

На правах рукописи



**Приоров Георгий Германович**

**Разработка автоматизированных CALS-систем  
научных исследований противогололедных  
реагентов и пропиточных композиций  
для автотранспортной инфраструктуры**

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Бессарабов Аркадий Маркович

Москва – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	2
ВВЕДЕНИЕ .....	7
Глава 1 Системный анализ по направлению «Автоматизация научных исследований материалов дорожной химии» .....	16
1.1 Системные исследования качества автодорожной инфраструктуры в России и за рубежом .....	17
1.1.1. Роль качества автомобильных дорог в национальных целях развития России .....	17
1.1.2. Анализ качества автотранспортной инфраструктуры на основе индекса глобальной конкурентоспособности .....	19
1.2 Разработка функциональной модели IDEF0 для анализа качества автотранспортной инфраструктуры .....	22
1.2.1 Методология функционального моделирования IDEF0 .....	23
1.2.2 Методика IDEF0-диаграмм для системного анализа качества транспортной инфраструктуры.....	25
1.2.3 Декомпозиция блока диаграммы «автомобильный транспорт» и анализ факторов, влияющих на качество автодорожной инфраструктуры.....	27
1.3 Литературный анализ системных исследований по качеству автотранспортной инфраструктуры .....	30
1.3.1 Литературный анализ факторов, влияющих на качество автотранспортной инфраструктуры .....	30
1.3.2 Анализ международного опыта содержания автодорог .....	33
Выводы по главе 1 .....	36
Глава 2 Модернизация автоматизированных CALS-систем компьютерного менеджмента качества и экологического мониторинга противогололедных реагентов .....	39
2.1 Анализ разработки CALS-систем ПГР с помощью PDM STEP Suite.....	39
2.1.1 Описание функционала PDM STEP Suite .....	40
2.1.2. Преимущества перехода на современную версию PDM STEP Suite 5.743	

2.1.3 PDM STEP Suite в функциональной структуре интегрированной автоматизированной системы управления качеством ПГР .....	47
2.2 Модернизация автоматизированной КМК-системы ПГР на основе современной версии PDM STEP Suite 5.7 .....	50
2.2.1 Литературный анализ структуры КМК-системы ПГР на основе PDM Step Suite 1.7 .....	50
2.2.2 Обновленный функционал КМК-системы ПГР в версии PDM STEP Suite 5 (создание словарей и группировка характеристик) .....	53
2.2.3 Внедрение системы управления процессами для совершенствования аналитического мониторинга химических ПГР .....	56
2.2.3.1 Литературный анализ КМК-системы форматных ПГР в версии 1.7 .....	57
2.2.3.2 Модернизация КМК-системы форматных ПГР в версии 5.7 .....	60
2.2.4 Модернизация КМК-системы ПГР с использованием функционала управления бизнес-процессами .....	61
2.2.4.1 Применение функционала управления бизнес-процессами для разработки типовых форм выходной документации .....	62
2.2.4.2 Применение функционала управления процессами для анализа характеристики «Плавающая способность» в КМК-системе ПГР .....	66
2.2.4.2.1 Литературный анализ характеристики «Плавающая способность» в КМК-системе ПГР .....	67
2.2.4.2.2 Модернизация КМК-системы ПГР для анализа характеристики «Плавающая способность» .....	69
2.3 Модернизация автоматизированной КМК-системы экологического мониторинга противогололедных реагентов .....	71
2.3.1 Актуализация нормативной документации при модернизации CALS-системы экологического мониторинга ПГР .....	72
2.3.2 Модернизация CALS-системы экологического мониторинга при переходе на PDM STEP Suite 5.7 .....	75
2.3.3 Разработка элемента CALS-системы по экологическому мониторингу	

содержания радионуклидов в ПГР и в объектах окружающей среды.....	78
2.3.3.1 Основные методы аналитического мониторинга радионуклидов ...	79
2.3.3.2 Разработка CALS-системы мониторинга содержания радионуклидов в объектах окружающей среды.....	82
Выводы по главе 2.....	85
Глава 3 Разработка автоматизированной CALS-системы для геоэкологического мониторинга противогололедных реагентов.....	89
3.1 Геоэкологический мониторинг влияния ПГР на окружающую среду (ЮЗАО, г. Москва).....	89
3.2 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Массовая доля примесей».....	92
3.3 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Водородный показатель».....	94
3.4 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Массовая доля нерастворимых в воде веществ».....	97
3.5 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Показатель агрессивности воздействия» .....	100
Выводы по главе 3.....	102
Глава 4 Разработка автоматизированной CALS-системы компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток .....	105
4.1 Разработка информационной структуры КМК-системы гидрофобизирующих пропиток (ГФП).....	106
4.2 Разработка CALS-проекта КМК-системы ГФП.....	109
4.3 Элемент КМК-системы ГФП «Капиллярное водонасыщение» .....	112
4.4 Элемент КМК-системы ГФП «Краевой угол смачивания».....	115
4.5 Элемент КМК-системы ГФП «Прочность на отрыв» .....	117
Выводы по главе 4.....	120
Глава 5 Модернизация автоматизированной CALS-системы компьютерного менеджмента качества дорожных пропиток .....	123
5.1 Литературный анализ КМК-системы дорожных пропиток, разработанной на	

основе PDM Step Suite 1.7 .....	123
5.1.1 Литературный анализ архитектуры разработанной КМК системы дорожных пропиток .....	124
5.1.2 Анализ CALS-проекта КМК-системы дорожных пропиток, разработанной на основе PDM Step Suite 1.7 .....	126
5.2. Обновленный функционал КМК-системы дорожных пропиток в версии PDM STEP Suite 5.7 .....	128
Выводы по главе 5 .....	133
Глава 6 Разработка автоматизированного CALS-проекта модульной опытно- промышленной установки производства дорожных пропиток.....	135
6.1 Разработка CALS-проекта технологического регламента опытно- промышленной установки.....	135
6.1.1 Анализ опытно-промышленной установки производства дорожных пропиток.....	136
6.1.2 Разработка структуры CALS-проекта технологического регламента опытно-промышленной установки.....	139
6.1.3 Разработка CALS-проектов аппаратурно-технологических модулей опытно-промышленной установки.....	140
6.2 Разработка объектных и понятийных справочников для CALS-проекта опытно-промышленной установки.....	145
6.2.1 Разработка объектного справочника по реакторному оборудованию .	146
6.2.2 Разработка понятийного справочника по ремонту технологического оборудования .....	147
Выводы по главе 6.....	150
Глава 7 Разработка CALS-проекта автоматизированной системы контроля и управления опытно-промышленной установкой производства дорожных пропиток .....	152
7.1 Анализ структуры автоматизированной системы контроля и управления опытно-промышленной установкой.....	152
7.2 Элемент CALS-проекта системы автоматизации «Центральный пульт	

управления» .....	155
7.3 CALS-проект локальной системы автоматизации узла приготовления вяжущего компонента.....	158
Выводы по главе 7.....	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ДИПЛОМ 3-Й СТЕПЕНИ В НОМИНАЦИИ «АСПИРАНТЫ» 13-ГО МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «МКХТ- 2017» .....	187
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДИПЛОМ 1-Й СТЕПЕНИ В НОМИНАЦИИ «АСПИРАНТЫ И СОТРУДНИКИ» 14-ГО МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «МКХТ-2018».....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ДИПЛОМ РОССИЙСКОГО СОЮЗА ХИМИКОВ.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ «СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ».....	190

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность проблемы.

Одним из наиболее гибких и массовых видов транспорта России является автомобильный. Основные проблемы, мешающие его развитию, связаны с недостаточно высоким качеством автодорог и улично-дорожной инфраструктуры, что сказывается на безопасности дорожного движения, скорости перевозок и негативном воздействии на окружающую среду. Для решения этих проблем применяются следующие материалы дорожной химии: противогололедные реагенты (ПГР), дорожные (ДП) и гидрофобизирующие пропитки (ГФП). В этом направлении целесообразна разработка автоматизированных систем научных исследований, позволяющих более эффективно проводить работы в области создания и применения материалов дорожной химии. В качестве наиболее перспективной системы компьютерной поддержки выбрана CALS-технология (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта).

Основные разделы диссертации выполнялись при поддержке Государственного контракта и Соглашения с Минобрнауки России, а также Гранта РФФИ № 18-29-24185мк «Научные основы разработки и управления эксплуатацией информационной интеллектуальной системы мониторинга и прогнозирования оценки воздействия на окружающую среду отходов круглогодичного содержания автодорог» (2018-2022).

Степень разработанности темы исследования связана с продолжением и развитием работ, отраженных в кандидатской диссертации первого заместителя директора ФГУП «ИРЕА» Глушко Андрея Николаевича. По 4-м направлениям этой работы необходимо было: расширить системные исследования материалов дорожной химии и модернизировать 3 разработанные ранее автоматизированные системы компьютерного менеджмента качества (аналитический и экологический мониторинг ПГР, аналитический мониторинг ДП). Кроме этого, развивались

новые направления: автоматизация геоэкологического мониторинга ПГР; автоматизация разработки производства ДП и его системы управления; автоматизация научных исследований нового класса материалов дорожной химии – гидрофобизирующих пропиток (ГФП).

