites/chulym.nso.ru/wodby_files/files/document/2021/01/documents/pamyatka_ocenka_professionalnyh_riskov.pdf (дата обращения: 15.11.2025).

5. Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., & Sun, J. A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2019. – Vol. 73. – P. 95-131.

6. ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots. – Geneva: ISO, 2016.

7. ФНП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (утв. приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101).

8. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018.

9. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – М.: Госгортехнадзор России, 2001. – 45 с.

10. Специальная оценка условий труда и оценка профессиональных рисков // Охрана труда и техника безопасности на

промышленных предприятиях. – 2021. – № 12. – С. 9-17.

11. Административное моделирование на основе онтологий / семинар ИПГМУ ГУ-ВШЭ / Д. В. Кудрявцев, Л. Ю. Григорьев, В. В. Кислова, А. Б. Жулин // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2009. – № 1. – С. 157-169.

12. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» (ред. от 14.07.2022).

13. Авдотьин, В. П. Оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : Монография / В. П. Авдотьин, М. М. Дзыбов, К. П. Самсонов ; МЧС России, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – Москва, 2012. – 467 с.

14. Кузьмин, П. А. Средства индивидуальной защиты как эффективное средство минимизации рисков и травматизма работников / П. А. Кузьмин, Д. С. Латышева // Вестник науки. – 2020. – Т. 1, № 7(28). – С. 141-148.

15. Kotti, Ja. Industrial Automation with Safety Aspects using Machine Learning Techniques / Ja. Kotti // *Safety in Extreme Environments*. – 2020. – Vol. 2, No. 2. – P. 183-188.

16. Применение технологий виртуальной реальности для обучения студентов и работников дистанции электроснабжения железных дорог / В. П. Ступицкий, В. В. Чернышев, К. Е. Кузнецов, О. В. Лобанов // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 4(18). – С. 71-77.

17. Рекомендации по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (утв. ФСТЭК России 18.02.2013).

References

1. Marilov, N. G. Digital Transformation in Occupational Safety and Health in the Russian Federation / N. G. Marilov, L. V. Kozyreva, V. V. Lebedev // *Digital Economy and Society: Proceedings of the III All-Russian Scientific and*

Practical Conference, Tver, March 29, 2024. - Tver: Tver State Technical University, 2024. - Pp. 28-34.

2. Parshina, M. A. Risk-Oriented Approach to the Implementation of State and Public Control in the National Occupational Safety and Health Management System / M. A. Parshina // Collection of Works of the Research Paper Competition (R&D Competition): Materials of the Youth Program of the 25th International Specialized Exhibition and Forum "Safety and Labor Protection" BIOT-2021, Moscow, December 7-10, 2021. – Moscow: Association of Developers, Manufacturers, and Suppliers of Personal Protective Equipment, 2021. – Pp. 188-190.

3. Federal State Statistics Service (Rosstat). Official Statistics: Occupational Injuries. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed: 15.11.2025).

4. Occupational Safety Assessment. – URL: https://chulym.nso.ru/sites/chulym.nso.ru/wodby_files/files/document/2021/01/documents/pamyatka_ocenka_professionalnyh_riskov.pdf (accessed: 15.11.2025).

5. Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., & Sun, J. A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies // Progress in Energy and Combustion Science. – 2019. – Vol. 73. – P. 95-131.

6. ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots. – Geneva: ISO, 2016.

7. Federal Normative Product "Safety Rules for the Oil and Gas Industry" (approved by Order of Rostekhnadzor dated March 12, 2013, No. 101).

8. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018.

9. RD 03-418-01. Methodological guidelines for conducting risk analysis of hazardous industrial facilities. – Moscow: Gosgortekhnadzor of Russia, 2001. – 45 p.

10. Special assessment of working conditions and assessment of professional risks // Occupational Health and Safety at Industrial Enterprises. - 2021. - No. 12. - pp. 9-17.

11. Administrative modeling based on ontologies / seminar of the IPGMU HSE / D. V. Kudryavtsev, L. Yu. Grigoriev, V. V. Kislova, A. B. Zhulin // Issues of public and municipal administration. - 2009. - No. 1. - pp. 157-169.

12. Federal Law of July 27, 2006 No. 152-FZ "On Personal Data" (as amended on July 14, 2022).

13. Avdotyin, V. P. Assessment of Damage from Natural and Man-Made Emergencies: Monograph / V. P. Avdotyin, M. M. Dzybov, K. P. Samsonov; EMERCOM of Russia, FGBU VNII GOChS (FC). - Moscow, 2012. - 467 p.

14. Kuzmin, P. A. Personal Protective Equipment as an Effective Means of Minimizing Risks and Injuries to Workers / P. A. Kuzmin, D. S. Latysheva // Bulletin of Science. - 2020. - Vol. 1, No. 7 (28). - P. 141-148.

15. Kotti, Ja. Industrial Automation with Safety Aspects using Machine Learning Techniques / Ja. Kotti // Safety in Extreme Environments. – 2020. – Vol. 2, No. 2. – P. 183-188.

16. Application of virtual reality technologies for training students and employees of the railway power supply department / V. P. Stupitsky, V. V. Chernyshev, K. E. Kuznetsov, O. V. Lobanov // Young Science of Siberia. – 2022. – No. 4(18). – P. 71-77.

17. Recommendations for ensuring the security of personal data when processing them in personal data information systems (approved by the FSTEC of Russia on 18.02.2013).

Статья поступила в редакцию 9.11.2025

Информация об авторе

Машуков Роман Александрович, кандидат юридических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прокурорско-следственная деятельность» Института гражданской защиты Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
SPIN-code: 8265-7940, Author ID: 1321787
ORCID iD: 0009-0009-7948-803X
E-mail: roman_mashukov@mail.ru)

Information about the author

Mashukov Roman Aleksandrovich, PhD in Law, Associate Professor, Head of the Department of "Prosecutorial and Investigative Activities" of the Institute of Civil Protection of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
SPIN-code: 8265-7940, Author ID: 1321787
ORCID iD: 0009-0009-7948-803X
E-mail: roman_mashukov@mail.ru

Для цитирования:

Машуков Р. А. Общий подход к разработке системы поддержки принятия решений для нормативно-правового обеспечения безопасности персонала производственных объектов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 40-48.

For citation:

Mashukov R. A. A general approach to developing a decision support system for regulatory support of personnel safety at production facilities // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4 (5). – P. 40-48.

УДК 614.8:351.863

**О СОЗДАНИИ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ
РИСКОРИЕНТИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА
ЛИЧНОГО СОСТАВА АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ
И ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**

Павленко А. Т.

**ON THE CREATION OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS
FOR RISK-ORIENTED OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH PROTECTION
FOR PERSONNEL IN EMERGENCY RESCUE AND FIREFIGHTING UNITS**

Pavlenko A. T.

***Аннотация.** В статье изложены основы для научных исследований, направленных на решение научной проблемы обеспечения безопасности труда личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений. Проанализирована высокая доля травматизма и профессиональных заболеваний среди пожарных и спасателей, обусловленная сочетанным воздействием физических, химических и психофизиологических факторов риска в условиях динамично развивающихся чрезвычайных ситуаций. Обоснована необходимость разработки интегрированной рискориентированной методики, объединяющей инструменты прогнозирования опасных ситуаций, автоматизацию защитных процессов, оценку профессиональных рисков и создание адаптивных средств защиты. Сформулирована цель и детализирован общий функционал исследования, заключающийся в разработке системы моделей, методов и технических решений для снижения профессионального риска. Описаны ключевые элементы научного аппарата: классификация типовых рабочих ситуаций, математическое моделирование развития опасных ситуаций, методика комплексной оценки рисков, алгоритмы автоматизированного мониторинга, проектирование интеллектуальных систем защиты и разработка нормативных рекомендаций. Показано, что реализация предложенной платформы позволит перейти от фрагментарного к комплексному управлению безопасностью труда, обеспечивая доказуемое снижение вероятности тяжёлых травм и гибели персонала.*

***Ключевые слова:** безопасность труда, пожарные и спасатели, профессиональный риск, рискориентированный подход, математическое моделирование, численное моделирование, автоматизированные системы мониторинга, роботизированные установки тушения, средства индивидуальной защиты, нормативное обеспечение.*

***Abstract:** The article outlines the foundations for scientific research aimed at solving the scientific problem of ensuring the occupational safety of personnel in emergency rescue and fire departments. It analyzes the high incidence of injuries and occupational diseases among firefighters and rescuers, which is caused by the combined effects of physical, chemical, and psychophysiological risk factors in the context of dynamically developing emergency situations. The article substantiates the need for the development of an integrated risk-oriented methodology that combines tools for predicting dangerous*

situations, automating protective processes, assessing occupational risks, and creating adaptive protective measures. The goal has been formulated, and the overall functionality of the study has been detailed, which involves developing a system of models, methods, and technical solutions to reduce professional risk. The key elements of the scientific apparatus are described: the classification of typical work situations, mathematical modeling of the development of dangerous situations, a methodology for comprehensive risk assessment, algorithms for automated monitoring, the design of intelligent protection systems, and the development of regulatory recommendations. It is shown that the implementation of the proposed platform will allow for a transition from fragmented to comprehensive occupational safety management, ensuring a demonstrable reduction in the likelihood of severe injuries and fatalities among personnel.

Key words: *occupational safety, firefighters and rescuers, occupational risk, risk-oriented approach, mathematical modeling, numerical modeling, automated monitoring systems, robotic firefighting systems, personal protective equipment, and regulatory support.*

Введение. Профессиональная деятельность личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений (далее – АСФ и ПП) сопряжена с работой в экстремальных условиях, характеризующихся наличием многофакторных техногенных и природных опасностей. В 2021-2025 гг. уровень травматизма и профессиональной заболеваемости среди пожарных и спасателей остается одним из наиболее высоких в технологическом секторе [1]. Специфика современных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС), включая тушение природных пожаров, ликвидацию аварий на шахтах и объектах с энергоустановками нового типа (электромобили, объекты ветроэнергетики), обуславливает комплексное и динамичное воздействие на персонал тепловых, токсических, механических и психофизиологических факторов риска [2, 3].

Существующие регламенты и системы обеспечения безопасности труда зачастую учитывают эти факторы фрагментарно, не обеспечивая интегральной оценки риска и оперативного управления защитными мерами в реальном времени [4]. Преобладающая практика основана на реактивном подходе, что недостаточно для

эффективного противодействия быстротекущим и непредсказуемым опасностям. В этой связи актуализируется задача разработки такой интеллектуальной системы, способной служить основой для прогнозирования развития обстановки и адаптивно управлять ресурсами для минимизации угроз жизни и здоровью спасателей.

В качестве возможной гипотезы может быть утверждение о том, что кардинальное повышение уровня безопасности труда личного состава АСФ и ПП может быть достигнуто за счет создания единой рискориентированной платформы, интегрирующей четыре ключевых компонента:

- 1) системы прогнозного моделирования развития ЧС;
- 2) автоматизированные комплексы мониторинга и управления;
- 3) адаптивные средства коллективной и индивидуальной защиты;
- 4) методику динамической оценки и нормирования профессиональных рисков.