Основные теоретические и практические исследования продуктов дорожной химии отражены в трудах следующих зарубежных и отечественных ученых: Abtahi S., Gruber M., Zakerzadeh M., Hoffmann M., Hofko V., Борисюк Н.В., Воронина Л.П., Глушко А.Н., Зонов Ю.Б., Кондаков Д.Ф., Мазепова В.И., Мандровский К.П., Николаева Л.Ф., Орлов Ю.Н., Печорский М.А., Подольский В.Л., Поздняева Л.В., Розов Ю.Н., Романова И.В., Самодурова Т.В., Фролова Е.А., Швагирева О.А. и др.

Вопросами автоматизации научных исследований занимались такие ученые, как: Благовещенский И.Г., Вент Д.П., Кафаров В.В., Егоров А.Ф., Лабутин А.Н., Лагуткин М.Г., Мешалкин В.П., Рыжкова Е.А., Савицкая Т.В., Софиев А.Э., Тарасова Н.П. и др.

Разработка и внедрение информационных CALS-технологий в России проводятся в основном на предприятиях оборонной промышленности, что отражено в публикациях следующих специалистов: Дмитров В.И., Кабанов А.Г., Овсянников М.В., Судов Е.В., Шильников П.С. и др. В химической промышленности работы по CALS-технологиям связаны в основном с именами сотрудников НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА и АО Научный центр «Малотоннажная химия»: Афанасьев А.Н., Бессарабов А.М., Глушко А.Н., Демьянюк А.Ю., Жданович О.А., Заколотина Т.В., Казаков А.А., Квасюк А.В., Кочетыгов А.Л., Пономаренко А.Н., Степанова Т.И., Трынкина Л.В.

**Цель работы** состоит в разработке с использованием информационных CALS-технологий автоматизированных систем научных исследований химических материалов для автодорожной инфраструктуры (ПГР, ГФП, ДП).

Основными **задачами**, решаемыми в работе, являются системные исследования и разработка на основе CALS-технологий 7 взаимосвязанных

автоматизированных программных комплексов компьютерного менеджмента качества (КМК) и разработки инновационных материалов дорожной химии: системный анализ ключевых факторов, влияющих на качество автодорожной инфраструктуры; модернизация автоматизированных КМК-систем и экологического мониторинга противогололедных реагентов; разработка автоматизированной системы геоэкологического мониторинга с привязкой пробоотбора к конкретным геообъектам (ЮЗАО, г. Москва); разработка автоматизированной КМК-системы качества гидрофобизирующих пропиток; модернизация автоматизированной КМК-системы дорожных пропиток (ДП); автоматизированная разработка модульного производства ДП; разработка CALS-проекта автоматизированной системы контроля и управления производством ДП.

#### **Объект исследования.**

Материалы дорожной химии: химические противогололедные реагенты, дорожные пропитки, гидрофобизирующие пропитки.

#### **Предмет исследования.**

Автоматизированные системы научных исследований материалов дорожной химии (ПГР, ГФП, ДП).

#### **Научная новизна.**

1. В структуре целей и задач развития России выделен уровень транспортной инфраструктуры, в которую входит и автодорожная. Определены ключевые факторы, влияющие на качество автодорожной инфраструктуры. С помощью диаграммы IDEF0 показаны закономерности их взаимодействия на различных уровнях иерархии. Показаны место и роль материалов дорожной химии в иерархической системе. Обоснована актуальность аналитического мониторинга этих материалов с помощью автоматизированных КМК-систем.

2. В модернизированной КМК-системе противогололедных реагентов (ПГР) были реализованы функционалы группировки характеристик и управления

процессами аналитического мониторинга. С помощью этих функционалов была усовершенствована архитектура (информационная модель) подсистемы по форматным ПГР, а также элемент системы для определения показателя качества «Плавающая способность».

3. При модернизации CALS-системы экологического мониторинга ПГР в архитектуру системы введены новые базовые показатели, указанные в действующем СанПиН-2021. Для показателя радиационной активности разработана архитектура подсистемы экологического мониторинга содержания радионуклидов в объектах окружающей среды с соответствующими методами анализа и приборами. Разработана архитектура автоматизированной CALS-системы геоэкологического мониторинга ПГР.

4. Разработана архитектура КМК-системы гидрофобизирующих пропиток. В архитектуру заложено два типа покрытия: тротуарная гранитная плитка и дорожная бетонная плита. Для каждого типа в архитектуру введены 6 показателей качества с основными методами анализа и специализированным аналитическим оборудованием.

5. Проведена модернизация архитектуры, разработанной ранее КМК-системы дорожных пропиток (защитных и восстанавливающих) в современной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7. Показано, что ключевым отличием модернизированной КМК-системы является использование обновленного функционала для группировки показателей качества, что позволяет организовать информацию в логические категории, которые легко сравнивать и анализировать.

6. Разработана архитектура CALS-системы автоматизированного проектирования модульного производства дорожных пропиток, в которую заложены все этапы разработки технологического регламента, в том числе «контроля и управления».

### **Теоретическая значимость.**

1. Применение CALS-технологий при разработке систем научных

исследований в области дорожной химии открывает новые возможности для интеграции и оптимизации информационных потоков на всех этапах жизненного цикла продукции.

2. Разработанные автоматизированные КМК-системы для аналитического мониторинга противогололедных реагентов и дорожных пропиток вносят вклад в развитие методологии компьютерного менеджмента качества в химической промышленности. Предложенные решения могут быть адаптированы для создания аналогичных систем в смежных отраслях, а также расширить теоретическую базу для автоматизации управления качеством продукции.

3. Методологические и теоретические положения, сформулированные в ходе исследования, позволяют систематизировать подходы к оценке экологической безопасности противогололедных реагентов. Разработанная методология комплексного анализа воздействия противогололедных реагентов на объекты окружающей среды создает теоретическую основу для совершенствования природоохранных мероприятий в сфере содержания дорожной инфраструктуры

4. Результаты работы способствуют развитию теоретических основ разработки автоматизированных систем научных исследований для материалов дорожной химии. Предложенные подходы могут быть использованы при разработке учебных курсов по автоматизации химико-технологических процессов и информационному обеспечению систем менеджмента качества.

### **Практическая значимость.**

Результатом проведенного исследования является создание пяти автоматизированных программных комплексов компьютерного менеджмента качества для материалов дорожной химии. Данные комплексы, разработанные на основе CALS-технологий, обеспечивают реализацию следующих функций: аналитический мониторинг противогололедных реагентов, гидрофобизирующих пропиток и дорожных пропиток; оценка экологического воздействия противогололедных реагентов на окружающую среду (включая геоэкологические

аспекты). КМК-системы внедрены в Центре коллективного пользования НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА. Создан CALS-проект для автоматизированной разработки модульной опытно-промышленной установки производства дорожных пропиток, включающий систему контроля и управления. Практическая значимость проведенных исследований подтверждена патентом.

Разработанные программные модули CALS-систем научных исследований вошли в Государственный контракт Минобрнауки России ГК 16.552.11.7010 «Развитие центром коллективного пользования научным оборудованием комплексных исследований в области разработки новых методов контроля качества...», Соглашение с Минобрнауки России № 14.579.21.0025 «Создание технологии производства пропиточных композиций, защищающих дорожные асфальтобетонные покрытия от негативных воздействий природного и техногенного характера для снижения ресурсоёмкости их эксплуатации» и в Грант РФФИ № 18-29-24185мк по созданию интеллектуальной системы оценки воздействия на окружающую среду отходов содержания автодорог.

### **Методология и методы диссертационного исследования.**

В процессе исследования применялись методы системного и структурного анализа, а также принципы компьютерного менеджмента качества. При разработке автоматизированных программных средств использовался проблемно-ориентированный подход и CALS-технологии. Необходимые для этого программные инструменты, в частности PDM STEP Suite Enterprise Edition (PSS-EE), использовались на основе действующей лицензией (APL-3451631-01). Для заполнения информационных баз данных используются самые современные аналитические методы и приборы в предметной области «материалы дорожной химии».

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Системные исследования ключевых факторов, влияющих на качество автодорожной инфраструктуры.

2. Модернизация автоматизированных систем компьютерного менеджмента качества и экологического мониторинга противогололедных реагентов.

3. Разработка автоматизированной системы геоэкологического мониторинга с привязкой пробоотбора к конкретным геообъектам (ЮЗАО, г. Москва).

4. Разработка автоматизированной системы компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток.

5. Модернизация автоматизированной системы компьютерного менеджмента качества дорожных пропиток.

6. Автоматизированная разработка модульного производства дорожных пропиточных композиций.

7. Разработка CALS-проекта автоматизированной системы контроля и управления производством дорожных пропиток.

### **Степень достоверности и апробация результатов.**

Надежность научных и практических результатов диссертации, а также выводов и рекомендаций подтверждаются использованием высокоточных исходных данных, современной системой компьютерной поддержки (CALS-технология) и практической реализацией результатов работы.

Основные положения диссертационной работы были представлены и опубликованы в тезисах на 21, 22, 23, 24 th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, PRES (Prague, Czech Republic, 2018; Crete, Greece, 2019; Brno, Czech Republic, 2021; Сплит, Хорватия, 2022); 23rd International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA (Prague, Czech Republic, 2018); XXI, XXII Mendeleev congress on general and applied chemistry (Saint Peterburg, Russia, 2019; Federal Territory “Sirius”, Russia, 2024); 1st Asia Pacific Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 1st SDEWES AP (Gold Coast, Australia, 2020); 13, 14, 16-th United Congress of Chemical Technology of Youth (Москва, 2017, 2018,

2020); 19, 20, 21, 22, 23, 24 Всероссийский симпозиум «Стратегическое планирование и развитие предприятий» (Москва, 2018-2023); XXX-XXXVI Международная научная конференция «Математические Методы в Технике и Технологиях – ММТТ» (Минск, Беларусь, 2017-2023); VIII Международная конференция РХО имени Д.И. Менделеева «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности» (Москва, 2017); 16, 17 конференция «Высокочистые вещества и материалы. Получение, анализ, применение» (Н.Новгород, 2018, 2022); XIII Международная научно-техническая конференция «Энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование», (Иваново, 2018); I, II научно-техническая конференция «Материалы с заданными свойствами на переходе к новому технологическому укладу: химические технологии» (Москва, 2018, 2020); Международная научная конференция «Горизонты и перспективы нефтехимии и органического синтеза» (Уфа, 2018); Международная научно-практическая конференция «Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве» (Обнинск, 2020); Российско-Китайская конференция «Россия - Китай: Стратегическое партнерство» (Цзаочжуан, Китай, 2022).

#### **Личный вклад автора.**

Автором, совместно с научным руководителем поставлены цели и задачи, выбраны объекты и методы исследований. Автором совместно с к.т.н. Глушко А.Н. (50%): проведен системный анализ ключевых факторов, влияющих на качество автодорожной инфраструктуры; модернизированы автоматизированные системы компьютерного менеджмента качества и экологического мониторинга противогололедных реагентов; разработана автоматизированная система геоэкологического мониторинга с привязкой пробоотбора к конкретным геообъектам (ЮЗАО, г. Москва); разработана автоматизированная система компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток; модернизирована автоматизированная система компьютерного менеджмента качества дорожных пропиток; разработана система

для автоматизации модульной установки производства дорожных пропиток; разработан CALS-проект автоматизированной системы контроля и управления опытно-промышленной установки производством дорожных пропиток.

### **Публикация результатов исследования.**

Основные положения диссертации отражены в 72 научных работах, включающих: патент на изобретение; 6 зарубежных публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах (Scopus, Web of Science); 7 статей в российских журналах, рекомендуемых ВАК.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы (165 наименований) и 4 приложений, включающих дипломы и патент по результатам работы. Диссертация изложена на 190 страницах, включая 50 рисунков и 1 таблицу.

## **Глава 1 Системный анализ по направлению «Автоматизация научных исследований материалов дорожной химии»**

Автомобильные дороги позволяют решить многие текущие политические и экономические проблемы в стране, решая такие задачи, как обеспечение лучшей межрегиональной связности, увеличение объема грузоперевозок, развитие экспортного потенциала России в области международной торговли транспортными услугами [1].

Данные о различных видах транспорта (автомобильном, железнодорожном, водном и воздушном) рассматриваются в статистическом сборнике «Транспорт в России». Сравнительный анализ использования этих видов транспорта позволяет сделать вывод, что по многим основным показателям автомобильный транспорт значительно превосходит другие виды транспорта, таких как пассажирские и грузоперевозки, а также протяженность дорог. К сожалению, до сих пор, качество автодорожной инфраструктуры в России по сравнению со многими развитыми странами довольно низкое [2, 3].

Чтобы оценить эффективность автодорог в России, используются различные методы [4], в том числе показатель "quality of roads" [5], который основан на результатах опросов руководителей компаний и экспертов, а также анализа данных длины и плотности автодорожной сети различного назначения (местных, магистральных и международных дорог). Стоит отметить, что результаты анализа длины и плотности сети автодорог дают более объективную картину состояния дорог и пересматриваются ежегодно. Данный показатель «позволяет дать комплексную оценку по шкале от 1 до 7 (от худшего к лучшему): 1 – очень плохие дороги; 7 – разветвленные и эффективные по международным стандартам. Комплексный показатель для России имеет низкую экспертную оценку – 3,5 балла» [6].

Для проведения сравнительного анализа влияния различных материалов дорожной химии, такой как противогололедные реагенты и дорожные пропитки на качество автодорожной инфраструктуры был проведен комплекс системных исследований, позволивший определить важность научной и прикладной работы.

## **1.1 Системные исследования качества автодорожной инфраструктуры в России и за рубежом**

Дорожная инфраструктура играет важную роль в показателях приоритетных направлений развития Российской Федерации. Она является существенным фактором экономического роста, социального и регионального развития, а также сохранения природных ресурсов страны [7].

Качественная дорожная сеть облегчает торговлю, транспорт и экономическую активность, создает новые рабочие места и привлекает инвестиции. Она также улучшает доступность медицинских учреждений, образования, культурных и спортивных объектов, обеспечивает связь между населенными пунктами и способствует равномерному развитию регионов [8]. Кроме того, современная дорожная инфраструктура может быть экологически устойчивой, способствуя сохранению природных ресурсов. В разделе 1.1.1 рассматривается развитие и модернизация автомобильных дорог в контексте одного из ключевых приоритетов развития государства.

### **1.1.1. Роль качества автомобильных дорог в национальных целях развития России**

Согласно указу Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», для осуществления «прорывного развития Российской Федерации, увеличения численности населения страны, повышения уровня жизни граждан, создания комфортных условий для их проживания, а также раскрытия таланта каждого человека, было постановлено определить следующие национальные цели: сохранение населения, здоровье и благополучие людей; возможности для самореализации и развития талантов; комфортная и безопасная среда для жизни; достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство; цифровая трансформация» [9]. Все эти перспективные направления развития Российской Федерации на период до 2030

года обозначены в иерархической структуре в качестве элементов 1-го уровня (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Системные исследования «Качества автотранспортной инфраструктуры» в Национальных целях развития России

В качестве элементов 2-го уровня рассматриваются целевые показатели, характеризующие достижение национальных целей к 2030 году. Так, объекту 1-го уровня «комфортная и безопасная среда для жизни» соответствуют следующие целевые показатели: «улучшение жилищных условий, создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами, улучшение транспортной инфраструктуры, ликвидация наиболее опасных объектов накопленного вреда окружающей среде, снижение выбросов опасных загрязняющих веществ» [10].

Для улучшения целевого показателя транспортной инфраструктуры необходимо рассматривать инфраструктуру каждого вида транспорта по отдельности [11]. Для этого в иерархическую структуру занесены следующие элементы 3-го уровня: железнодорожный транспорт, воздушный транспорт, автомобильный транспорт и водный транспорт.

Для элемента иерархической структуры «автомобильный транспорт» показатель «качество автотранспортной инфраструктуры» рассматривается более подробно в разделе 1.1.2. Анализ проводился на основе данных, полученных из отчёта о глобальной конкурентоспособности Всемирного экономического форума.

### **1.1.2. Анализ качества автотранспортной инфраструктуры на основе индекса глобальной конкурентоспособности**

Индекс глобальной конкурентоспособности ((The Global Competitiveness Index) Всемирного экономического форума (WEF) в настоящее время является наиболее полным исследованием в этой области. Впервые он был опубликован в 2004 году. Индекс основан на переменных, которые характеризуют конкурентоспособность стран мира на разных уровнях экономического развития. Набор переменных на 2/3 основан на результатах опроса среди руководителей компаний анализируемых стран, а 1/3 переменных основана на информации из открытых источников, которые регулярно публикуются международными организациями – партнерами VEF, и включают в себя результаты исследований и статистические данные. Все переменные объединяются в 12 контрольных показателей, определяющих национальную конкурентоспособность [12].

С точки зрения экономических выгод, дорожная инфраструктура также важна для развития малых и средних предприятий (МСП) и интеграции отдаленных регионов в экономику страны. МСП составляют значительную часть экономической деятельности страны и часто расположены в отдаленных и слаборазвитых регионах, куда менее доступны дороги. Улучшение дорожной

инфраструктуры может помочь расширить их доступ к рынкам, что, в свою очередь, может привести к повышению экономической активности и созданию рабочих мест в этих регионах [13].

Помимо экономических, социальных и экологических выгод, дорожная инфраструктура также играет важную роль в социальном развитии. Доступ к хорошим дорогам повышает уровень жизни граждан за счет расширения доступа к образованию, здравоохранению и другим необходимым услугам. Она также помогает уменьшить социальное и экономическое неравенство между городскими и сельскими районами, соединяя отдаленные населенные пункты с остальной частью страны [14].

Кроме того, дорожная инфраструктура также важна для национальной безопасности страны. Адекватные и хорошо обслуживаемые дорожные сети могут помочь повысить мобильность и готовность служб экстренного реагирования страны [15]. Это может помочь обеспечить безопасность граждан и повысить способность страны реагировать на стихийные бедствия и другие чрезвычайные ситуации.

Согласно индексу глобальной конкурентоспособности (The Global Competitiveness Report), к элементу 3-го уровня «автомобильный транспорт» относится 3 основных индивидуальных индикатора: качество автотранспортной инфраструктуры, прямолинейность дорог и средняя скорость движения автотранспорта. Эти показатели рассчитываются по характеристикам взаимосвязи 10 крупнейших городов страны и характеристикам автодорог, соединяющих самые северные, южные, восточные и западные точки страны.

Однако существует и ряд проблем, связанных с развитием дорожной инфраструктуры в России. Одной из основных проблем являются огромные размеры страны и разнообразная география, что может затруднить строительство и обслуживание дорожных сетей в отдаленных и малонаселенных регионах [16]. Кроме того, суровый климат страны может привести к значительным повреждениям дорог, ремонт которых требует дополнительных расходов.