Такой подход является развитием принципов риск-ориентированного управления применительно к специфике деятельности спасательных подразделений [5, 6].

Изложение основных материалов.

Проблема безопасности труда пожарных и спасателей является предметом активных исследований, как в России, так и за рубежом. Значительный вклад в изучение воздействия опасных факторов пожара на организм человека внесли работы [7, 8]. В области моделирования процессов горения и распространения опасных факторов широко применяются методы вычислительной гидродинамики [9, 10]. Разрабатываются новые образцы средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) и пожарной техники [11, 12].

Однако анализ литературных источников и официальной статистики [13, 14] позволяет выявить ряд системных проблем, связанных со следующими факторами:

1. Отсутствие интеграции моделей и систем управления (существующие прогнозные модели, системы мониторинга и исполнительные устройства (установки тушения, системы вентиляции) функционируют разрозненно). Отсутствует единая платформа, использующая результаты моделирования для оперативного принятия решений по защите персонала.

2. Средства защиты персонала не адаптированы под воздействия современных поражающих факторов. Штатные СИЗ и системы тушения часто не учитывают динамику изменения обстановки и специфику конкретного сценария ЧС, что снижает их эффективность.

3. Слабая проработка учета факторов в методиках оценки риска. Существующие подходы к оценке профессионального риска для спасателей слабо учитывают синергетический эффект от сочетанного воздействия нескольких факторов и их

динамическое изменение во время операции [15].

4. Ограниченное использование робототехнических комплексов, в том числе учет новых подходов в обеспечении безопасности персонала. Внедрение роботизированных установок тушения и беспилотных платформ мониторинга носит эпизодический характер и не охватывает всю цепочку управления безопасностью [16].

Таким образом, существует объективная потребность в разработке целостной научно-методической основы, преодолевающей указанные ограничения.

Целью статьи является повышение безопасности труда пожарных и спасателей при работе в условиях многофакторной техногенной и природной опасности за счет обоснования системы моделей, методов и технических решений, обеспечивающих снижение профессионального риска.

Сформулированная цель декомпозируется на решение следующих задач:

1. Проведение анализа исследуемой проблемы и классификация основных факторов, которые влияют на обеспечение безопасности персонала.

В рамках выполнения первой задачи необходимо проведение системной классификации типовых рабочих ситуаций (сценариев) для пожарных и спасателей, включая тушение техногенных и природных пожаров, ликвидацию аварий на объектах ТЭК, работы в завалах. Выявить и провести ранжирование доминирующих физических, химических и психофизиологических факторов риска для каждого сценария. Проанализировать существующие регламенты, СИЗ и технические средства с точки зрения их эффективности в идентифицированных

условиях. А также необходимо разработать архитектуру комплексной рискориентированной платформы обеспечения безопасности труда.

2. Разработка научно-методического обеспечения прогнозирования возможных рисков.

Здесь требуется разработать сценарно-логические модели типовых и нетиповых ЧС на основе деревьев событий и нечеткой логики, учитывающих вероятности возникновения вторичных угроз. Построить и верифицировать детализированные численные модели для прогнозирования динамики опасных зон (распространение дыма, токсичных газов, пламени, температурных полей) в реальном времени с учетом геометрии объекта и метеоусловий. Отдельно проработать вопрос обоснования и создания физико-химических моделей поведения новых видов опасностей, таких как литий-ионные аккумуляторы при тепловом разгоне или водоугольные суспензии при горении. А также важным является формирование интегральных критериев профессионального риска, учитывающих совместное и динамическое воздействие множества факторов (например, индекс токсико-термической нагрузки).

3. Разработка методического аппарата для количественной оценки показателей безопасности персонала.

Требуется разработка системы показателей и шкал для количественной оценки уровня безопасности труда при проведении аварийно-спасательных работ (АСР), создание алгоритмов оперативной (динамической) оценки профессионального риска, адаптирующихся к изменяющейся оперативной обстановке. Необходимо провести валидацию и корректировку методик на основе натуральных данных,

лабораторных экспериментов и ретроспективного анализа реальных ЧС.

4. Разработать основные блоки «интеллектуальной» составляющей системы, в том числе для автоматизированного мониторинга и управления.

Данный блок обеспечивает:

проектирование сенсорных сетей и использование беспилотных платформ (БПЛА) для мониторинга параметров среды (температура, загазованность, радиационный фон) в зоне проведения работ;

разработку интеллектуальных подсистем управления, таких как адаптивная гидравлическая вентиляция для создания безопасных зон и мобильные аварийные водозаборные комплексы;

создание алгоритмов автоматизированной сигнализации о критических отклонениях параметров, интегрированных в существующие диспетчерские комплексы МЧС России.

5. Разработку основных требований к конструктивно-технологическому функционалу для создания новых технических средств защиты, включая проектирование и экспериментальное обоснование роботизированных установок тушения разгонно-ударного и импульсного типов для работы в условиях, непригодных для человека. Также формулирование требований для разработки адаптивных СИЗ нового поколения: дыхательных аппаратов с улучшенными угольными адсорберами и систем регенерации воздуха, теплоотводящих костюмов с фазовым переходом. Проведение исследований применения возобновляемых источников энергии для автономного энергоснабжения мобильных комплексов и средств защиты в полевых условиях.