Еще одной проблемой является ограниченность ресурсов, выделяемых на

развитие дорожной инфраструктуры. В стране имеется большая дорожная сеть, которая требует значительных инвестиций в обслуживание и модернизацию. Однако ограничения государственного бюджета и конкуренция с другими областями государственных расходов затрудняют выделение достаточного финансирования на дорожную инфраструктуру. Чтобы преодолеть эти трудности, правительство должно продолжать инвестировать в развитие дорожной инфраструктуры, учитывая при этом социальные, экономические и экологические последствия проектов. Это включает в себя строительство новых дорог, обслуживание и модернизацию существующих, а также развитие интеллектуальных транспортных систем и логистических узлов [17]. Кроме того, важно учитывать потребности различных регионов и сообществ, а также обеспечить инклюзивный и справедливый характер развития дорожной инфраструктуры.

Еще один важный аспект, который необходимо учитывать, — это обслуживание и модернизация существующих автомагистралей. По мере роста населения и экономики увеличиваются и требования к существующей инфраструктуре. Это означает, что поддержание и модернизация существующих автомагистралей имеет решающее значение для обеспечения постоянной безопасности и эффективности транспортной системы [18]. Это включает в себя регулярное техническое обслуживание и ремонт, а также внедрение новых технологий, таких как интеллектуальные транспортные системы, для улучшения транспортного потока и уменьшения заторов.

Кроме того, при строительстве и модернизации автомобильных дорог необходимо планировать будущее. Это включает в себя учет прогнозируемого роста населения и экономики, а также потенциального влияния новых технологий, таких как электромобили и автономные автомобили [19]. Планируя на будущее, мы можем гарантировать, что инфраструктура, которую мы строим сегодня, сможет удовлетворить потребности завтрашнего дня.

В последние годы Российская Федерация вкладывает значительные средства в развитие дорожной инфраструктуры, однако предстоит еще много

работы для того, чтобы все регионы страны имели доступ к адекватным и эффективным дорожным сетям. Правительство должно продолжать инвестировать в развитие дорожной инфраструктуры, учитывая при этом социальные, экономические и экологические последствия проектов. Чтобы подробно изучить, как качество автодорог влияет на общую оценку транспортной инфраструктуры Российской Федерации в разделе 1.2 описывается проведенный комплекс системных исследований, включающий адаптированную контекстную диаграмму типа IDEF0. В результате декомпозиции были выделены основные функции и внутренние связи между различными факторами, влияющими на качество автомобильных дорог.

## **1.2 Разработка функциональной модели IDEF0 для анализа качества автотранспортной инфраструктуры**

Для детального отображения влияния качества автодорог на общий показатель качества транспортной инфраструктуры Российской Федерации нами был проведен комплекс системных исследований, в ходе которого была предложена адаптация и декомпозиция диаграммы типа IDEF0 [20] с выделением функций и уточнением внутренних связей между ними.

Бизнес-процессы могут быть описаны с использованием различных нотаций и программных продуктов. Среди них наиболее известной и наиболее используемой является нотация графического моделирования IDEF0, которая была разработана во второй половине 20-го века на основе методологии структурного анализа и дизайна SADT. Нотация IDEF0 характеризуется простым и понятным языком описания бизнес-процессов [21, с. 78].

Моделирование процессов управления – достаточно сложный процесс, включающий в себя решение рутинных и часто повторяющихся задач управления, а также задач, в которых предусмотрена переработка большого объема информации. Сам процесс управления является основой алгоритмического обеспечения функциональной модели IDEF0 [22]. В разделе 1.2.1 более подробно рассматриваются основные элементы и принципы разработки диаграмм IDEF0.

### 1.2.1 Методология функционального моделирования IDEF0

Любой элемент любой нотации (объект, функция, работа) представляет собой модель процесса, в которой происходит процесс преобразования входной информации в выходную [23]. Методика описания преобразования информации внутри элемента подчиняется единым алгоритмам и правилам практически для любого объекта.

Для того чтобы построить систему управления каждым процессом и всей сетью процессов, необходимо построить четко структурированную систему поступления оперативной и плановой информации. Информация о процессе является таким же ресурсом, как персонал, среда и инфраструктура

Чтобы создать систему управления для каждого процесса и всей сети процессов, необходимо выстроить четко структурированную систему для получения оперативной и плановой информации. Информация о процессе представляет собой тот же ресурс, что и сотрудники, среда и инфраструктура [23].

Показатели процесса выбираются с учетом адекватности, полноты и объективности отражения состояния процесса. Они должны быть собираемыми, обрабатываемыми и сравнимыми с предыдущими данными. Показатели должны охватывать качественные и количественные характеристики процесса, а их представление должно быть понятным [24].

Показатели процесса помогают определить результативность и эффективность процесса и системы в целом. Результативность связана с достижением запланированных результатов, а эффективность - с соотношением между результатом и затраченными ресурсами.

Построение контекстной диаграммы основано на существующих методах управления процессами в стандартном режиме. В рамках этого руководства владелец процесса регулярно получает информацию о ходе процесса в предварительно определенной форме, которая позволяет контролировать процесс [25]. Чтобы обеспечить возможность ретроспективного анализа и подтвердить обоснованность решений, владелец процесса обеспечивает документирование и

архивирование информации (данных). В дальнейшем владелец процесса анализирует полученные данные и сравнивает их с запланированными значениями и требованиями руководства.

Если отклонение от плана превышает установленные границы, владелец процесса регистрирует отклонение, анализирует его причины, оценивает целесообразность устранения, организует необходимые действия и документирует результаты и принятые решения.

Диаграммы IDEF0 описывают процессы на предприятии, выявляют объекты, информацию, результаты и ресурсы, связанные с процессами. Нотация IDEF0 использует контекстную диаграмму и поддерживает декомпозицию процесса [26]. Типология IDEF0 позволяет последовательно декомпозировать процесс до более детального уровня, перенося стрелки родительского процесса на дочерние диаграммы.

Доминирование в IDEF0 предполагает расположение блоков модели по диагонали, отражая влияние одних блоков на другие. Основным элементом представлен функцией в форме прямоугольника с входящими и исходящими стрелками. Также важно отметить существование других объектов, таких как: "Вход", который представляют материалы или данные, преобразованные функцией в результат – выход; "Управление", которое соответствует документам, на основе которых действует функция; "Механизм", который обозначает необходимые средства при выполнении функции; "Вызов", который подразумевает, что какая-то часть функции выполняется вне модели; "Выход", который соответствует результату выполнения функции. Среди ключевых элементов нотации особое значение имеет заголовок, при помощи которого происходит отслеживание процесса создания модели, отображение текущего состояния и т.д. [21, с. 78-80].

В разделе 1.2.2 показан пример разработки и адаптации диаграммы IDEF0 для анализа влияния качества автодорог на общий показатель качества жизни.

## 1.2.2 Методика IDEF0-диаграмм для системного анализа качества транспортной инфраструктуры

В нашем случае, методика построения IDEF0-диаграммы и ее дальнейшая декомпозиция были адаптированы и применены для системного анализа влияния автомобильных дорог на «обобщенный показатель качества инфраструктуры страны» [6]. Диаграмма IDEF0 процесса качественной оценки транспортной инфраструктуры России представлена на рисунке 1.2.

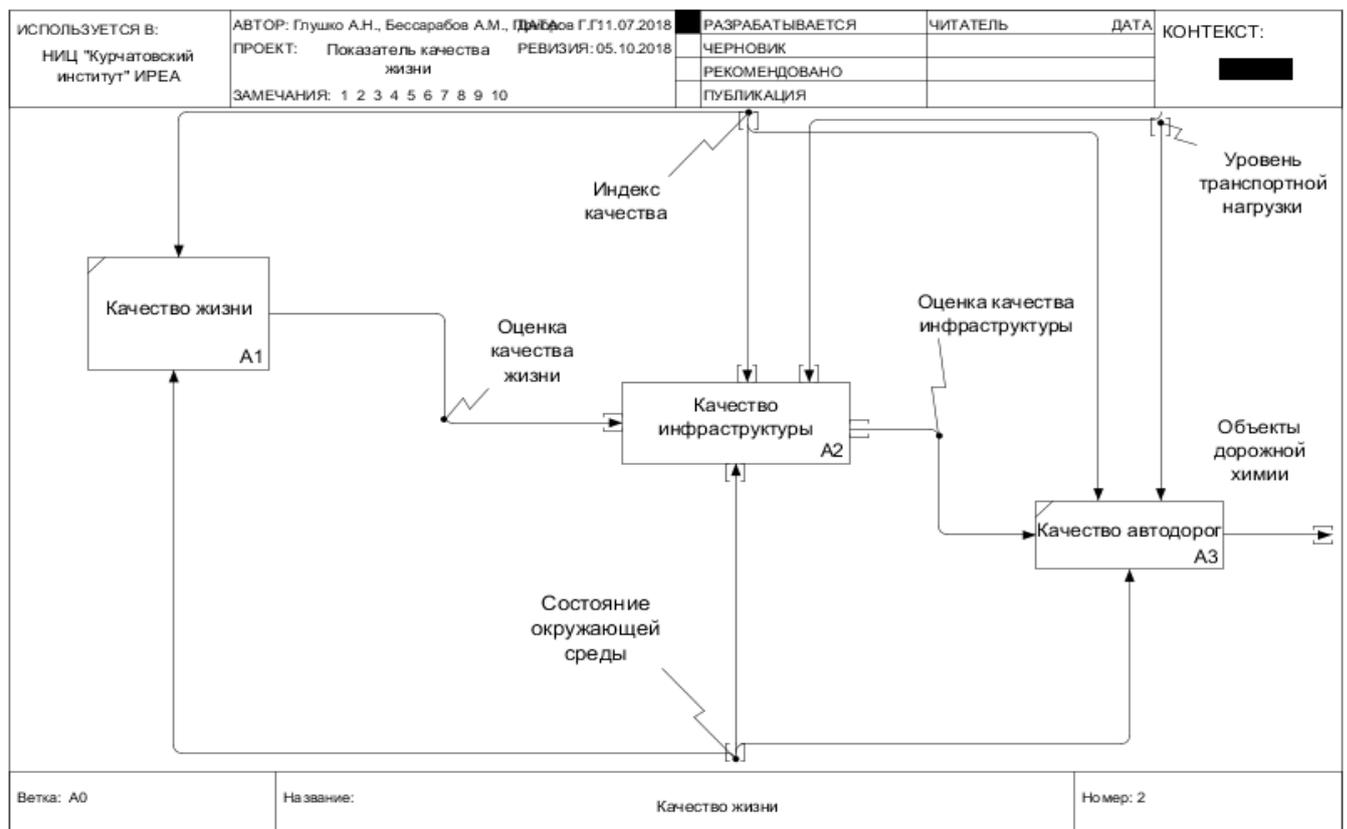


Рисунок 1.2 – Диаграмма IDEF0 первого уровня декомпозиции показателей качества

На основании проведенного анализа предложены 3 группы основных взаимосвязанных показателей качества: качество жизни (A1), качество инфраструктуры (A2), качество автодорог (A3). Данные показатели были выделены и указаны на основе анализа экспертной оценки, представленной в международном отчете о глобальной конкурентоспособности (The Global

Competitiveness Report, ежегодный доклад Всемирного экономического форума) [27].

В оценке рейтинга (индекса) глобальной конкурентоспособности используется 113 переменных на основе которых исследуется конкурентоспособность стран мира, находящихся на разных уровнях экономического развития. Выбор этих переменных основан на теоретических и эмпирических исследованиях. Для каждой страны, рассмотренной в исследовании, в отчете VEF содержится подробное описание и выводы о позиции страны общем рейтинге и определяется наиболее важные конкурентные преимущества и недостатки [12].

Следующий этап – декомпозиция диаграммы для функций, входящих в анализируемый показатель качества. На рисунке 1.3 представлен вариант декомпозиции функционального блока «Качество инфраструктуры».

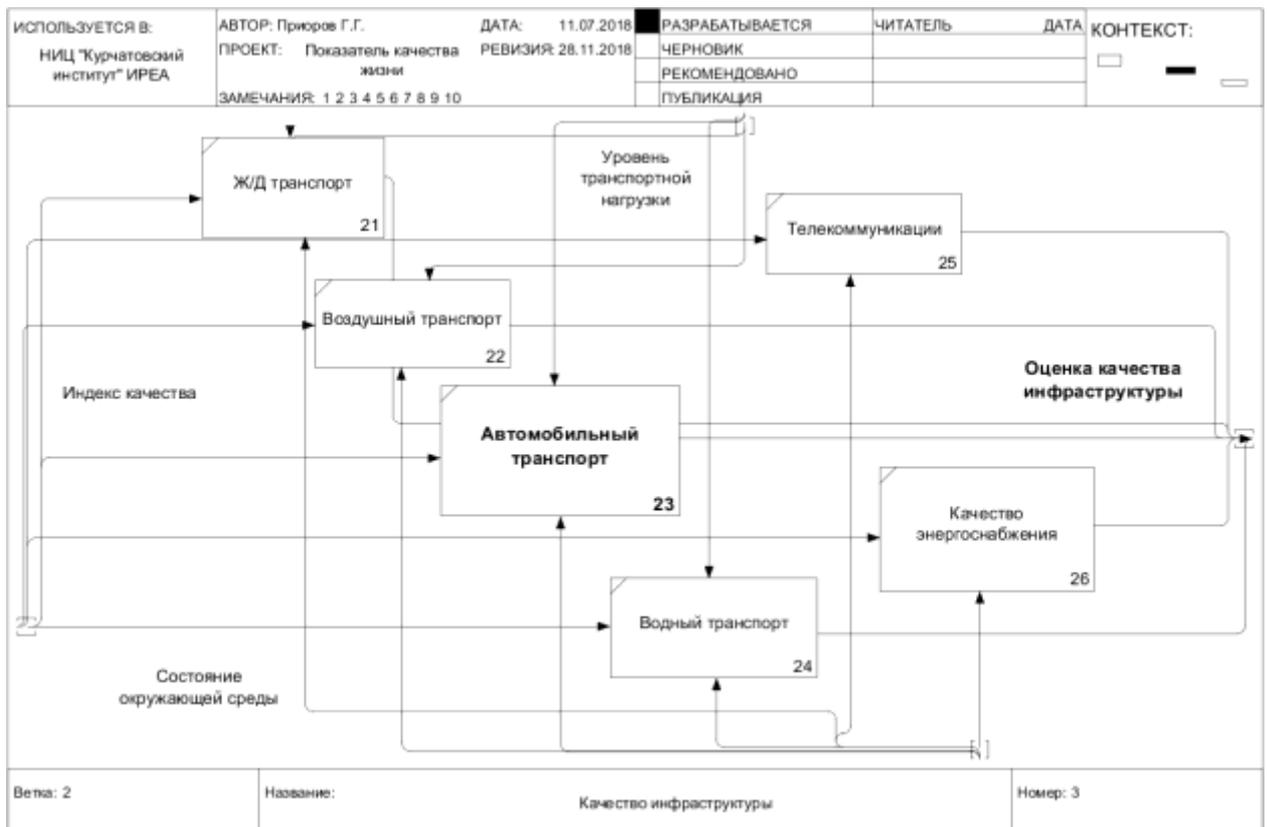


Рисунок 1.3 – Диаграмма IDEF0 для декомпозиции функционального блока «Качество инфраструктуры»

В качестве блоков следующего уровня декомпозиции были выбраны шесть основных показателей качества, которые в наибольшей степени отображают состояние инфраструктуры страны. Это основные виды транспорта (железнодорожный, воздушный, водный и автомобильный транспорт), а также телекоммуникации и устойчивости энергоснабжения регионов.

Также на схеме указаны основные факторы, влияющие на показатели качества и входные/выходные данные. Внешние факторы обозначены вертикальными стрелками (состояние окружающей среды, уровень транспортной нагрузки), входные и выходные данные указаны по горизонтали, слева направо (суммарный индекс качества, совокупная оценка качества инфраструктуры).

На следующем этапе декомпозиции, в разделе 1.2.3, более подробно рассматривается декомпозиция 2-го блока функциональной диаграммы – автомобильный транспорт. Входящие в него параметры и показатели качества напрямую влияют на качество автодорожной инфраструктуры.

### **1.2.3 Декомпозиция блока диаграммы «автомобильный транспорт» и анализ факторов, влияющих на качество автодорожной инфраструктуры**

При декомпозиции параметров, оказывающих влияние на качество дорожной инфраструктуры, были выявлены следующие показатели (рисунок 1.4): прямолинейность дорог, средняя скорость движения по основным магистралям, качество дорог и эффективность наземного транспорта.