6. Обеспечение практической реализации и нормативного сопровождения, которое должно заключаться в экспериментальной и производственной апробации разработанных решений на объектах (включая шахты и территории, упомянутые в плане) для подтверждения их эффективности. Необходимо проведение социально-экономической оценки внедрения комплекса мер, включая расчет предотвращенного ущерба от снижения травматизма и профзаболеваемости. А также требуется разработка пакета нормативных и методических рекомендаций по совершенствованию системы управления охраной труда (СУОТ) в подразделениях МЧС России и актуализации отраслевых стандартов.

Решение сформулированных задач позволит получить новые результаты, которые будут служить основой для развития теории обеспечения безопасности спасателей. В частности, будет предложена целостная методология построения интегрированной рискориентированной платформы безопасности труда для АСФ и ПП, объединяющей прогнозное моделирование, системы мониторинга, адаптивные средства защиты и методику динамической оценки риска. Будут разработаны усовершенствованные математические модели прогноза развития ЧС, сочетающие сценарно-логический, численный и физико-химический подходы, адаптированные к специфике деятельности спасателей. Также будут созданы новые интегральные критерии и алгоритмы оперативной оценки профессионального риска, адекватно учитывающие сочетанное и динамическое воздействие опасных факторов. Будут научно обоснованы принципы построения и функционирования

интеллектуальных систем защиты (роботизированные установки, адаптивная вентиляция, СИЗ нового поколения).

Такой подход обеспечит широкое практическое применение предлагаемого облика платформы для разработки мероприятий по повышению защиты спасательных подразделений. В частности, создание программно-алгоритмического комплекса позволит обеспечить поддержку принятия решений по управлению безопасностью труда в ходе проведения АСР. Практически полезным также является разработка технических требований и прототипов роботизированных установок тушения, систем мониторинга и адаптивных СИЗ, прошедших экспериментальную проверку. Будут сформулированы рекомендации по выбору и применению средств защиты, а также подготовлены предложения по актуализации нормативно-правовой базы в области охраны труда и промышленной безопасности применительно к деятельности пожарно-спасательных подразделений.

Выводы. Представленная концепция комплексной рискориентированной платформы направлена на преодоление фрагментарности существующих подходов к обеспечению безопасности труда личного состава АСФ и ПП. Ее ключевым преимуществом является создание сквозного информационно-управляющего контура, в котором данные прогнозного моделирования и мониторинга в реальном времени используются для адаптивного управления силами, средствами и системами защиты. Это позволяет перейти от реагирования на возникшие угрозы к проактивному управлению профессиональными рисками.

Ожидаемыми результатами внедрения платформы являются доказуемое снижение вероятности тяжёлых травм и гибели персонала, повышение эффективности проведения аварийно-спасательных работ и формирование научного базиса для модернизации отраслевых систем охраны труда. Дальнейшие исследования могут быть связаны с интеграцией в платформу технологий искусственного интеллекта для более точного прогнозирования, а также с углубленной разработкой антропоцентрированных СИЗ, учитывающих эргономические и психофизиологические особенности спасателей.

Список источников

1. Анализ показателей травматизма в подразделениях пожарной охраны за 2021-2023 гг. URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/Статистика/2023/sbornik-2023-pogary.pdf> (дата обращения 29.11.2025 г.).
2. Karter M.J., Molis J.L. Firefighter Injuries on the Fireground // *NFPA Journal*. – 2022. – Vol. 116. – P. 54-61.
3. Smith D.L., Haller J.M., Korre M. et al. The relation of emergency duties to cardiac death among US firefighters // *American Journal of Cardiology*. – 2019. – Vol. 123. – P. 736-740.
4. Оценка профессиональных рисков личного состава МЧС России / В. В. Артюхин, М. А. Балер, О. А. Морозова, В. С. Путин // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. – 2021. – № 3. – С. 113-121.
5. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. – М.: Госгортехнадзор России, 2001. – 45 с.
6. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018.
7. Баратов А.Н., Пчелинцев А.Я. Пожарная безопасность. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – 456 с.
8. Портнягина, Е. В. Токсическое воздействие продуктов горения на нервную систему ликвидаторов пожаров / Е. В. Портнягина // *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. – 2003. – Т. 36, № 1. – С. 8-14.
9. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., & Overholt K. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide*. – NIST, 2020. – 195 p.
10. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю. А. Кошмаров, С. В. Пузач, В. В. Андреев и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 126 с.
11. ГОСТ Р 53284-2009. Техника пожарная. Огнетушители воздушно-пенные. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2019. – 25 с.
12. Лепешкин А. В. Л481 Гидравлические и пневматические системы: учебник для сред. проф. образования / А.В.Лепешкин, А.А.Михайлин; Под ред. Ю. А. Беленкова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 336 с.
13. Официальный сайт МЧС России. – URL: <https://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 15.10.2025).
14. Статистический сборник «Травматизм и профессиональная заболеваемость в Российской Федерации». – М.: Росстат, 2023.
15. Роик, В. Д. Управление профессиональными рисками: учебник для вузов / В. Д. Роик. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 657 с.
16. Конорев, Д. В. Перспективы использования роботехнических установок для тушения пожаров / Д. В. Конорев, А. В. Жердев // *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. – 2019. – № 1(10). – С. 160-162.

References

1. Analysis of Indicators of Injuries in Fire Protection Units for 2021-2023 URL:

[https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/](https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/Statistics/2023/sbornik-2023-pogary.pdf)

Statistics/2023/sbornik-2023-pogary.pdf (accessed 29.11.2025).