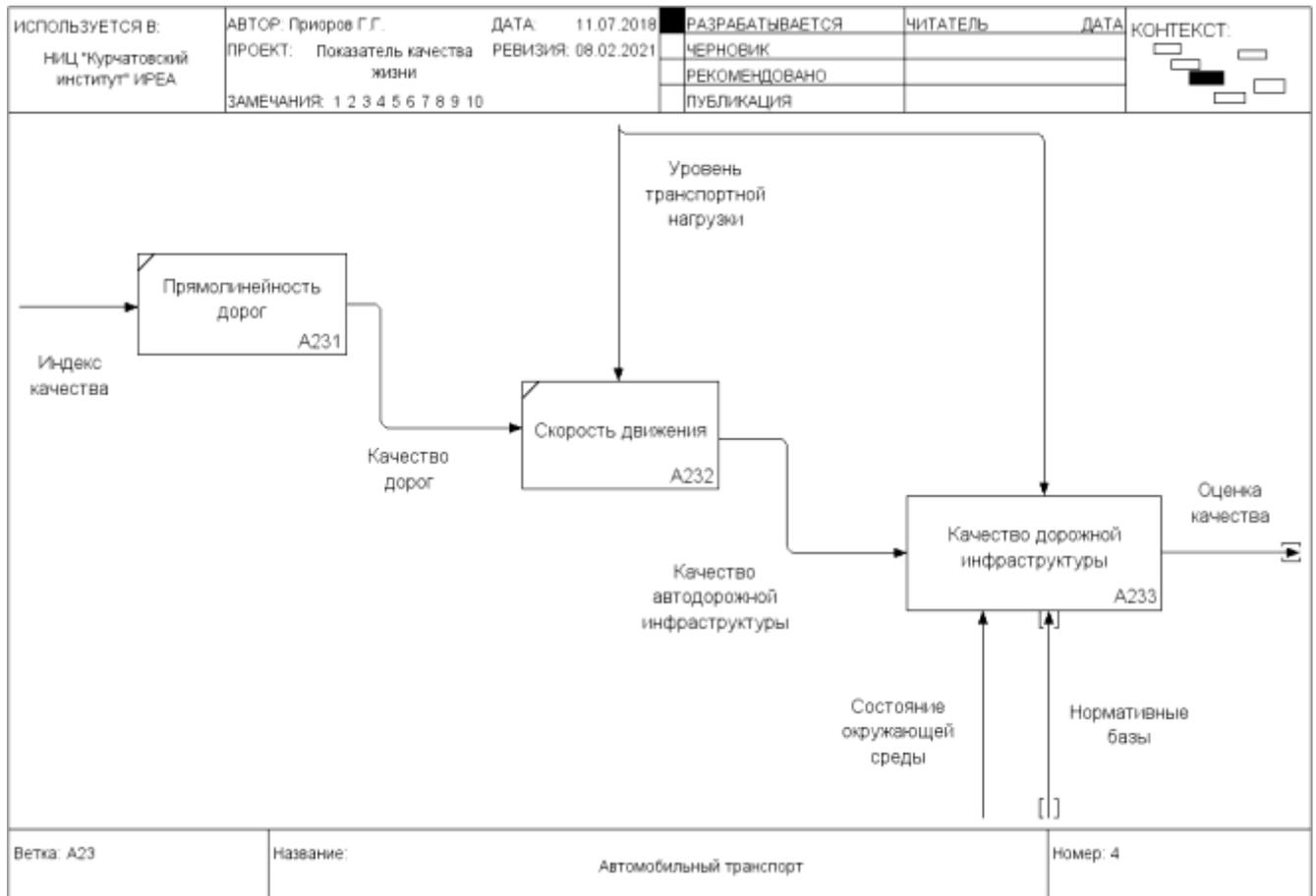


Рисунок 1.4 – Диаграмма IDEF0 для декомпозиции функционального блока «Автодорожная инфраструктура»

Прямолинейность дороги определяется через соотношение длины автомагистрали между крупнейшими городами и расстоянием между ними. Скорость движения оценивается по средней скорости соединения крупнейших городов и различных точек страны. Качество дорожной инфраструктуры определяется протяженностью и состоянием дорог, позволяя сравнить страны по развитию своих дорожных систем [13]. Оценка эффективности наземного транспорта включает частоту, пунктуальность, скорость и цену транспортных услуг, позволяя определить уровень эффективности системы грузовых и пассажирских перевозок страны.

На последнем этапе декомпозиции более подробно рассматривается наиболее актуальный для нас фактор «качество автодорожной инфраструктуры» (рисунок 1.5). Было показано, что на качество автодорог влияют следующие показатели: природно-климатические условия, уровень технологической

культуры и интенсивность транспортной нагрузки. Также в диаграмме было отмечено, что на уровень технологической культуры влияет своевременная обработка дорожного полотна материалами дорожной химии.

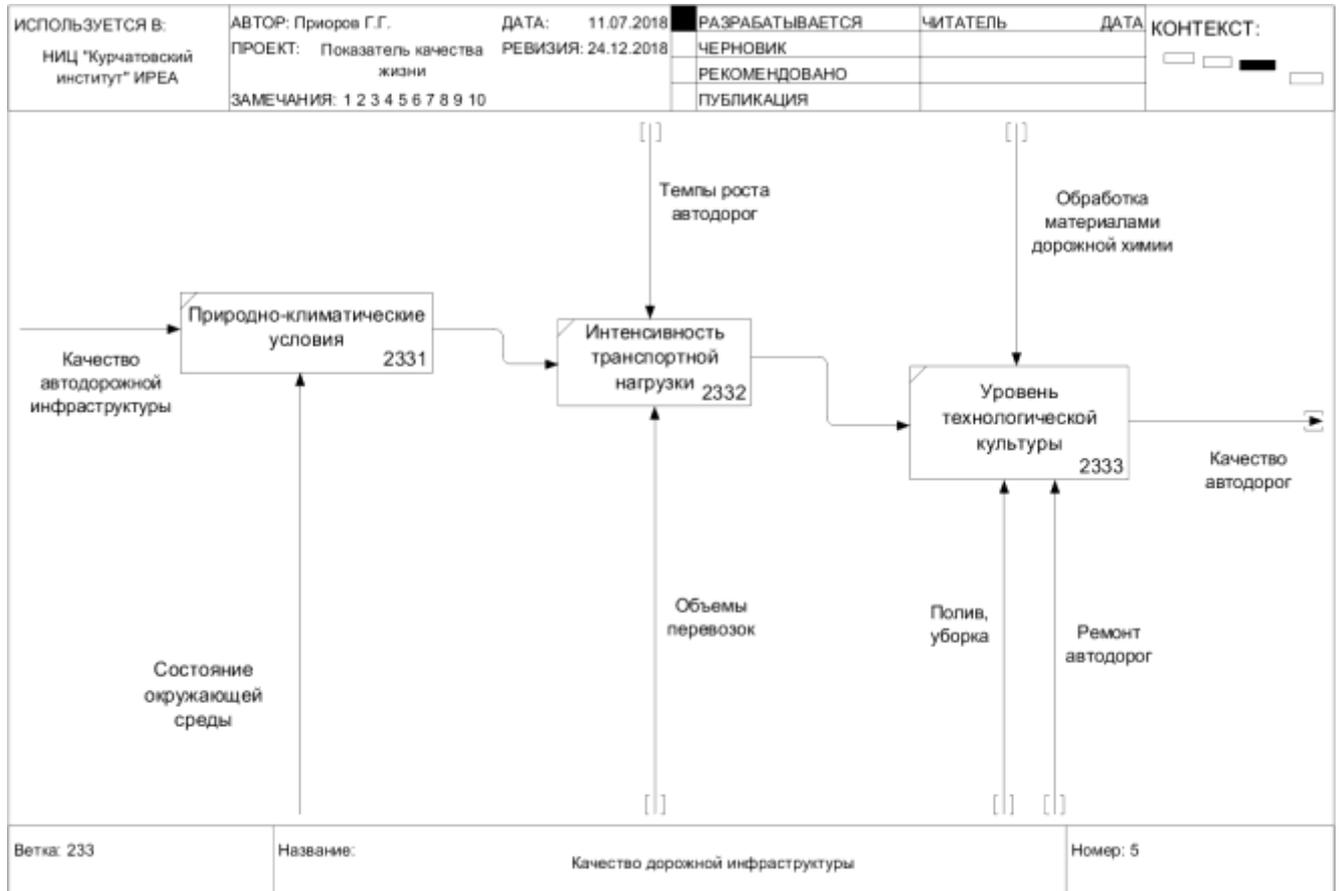


Рисунок 1.5 – Диаграмма IDEF0 для декомпозиции функционального блока «Качество автодорог»

Также в кластер «Уровень технологической культуры» добавлены два фактора, связанные с мерами круглогодичного содержания автодорог: ремонт автодорог, полив и уборка. На системном анализе этих показателей заканчивается декомпозиция автодорожной инфраструктуры в разработанной информационной диаграмме IDEF0. В следующем разделе проводится анализ системного подхода к качеству автотранспортной инфраструктуры. Более подробно описывается различные методы по улучшению качества автодорожной инфраструктуры и меры по круглогодичному содержанию автодорог.

### 1.3 Литературный анализ системных исследований по качеству автотранспортной инфраструктуры

Автомобильные дороги, как инженерные сооружения, «подвержены воздействию в течение периода эксплуатации, и их состояние непосредственно зависит от применяемых технологий содержания» [28]. Это обстоятельство обуславливает необходимость адаптации мирового опыта разработки таких технологий к особенностям и условиям территории Российской Федерации.

Применение мирового опыта и его адаптация к российским условиям позволят оптимизировать технологии содержания автодорог, улучшить их эффективность и экономическую целесообразность. Это важный аспект для обеспечения надежности и устойчивости дорожной инфраструктуры в России, способствующий повышению качества дорожной сети и улучшению условий дорожного движения для граждан и транспортных компаний.

#### 1.3.1 Литературный анализ факторов, влияющих на качество автотранспортной инфраструктуры<sup>1</sup>

<sup>1</sup> В данном разделе использованы материалы следующих работ: Глушко А.Н. Проблемно-ориентированные CALS-системы компьютерного менеджмента качества химических противогололедных материалов и дорожных пропиток // диссертация ... к.т.н.: 05.13.01 / Глушко Андрей Николаевич. – Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, – 2013 – 149 с.

Филастова А.В., Чуприн А.С., Ворожеев А.П. Природные факторы, учитываемые при реконструкции автодорог // Инженерный вестник Дона. – 2021 – № 5 (77). – С. 661-669.

Варятченко А.П. Методы эффективного управления затратами на ремонт автодорог на основе диагностики дорожной одежды // Экономика и предпринимательство. – 2021 – № 6 (131). – С. 1155-1157.

Максимов В.А., Ушаков В.В. Обоснование технологии содержания цементобетонных покрытий автомобильных дорог для повышения срока их службы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022 – № 2 (32). – С. 64-70.

Глушко А.Н. Участие прикладной химической науки в мероприятиях по зимнему содержанию автодорог как важнейшей части транспортной инфраструктуры страны и жизнеобеспечения г. Москвы / А. Н. Глушко, Е. А. Лосева, Л. С. Кислякова [и др.] // Российский химический журнал. – 2014 – Т. 58, № 1 – С. 31-39.

О порядке допуска к применению противогололедных реагентов для зимней уборки объектов дорожного хозяйства и дворовых территорий в г. Москве: Постановление Правительства г. Москвы № 242-ПП от 10 апреля 2007 г (с изменениями от 24 декабря 2014 г) – URL: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/14973220/>. (дата обращения: 19.07.2023).

Об утверждении Регламента выполнения работ по комплексному содержанию объектов дорожного хозяйства в городе Москве и технологических карт комплексного содержания объектов дорожного хозяйства г. Москвы в зимний и летний периоды: Распоряжение Департамента ЖКХ г. Москвы 01-01-14-505/19 от 21 ноября 2019 г. – URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/9125/Reglament505211119.pdf>. (дата обращения: 23.07.2023).

Методика испытаний противогололедных материалов. / Министерство транспорта Российской Федерации, Гос. служба дорожного хозяйства (Росавтодор). – М., 2003 – 23 с.

Булатицкий К.К. Применение современных аналитических методов для оценки экологического влияния противогололедных реагентов на объекты окружающей среды / К. К. Булатицкий, Р. А. Санду, А. Н. Глушко [и др.] // Российский химический журнал. – 2014 – Т. 58, № 1 – С. 65-72.

В своей диссертационной работе Глушко А.Н. [28] сделал вывод о том, что «на выбор технологий для поддержания и состояния дорог влияет четыре основных фактора (рис. 1.6): естественные природно-климатические условия; уровень технологической культуры; нагрузка на автодорогу».

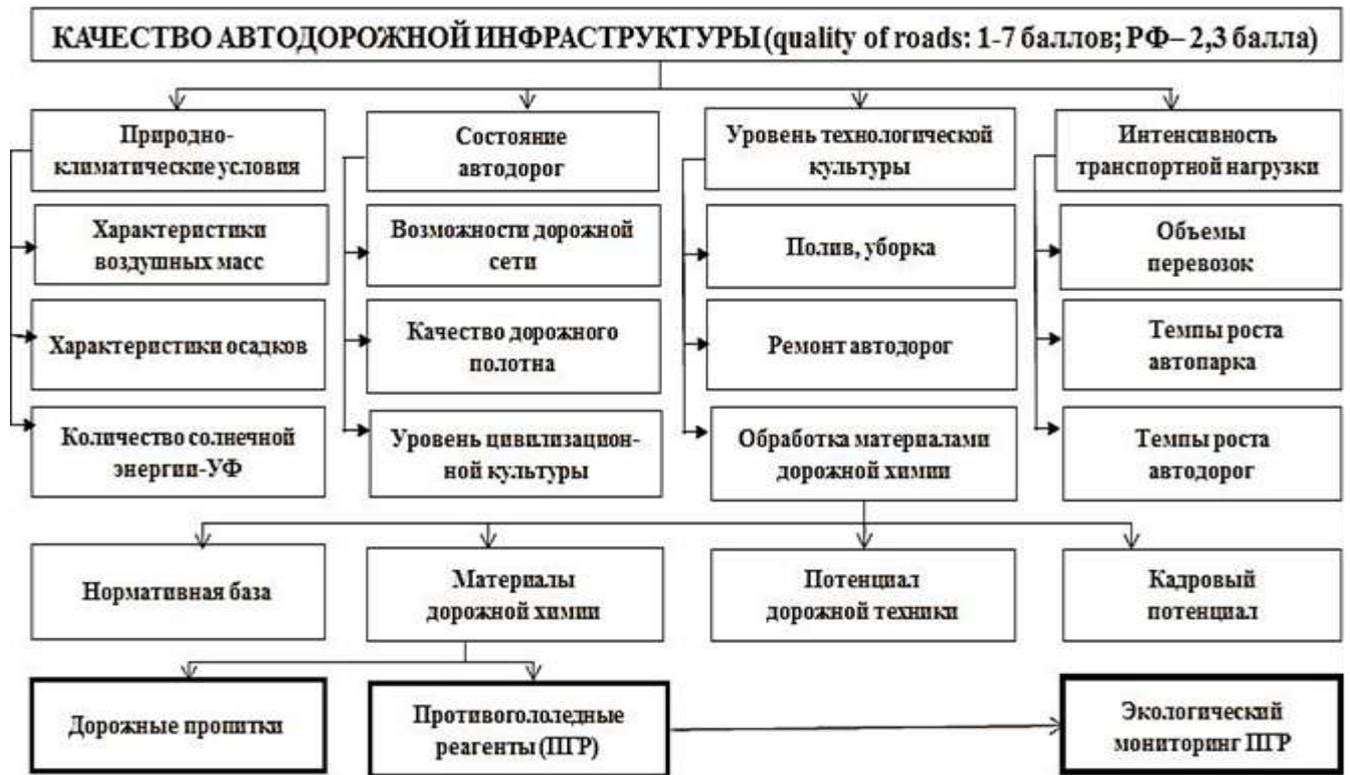


Рисунок 1.6 – Системный анализ качества автодорожной инфраструктуры

Основное значение, по мнению Глушко А.Н., «представляют такие показатели уровня технологической культуры, как обработка автодорог пропиточными составами и противогололедными реагентами. В эти технологические операции на 3-м уровне иерархии входит один из важнейших показателей – «материалы», являющийся основным объектом наших исследований. Так как они представляют собой сложные химические композиции, то ключевое значение имеют их показатели качества, которые определяются в ходе испытаний образцов материалов, проводимых в аналитической

37. Медников Д.А. CALS-технологии и их реализация на этапах жизненного цикла изделия / Д. А. Медников, Е. В. Абызова, О. В. Медникова // Вестник Академии знаний. – 2018 – № 27(4). – С. 155-157.

38. Горин Д.С., Долженков С.С. Научно-методические основы управления качеством продукции на основе CALS- технологий // Вестник Академии права и управления. – 2021 – № 3 (64). – С. 55-60.

лаборатории» [28].

Для настоящего исследования основное значение имеют следующие показатели уровня технологической культуры: обработка автодорог пропиточными составами и противогололедными реагентами. Основным объектом исследования является показатель «материалы», который входит в технологические операции на 3-м уровне иерархии, как один из наиболее важных показателей. Из-за сложности химических композиций материалов при испытании образцов материалов в аналитической лаборатории ключевое значение имеют их показатели качества [29, 30, 31]. В этом контексте «существенное значение имеет объективность испытаний и независимость от человеческого фактора. Реализация этих условий стала возможной благодаря автоматизации процедуры испытаний, при которой в качестве основы должна послужить систематизация продуктов дорожной химии, показателей качества, методик измерений и аналитического оборудования» [28, с. 11].

Автоматизированный подход к испытаниям и систематическое изучение химических компонентов и пропиток позволяют повысить точность и достоверность результатов, что является важным фактором при разработке и улучшении материалов, применяемых в дорожном строительстве.

Кроме того, «автоматизация процедуры испытаний и систематизации химических ПГР и дорожных пропиток позволит решать задачи по совершенствованию методик измерения и улучшению свойств самих продуктов» [28, с. 12]. Это открывает новые возможности как для разработки инновационных материалов с определенными свойствами, так и для повышения эффективности дорожной инфраструктуры.

Ключевыми элементами технологии содержания автомобильных дорог являются вопросы повышения коэффициента сцепления автомобильных колес с дорожным полотном в осенне-зимний период и сохранения качества асфальтобетона. Для эффективного решения этих проблем созданы и применяются дорожными службами искусственные химические композиции - продукты дорожной химии: химические и комбинированные ПГР и дорожные

пропитки.

В обслуживании дорожной инфраструктуры «решающую роль играют технологии, особенно в отношении повышения коэффициента сцепления транспортных средств с дорожным полотном в осенний и зимний периоды и сохранение качества асфальтобетона. Для эффективного решения этих задач дорожными службами разработаны и используются искусственные химические композиции – продукты дорожной химии, к которым относятся комбинированные ПГР и дорожные пропитки» [28].

По мнению Глушко А.Н. и соавторов, «наиболее целесообразно проанализировать практику использования ПГР на территории Российской Федерации на примере города Москвы. С одной стороны, это крупнейший транспортный узел в Российской Федерации, находящийся в переходных от европейского к резкоконтинентальному природно-климатических условиях. С другой стороны, это единственный субъект России, в котором используются только химические вещества (твердые и жидкие) и комбинированные противогололедные материалы нескольких марок для предотвращения образования снежно-ледяной массы и ее адгезии к асфальтобетону» [32].

### **1.3.2 Анализ международного опыта содержания автодорог**

В исследовании А.Н. Глушко был проведен сравнительный анализ между странами, «представляющими интерес в области эксплуатации автодорог, а именно США, Канадой, Великобританией, Германией, Финляндией и Китаем» [28]. Данный анализ показал, что, согласно рассмотренным показателям, Россия не имеет существенного сходства ни с одной из этих стран. Проведенный автором анализ показал невозможность использования зарубежного опыта в целом, а только отдельных элементов. Также было отмечено, что «в силу особенности географического положения России большая часть ее территории не соответствует в точности ни одному другому государству мира» (табл. 1.1.) [28].