2. Karter M.J., Molis J.L. Firefighter Injuries on the Fireground // NFPA Journal. – 2022. – Vol. 116. – P. 54-61.

3. Smith D.L., Haller J.M., Korre M. et al. The relation of emergency duties to cardiac death among US firefighters // American Journal of Cardiology. – 2019. – Vol. 123. – P. 736-740.

4. Assessment of professional risks of the personnel of the Ministry of Emergency Situations of Russia / V. V. Artyukhin, M. A. Baler, O. A. Morozova, V. S. Putin // Fires and emergency situations: prevention, liquidation. – 2021. – № 3. – P. 113-121.

5. RD 03-418-01. Guidelines for Conducting Risk Analysis of Hazardous Production Facilities. Moscow, Gosgortekhnadzor of Russia Publ., 2001. – 45 p.

6. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018.

7. Baratov A.N., Pchelintsev A.Y. Fire safety. Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. – 456 p.

8. Portnyagina E. V. Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk) [Siberian Medical Journal (Irkutsk)]. – 2003. – T. 36, No 1. – P. 8-14.

9. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., & Overholt K. Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. – NIST, 2020. – 195 p.

10. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v indoors: ucheb. A. Koshmarov, S. V. Puzach, V. V. Andreev et al. – Moscow: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2012. – 126 p.

11. GOST R 53284-2009. Firefighting equipment. Air-foam fire extinguishers. General technical requirements. Test methods. Moscow: Standartinform, 2019. – 25 p.

12. Lepeshkin A. V. JI481 Hydraulic and pneumatic systems: a textbook for environments. prof. obrazovaniya / A.V. Lepeshkin, A.A. Mikhailin; Ed. by Y. A. Belenkov. Moscow: Akademiya Publishing Centre, 2004. 336 p.

13. Official website of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Available at: <https://www.mchs.gov.ru> (accessed: 15.10.2025).

14. Statistical collection "Traumatism and occupational morbidity in the Russian Federation". Moscow, Rosstat Publ., 2023.

15. Roik V. D. Upravlenie professional'nymi riskami: uchebnyk dlya vuzov [Professional risk management: a textbook for higher education institutions]. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2024. – 657 p.

16. Konorev D. V., Zherdev A. V. Prospects for the use of robotic installations for extinguishing fires / D. V. Konorev, A. V. Zherdev // Modern technologies for ensuring civil defense and liquidation of consequences of emergency situations. – 2019. – № 1(10). – P. 160-162.

Статья поступила в редакцию 30.11.2025

Информация об авторе

Павленко Александр Тимофеевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Института гражданской защиты, Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: pavlenko1901@yandex.ru

Information about the author

Pavlenko Aleksandr Timofeevich, Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor, associate Director of the Institute of Civil Defense, of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

E-mail: pavlenko1901@yandex.ru

Для цитирования:

Павленко А. Т. О создании научно-методических основ рискориентированного обеспечения безопасности труда личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 49-56.

For citation:

Pavlenko A. T. On the creation of scientific and methodological foundations for risk-oriented occupational safety and health protection for personnel in emergency rescue and firefighting units // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4(5). – P. 49-56.

УДК 658.382

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РИСКОРИЕНТИРОВАННОГО
ОБОСНОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ РАБОТНИКОВ
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Панайотов К. К.

**STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODEL OF RISK ORIENTED
JUSTIFICATION OF PROTECTIVE MEASURES FOR ROAD
TRANSPORT WORKERS**

Panayotov K. K.

***Аннотация.** В статье рассматривается актуальная проблема снижения профессиональных рисков работников автомобильного транспорта (водителей, персонала, диспетчеров) в условиях цифровизации и роста интенсивности перевозок. Предложен интегральный подход, основанный на разработке структурно-функциональной модели, которая синтезирует данные интеллектуальной диагностики технического состояния подвижного состава, мониторинга производственной среды и дорожной обстановки, а также оценки человеческого фактора. Модель обеспечивает обоснование и адаптацию организационно-технических мероприятий по защите персонала в реальном времени. Описаны ключевые элементы модели: блок анализа и прогнозирования рисков, блок мониторинга, блок адаптивного управления и блок защитных мероприятий. Приведены математические зависимости для оценки интегрального уровня риска.*

***Ключевые слова:** безопасность труда, автомобильный транспорт, профессиональные риски, интеллектуальная диагностика, структурно-функциональная модель, риск ориентированный подход, человеческий фактор.*

***Abstract.** The article discusses the current problem of reducing the professional risks of road transport workers (drivers, personnel, and dispatchers) in the context of digitalization and increased transportation intensity. An integrated approach is proposed based on the development of a structural and functional model that synthesizes data from intelligent diagnostics of the technical condition of rolling stock, monitoring of the production environment and road conditions, as well as assessment of the human factor. The model provides a basis for justifying and adapting organizational and technical measures to protect personnel in real time. The key elements of the model are described: the risk analysis and forecasting block, the monitoring block, the adaptive control block, and the protective measures block. Mathematical dependencies are provided for assessing the integral risk level.*

***Keywords:** occupational safety, road transport, professional risks, intelligent diagnostics, structural and functional model, risk-oriented approach, and human factor.*

Введение. Современный автомобильный транспорт характеризуется увеличением интенсивности и сложности перевозок, внедрением цифровых технологий и ужесточением требований к эффективности. Это сопровождается устойчивым набором профессиональных рисков для работников отрасли: от механического травматизма при техническом обслуживании и ремонте (ТОиР) до дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП), воздействия вредных факторов и повышенных психофизиологических нагрузок [1, 2]. Традиционные, реактивные подходы к охране труда, основанные на статических регламентах и периодическом контроле, не способны адекватно реагировать на динамично меняющуюся операционную обстановку.

Актуальной задачей является переход к предупреждающей (проактивной), риск ориентированной системе управления охраной труда (далее – СУОТ), которая в реальном времени интегрирует данные о техническом состоянии транспортных средств, параметрах производственной среды, поведении человека и дорожной ситуации [3, 4]. Для построения такой системы необходим методологический аппарат, позволяющий структурно и функционально связать разнородные потоки информации с конкретными защитными мероприятиями. Целью данной статьи является описание основных элементов, составляющих структурно-функциональную модель, предназначенную для динамического обоснования мероприятий по защите работников автомобильного транспорта на всех стадиях производственного цикла: эксплуатация, ТОиР, управление перевозками.

Теоретической основой исследования служат теория надежности технических

систем, методология управления профессиональными рисками, принципы построения интеллектуальных транспортных систем и эргономики [5, 6]. Научная проблема заключается в отсутствии целостной методики, которая в режиме, близком к реальному времени, объединяла бы:

1. Диагностику и прогнозирование отказов техники.
2. Результаты мониторинга опасных и вредных факторов производственной среды и дорожной обстановки.
3. Адаптивное управление режимами работы, логистикой и защитными мерами с учетом «человеческого фактора».

Для решения этой проблемы предлагается модель, представленная на рис. 1. Состоит из следующих основных элементов:

1. Блок анализа и прогнозирования рисков (вход: классификатор рисков, статистика. Выход: интегральный уровень риска R_{int}).
2. Блок интеллектуально-телематического мониторинга (подблоки: Диагностика ТС, Мониторинг среды, Оценка персонала).
3. Блок адаптивного управления (принимает R_{int} , реализует сценарии управления).
4. Блок защитных мероприятий (организационные, технические, индивидуальные/коллективные СИЗ).

Блок анализа и прогнозирования рисков формирует системное представление об угрозах. На первом этапе проводится классификация рабочих ситуаций и факторов риска (механические, химические, психофизиологические и др.) для различных профессий (водитель, слесарь ТОиР, диспетчер) [7].

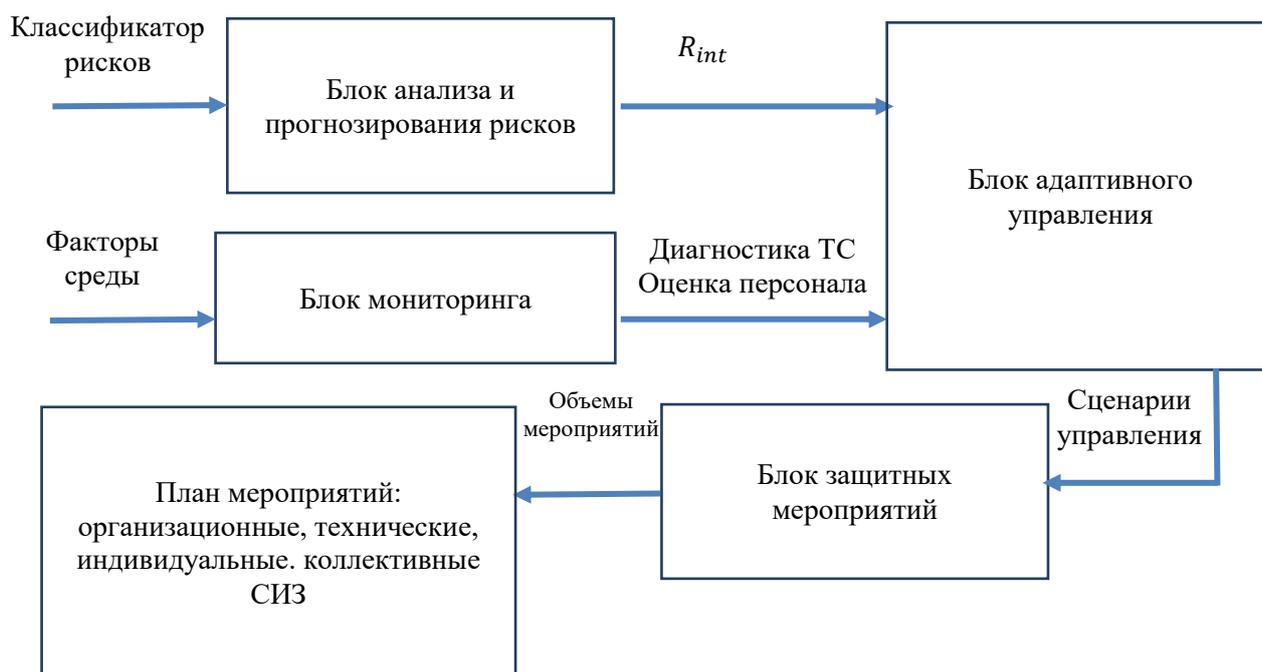


Рис. 1. Основные элементы, составляющие структурно-функциональную модель риск ориентированного обоснования защитных мероприятий

Ключевым элементом является разработка вероятностных моделей связи технического состояния с уровнем риска. Используются логико-вероятностные модели (деревья отказов) [8]. Вероятность возникновения опасного события P_{OE} может быть оценена на основе диагностических параметров $d_i(1)$:

$$P_{OE} = F(\lambda_1(d_1), \lambda_2(d_2), \dots, \lambda_n(d_n), H), \quad (1)$$

где $\lambda_i(d_i)$ – функция, связывающая i -й диагностический параметр с интенсивностью отказов соответствующего узла, $i = \overline{1, n}$, n – количество узлов. H – поправочный коэффициент, учитывающий человеческий фактор (усталость, компетентность) [9].

На основе сценарного анализа (метод деревьев событий) и мониторинговых данных рассчитывается интегральный показатель уровня риска R_{int} для конкретной рабочей ситуации или временного интервала (2):

$$R_{int} = \sum_{j=1}^m (P_j \cdot S_j \cdot K_{aj}), \quad (2)$$

где P_j – вероятность j -го опасного события; S_j – тяжесть его потенциальных последствий; K_{aj} – коэффициент, учитывающий эффективность доступных d средств защиты в данный момент; $j = \overline{1, m}$, m – число событий.

Блок интеллектуально-телематического мониторинга является информационной «сенсорной» основой модели. Блок интегрирует данные из трех основных подсистем:

1. Подсистема диагностики ТС: сбор данных с бортовых диагностических систем (OBD, датчики износа, виброакустические сенсоры), прогнозирование остаточного ресурса.

2. Подсистема мониторинга среды и телематики: контроль параметров микроклимата, загазованности в зонах ТОиР [10]; отслеживание местоположения,

стиля вождения, дорожных условий (пробки, погода) на основе ГЛОНАСС/GPS и телематических платформ [11].

3. Подсистема оценки состояния персонала: учет данных о рабочем времени, отдыхе (тахографы), результаты периодического тестирования на утомление (для диспетчеров), оценка компетенций [12].

Данные агрегируются и обрабатываются с помощью алгоритмов машинного обучения для выявления предаварийных паттернов и генерации предупреждающих сигналов.

Получив от блока анализа значение R_{int} и конкретные данные от блока мониторинга, данный блок реализует превентивные управленческие решения. Управление является адаптивным, т.е. изменяемым в зависимости от уровня риска. Например, при росте R_{int} из-за ухудшения прогнозируемой надежности тормозной системы: автоматический пересчет графика ТО, направление уведомления водителю и диспетчеру об ограничении скорости/маршрута. При обнаружении превышения ПДК вредных веществ в ремонтной зоне: автоматическая активация усиленной вентиляции, оповещение персонала о необходимости применения СИЗОД более высокого класса. При анализе данных телематики, указывающих на утомление водителя: рекомендация системе планирования о необходимости внеочередного отдыха [13].

Блок защитных мероприятий содержит перечень возможных организационно-технических решений, которые активируются или модифицируются командами из блока адаптивного управления. Мероприятия структурированы по видам:

1. Организационные: адаптивные регламенты безопасного проведения ТОиР

(блокировки, допуски), оптимизация маршрутов и графиков движения с учетом рисков, динамическое планирование труда и отдыха.

2. Технические: дистанционное отключение систем автомобиля при ТО, автоматизация опасных операций, улучшение эргономики рабочих мест на основе данных мониторинга [14].

3. Средства индивидуальной и коллективной защиты (СИЗ и СКЗ): интеллектуальный подбор СИЗ в зависимости от идентифицированных рисков (напр., автоматический заказ фильтров определенного типа при работе с конкретным видом топлива), использование систем экстренного оповещения и эвакуации.

Модель реализует непрерывный цикл «Мониторинг → Анализ → Решение → Воздействие → Оценка». Блок мониторинга предоставляет сырые данные. Блок анализа преобразует их в количественные оценки риска R_{int} . Блок управления на основе заложенных правил и алгоритмов выбирает оптимальный набор воздействий из блока защитных мероприятий. После реализации мероприятий данные мониторинга вновь анализируются для оценки эффективности принятых мер, что замыкает петлю обратной связи и позволяет совершенствовать модель (машинное обучение) [15].

Таким образом, модель является динамической и самообучающейся, что принципиально отличает ее от статических схем обеспечения безопасности.

Предложенная модель служит теоретическим фундаментом для создания конкретных программно-аппаратных комплексов. Ее внедрение позволяет перейти от профилактики «по графику» к профилактике «по состоянию» (как техническому, так и

психофизиологическому) и персонализировать меры защиты для конкретного работника, транспортного средства и ситуации, а также, что важно, обосновывать инвестиции в средства защиты на основе прогнозируемого снижения рисков и связанных с ними экономических потерь.

Внедрение предполагает пилотные проекты на автотранспортных предприятиях с поэтапной интеграцией разработанных алгоритмов в существующие СУОТ, системы телематики и логистическое планирование [16]. Результаты апробации будут использованы для формирования новых отраслевых норм и правил.

Разработанная структурно-функциональная модель представляет собой целостный рискориентированный подход к обеспечению безопасности труда на автомобильном транспорте. Ее ключевое преимущество – интеграция разрозненных источников данных (диагностика, телематика, данные о персонале) в единый контур адаптивного управления. Модель обеспечивает научно обоснованный, динамический выбор защитных мероприятий, что ведет к устойчивому снижению профессиональных рисков, сокращению травматизма и повышению общей надежности транспортного процесса. Дальнейшие исследования будут направлены на детализацию алгоритмов, в частности методов машинного обучения для прогнозирования рисков, и на проведение полномасштабной производственной апробации.

Список источников

1. Капцов В. А. Оценка профессионального риска у работников транспорта / В. А. Капцов, В. Б. Панкова, М. Ф. Вильк // Гигиена и санитария. – 2011. – № 1. – С. 54-57.

2. ГОСТ Р 54934-2012/OHSAS 18001:2007. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования.

3. Николаева Р. В. Формирование и развития интеллектуальных транспортных систем / Р. В. Николаева, З. С. Газизова, А. Д. Загидулина // Техника и технология транспорта. – 2016. – № 1(1). – С. 8-14.

4. Hollnagel E. Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management / E. Hollnagel. – CRC Press, 2014.

5. РД 153-34.0-03.352-99. Методические указания по оценке уровня профессионального риска на производстве.

6. Лянденбургский В.В. Основы теории надежности: учеб. пособие / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.С. Ширшиков. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 228 с.

7. МУ 2.2.5.2810-10. Оценка условий труда и профессионального риска работников автомобильного транспорта.

8. Andrews J.D. Analysis methods for fault trees that contain secondary failures / J.D. Andrews S.J. Dunnett // Reliability Engineering & System Safety. – 2000. – Vol. 68. – P. 17-30.

9. Reason J. Human error / J. Reason. – Cambridge University Press, 1990.

10. СанПиН 2.2.3.1384-03. Гигиенические требования к организации строительного производства и строительных работ.

11. Телематика на транспорте / Ш. К. Хакимов, Р. Г. Саматов, С. С. Ражапова, Д. А. Абдуразакова // Экономика и социум. – 2022. – № 10-1(101). – С. 671-677.

12. ISO 39001:2012. Road traffic safety (RTS) management systems – Requirements with guidance for use.

13. Использование данных навигационных систем для оптимизации режимов труда и отдыха водителей в системах управления перевозками. – URL:<https://irkutskoil.ru/upload/iblock/737/737f3e9f8c4958c9ad45034c12ed243.pdf> (дата обращения 29.11.2025).

14. Горячкин Б. С. Повышение эргономичности транспортных средств путем внедрения проекционных дисплеев /

Б.С. Горячкин, К. В. Гаранов, А. В. Бгатцев // E-Scio. – 2020. – № 6(45). – С. 104-118.

15. Лбов Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных / Г.С. Лбов. – Новосибирск: Наука, 1981.

16. ГОСТ Р ИСО 45001-2020. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению.

References

1. Kaptzov V. A. Assessment of professional risk among transport workers / V. A. Kaptzov, V. B. Pankova, M. F. Vilk // Hygiene and Sanitation. – 2011. – No. 1. – P. 54-57.

2. GOST R 54934-2012/OHSAS 18001:2007. Occupational health and safety management systems. Requirements.

3. Nikolaeva R. V. Formation and development of intelligent transport systems / R. V. Nikolaeva, Z. S. Gazizova, A. D. Zagidulina // Transport Technology and Engineering. – 2016. – No. 1(1). – P. 8-14.

4. Hollnagel E. Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management / E. Hollnagel. – CRC Press, 2014.

5. RD 153-34.0-03.352-99. Methodological guidelines for assessing the level of professional risk in production.

6. Lyandenburkskiy V. V. Fundamentals of Reliability Theory: Textbook / V. V. Lyandenburkskiy, A. S. Ivanov, A. S. Shirishikov. – Penza: PGSUAS, 2014. – 228 p.

7. MU 2.2.5.2810-10. Assessment of working conditions and professional risk of automobile transport workers.

8. Andrews J. D. Analysis methods for fault trees that contain secondary failures / J. D. Andrews, S. J. Dunnett // Reliability Engineering & System Safety. – 2000. – Vol. 68. – P. 17-30.

9. Reason J. Human error / J. Reason. – Cambridge University Press, 1990.

10. SanPiN 2.2.3.1384-03. Hygienic requirements for the organization of construction production and construction works.

11. Telemetry in Transport / Sh. K. Hakimov, R. G. Samatov, S. S. Rzhapova, D. A. Abdurazakova // Economy and Society. – 2022. – No. 10-1(101). – P. 671-677.

12. ISO 39001:2012. Road traffic safety (RTS) management systems – Requirements with guidance for use.

13. Use of navigation system data to optimize drivers' work and rest regimes in transportation management systems. – URL: <https://irkutskoil.ru/upload/iblock/737/737f3ee9f8c4958c9ad45034c12ed243.pdf> (accessed 29.11.2025).

14. Goryachkin B. S. Improving the ergonomics of transport vehicles through the implementation of projection displays / B. S. Goryachkin, K. V. Garanov, A. V. Bgatsev // E-Scio. – 2020. – No. 6(45). – P. 104-118.

15. Lebov G. S. Methods for processing various experimental data / G. S. Lebov. – Novosibirsk: Nauka, 1981.

16. GOST R ISO 45001-2020. Occupational health and safety management systems. Requirement and guidance for use.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025

Информация об авторе

Панайотов Константин Константинович, к.т.н, доцент, Краснодарский факультет инженерии и менеджмента (филиал) Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

SPIN-код: 8856-0813, AuthorID: 1148884

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Information about the author

Panayotov Konstantin Konstantinovich, PhD, Associate Professor, Krasnodon Faculty of Engineering and Management (branch) of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

SPIN: 8856-0813, AuthorID: 1148884

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Для цитирования:

Панайотов К. К. Структурно-функциональная модель рискориентированного обоснования защитных мероприятий для работников автомобильного транспорта // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 57-63.

For citation:

Panayotov K. K. Structural and functional model of risk oriented justification of protective measures for road transport workers // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2025. – № 4(5). – P. 57-63.

**ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»
№ 4 (5) 2025**

Серия Технические науки

Лит.редактор

Минина Я.В.

Рудник Ю.В.

Паталахина Е.А.

Технический редактор

Коломиец-Кириллова Е.А.

Подписано в печати 29.12.2025.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Условных печатных стр. 11,28. Тираж 100 экз. Изд. № 01549.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Луганского государственного университета
имени Владимира Даля

Адрес издательства: 291034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.

Тел.: 7(959) 138-34-80

E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com

https://izdat.daluniver.ru/