Таблица 1.1. – Сравнительные данные о факторах, влияющих на технологию содержания автодорог, в РФ и ряде развитых стран мира

Государство	Природно-климатические условия	Уровень технологической культуры	Состояние автодорог	Уровень транспортной нагрузки
США	-	-	-	+
Великобритания	-	-	-	+
КНР	-	-	+	+
ФРГ	-	-	-	+
Канада	+	-	-	-
Финляндия	+	+	+	-

В ходе сравнения данных о факторах, влияющих на технологию содержания автодорог в РФ и ряде развитых стран мира, были выявлены существенные различия в климатических условиях, грунтовых характеристиках, интенсивности движения и других факторах, которые оказывают влияние на состояние дорог.

Таким образом, невозможно обратиться к иностранному опыту в целом, а только использовать его отдельные фрагменты. Для технологий обслуживания автомобильных дорог в Российской Федерации необходимо разрабатывать специфичный подход [29, 30].

В рамках «Технологией зимней уборки...» рекомендуется использование конкретной композиции реагентов, разрешенной для использования [33, 34, 35]. Качество этих реагентов должно соответствовать установленным стандартам и требованиям, и, следовательно, было решено, что образцы каждой партии ПГР, предоставленные для г. Москвы, должны пройти входной контроль – экспертизу качества на соответствие физико-химическим и экологическим характеристикам [36].

Учитывая необходимость обеспечения экологической безопасности применяемых ПГР, «необходимо внедрить методический и систематический

подход для оценки потенциального влияния реагентов на людей и окружающую среду, а также для определения рисков и ограничений, связанных с этими продуктами» [34].

В рамках настоящего исследования иерархическая структура аналитического мониторинга химических противогололедных реагентов была изучена для использования на поверхности автодорог зимой, а также структура автоматизированной системы компьютерного менеджмента качества (КМК-системы). Это исследование также связано с защитными составами дорожных пропиточных композиций летом [28; 32].

Системные исследования позволили выделить многоуровневую кластерную архитектуру показателей качества рассматриваемых продуктов дорожной химии и разработать модернизированную структуру взаимосвязи каждого показателя с соответствующими методами аналитического контроля и аналитическим оборудованием на базе современного программного комплекса.

Эта структура основана на базе современного программного комплекса PDM STEP Suite версии 5.7. Основным нововведением в данной работе является использование обновленного функционала, который включает в себя: улучшенное управление процессами, расширенную базу данных (включая базы словарей, характеристик, объектные и объектно-понятийные справочники), улучшенную систему электронного документооборота (включая нормативные документы и технологические регламенты).

Для эффективного использования материалов дорожной химии в данной работе проведено 2 комплекса работ:

1. Модернизация, разработанных в 2013 году к.т.н. Глушко А.Н. трех систем аналитического мониторинга: КМК-система противогололедных реагентов (ПГР); экологическая КМК-система влияния ПГР на объекты окружающей среды; КМК-система дорожных пропиток.

2. Разработка новых автоматизированных систем:

- КМК-система геоэкологического мониторинга влияния ПГР на объекты окружающей среды;

- КМК-система гидрофобизирующих пропиточных составов для автотранспортной инфраструктуры;
- система автоматизированной разработки опытно-промышленного производства пропиточных составов для дорожных покрытий;
- программный комплекс для автоматизированной разработки системы контроля и управления установкой для получения дорожных пропиток.

Разработка проводилась по информационному стандарту ISO-10303 STEP на основе наиболее перспективной системы компьютерной поддержки: CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта) [37]. Использование CALS-технологий в процессе разработки по стандарту позволяет обеспечить непрерывный и эффективный обмен информацией между различными участниками проекта. Это способствует улучшению автоматизации работ, уменьшению ошибок и повышению эффективности на всех этапах жизненного цикла продукта [38].

Выбор CALS-технологий в сочетании с использованием стандарта ISO-10303 STEP позволяет создать надежную автоматизированную систему обработки и обмена информацией, которая способствует эффективности разработки и повышению качества разрабатываемого ассортимента противогололедных реагентов, а также гидрофобизирующих и дорожных пропиток.

## **Выводы по главе 1**

1. Проведен системный анализ целей и задач развития России, позволивший выделить в разработанной иерархической архитектуре уровень транспортной инфраструктуры, в которую входит и автодорожная.

2. Показано, что уровень автодорожной инфраструктуры по данным The Global Competitiveness Report (ежегодный доклад Всемирного экономического форума) зависит: от прямолинейности дорог, уровня транспортной нагрузки и качества автотранспортной инфраструктуры. Для показателей качества

автодорожной инфраструктуры выделено одно из важнейших направлений, связанное с использованием материалов дорожной химии (противогололедные реагенты, дорожные и гидрофобизирующие пропитки).

3. Для графического отображения системных исследований качества автотранспортной инфраструктуры была предложена адаптация диаграммы типа IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) с выделением функций и уточнением внутренних связей между ними. Анализ проводился по трём группам основных показателей качества верхнего уровня: качество жизни, качество инфраструктуры, качество автодорог.

4. В результате литературного анализа было показано, что на качество автодорог влияют следующие показатели: природно-климатические условия, уровень технологической культуры и интенсивность транспортной нагрузки. Также же было отмечено, что уровень технологической культуры зависит от своевременной обработки дорожного полотна и тротуаров материалами дорожной химии.

5. В публикациях к.т.н. Глушко показан сравнительный анализ факторов, влияющих на технологию содержания автодорог в РФ и ряде развитых стран мира с похожими климатическими условиями.

6. Для эффективной разработки и использования материалов дорожной химии выделено 2 комплекса работ:

- модернизация, разработанных в 2013 году к.т.н. Глушко А.Н. трех систем аналитического мониторинга (КМК-система противогололедных реагентов (ПГР); экологическая КМК-система влияния ПГР на объекты окружающей среды; КМК-система дорожных пропиток);

- разработка новых автоматизированных систем для противогололедных реагентов и пропиточных композиций (КМК-система геоэкологического мониторинга влияния ПГР на объекты окружающей среды; КМК-система гидрофобизирующих пропиточных составов для автотранспортной инфраструктуры; система автоматизированной разработки опытно-промышленного производства пропиточных составов для дорожных покрытий;

программный комплекс для автоматизированной разработки системы контроля и управления установкой получения дорожных пропиток).

7. Системные исследования позволили выделить многоуровневую кластерную архитектуру показателей качества рассматриваемых продуктов дорожной химии. Также была разработана модернизированная структура взаимосвязи каждого показателя с соответствующими методами аналитического контроля и аналитическим оборудованием на базе предложенного современного программного комплекса PDM STEP Suite (версия 5.7), соответствующего требованиям CALS-стандартов.

## **Глава 2 Модернизация автоматизированных CALS-систем компьютерного менеджмента качества и экологического мониторинга противогололедных реагентов**

Автоматизированные CALS-системы, разработанные для поддержки научных исследований, широко используются для мониторинга и управления качеством продукции в различных отраслях промышленности [39]. В последние годы наблюдался заметный прогресс в обновлении этих систем, особенно в области компьютерного менеджмента качества [40] и контроля окружающей среды при использовании противогололедных реагентов [41]. Чтобы обеспечивать информационную поддержку компьютерного менеджмента качества ПГР была улучшена автоматизированная CALS-система для химических противогололедных материалов [42]. В рамках подхода модернизации был проведен анализ ключевых аспектов для повышения эффективности и качества научных исследований.

Модернизация автоматизированных CALS-систем привела к существенному совершенствованию подходов к компьютерному управлению качеством и экологическому мониторингу химических противогололедных реагентов. Значительные результаты в области анализа данных и автоматизации технологических процессов стали возможными благодаря интеграции современных CALS-технологий, привели к оптимизации научной деятельности и обеспечению соответствия современным отраслевым стандартам и нормам.

### **2.1 Анализ разработки CALS-систем ПГР с помощью PDM STEP Suite**

Использование в химической промышленности CALS-технологий впервые предложили в ФГУП «ИРЕА», а в дальнейшем развитие их применения исследовалось в Научном центре «Малотоннажная химия» [43], что привело к разработке различных пилотных проектов, которые позволяют использовать их для различных областей науки и техники. Эти проекты одновременно решают

общие проблемы химической технологии и экологии, а также в других областях, таких как биотехнология [44], нанотехнология [45] и др. Среди этих пилотных проектов были и разработанные CALS-системы по компьютерному менеджменту качества ППР [46] и их экологическому мониторингу [47]. Все работы проводились в программном комплексе PDM STEP Suite. Основным преимуществом внедрения CALS на основе PDM STEP Suite является возможность сокращения времени и затрат на управление данными об изделиях на протяжении всего жизненного цикла продукции, что способствует повышению эффективности и конкурентоспособности компании [39].

В следующем разделе рассматриваются основные аспекты внедрения CALS-технологий на основе PDM STEP Suite, включая анализ требований и потребностей, а также выбор необходимых функций и инструментов.

### **2.1.1 Описание функционала PDM STEP Suite**

PDM STEP Suite – это передовое программное решение, разработанное для удовлетворения сложных потребностей инженерных и производственных компаний в управлении данными. Этот комплексный инструмент предоставляет широкий спектр возможностей и функций, которые облегчают пользователям управление данными об изделиях на протяжении всего жизненного цикла продукции. PDM STEP Suite разработан для интеграции с другими программными инструментами (рисунок 2.1), используемыми инженерными и производственными компаниями. Такая интеграция обеспечивает беспрепятственный обмен данными и управление ими в различных системах, снижая риск ошибок и дублирования данных [48].

Способность PDM STEP Suite поддерживать CALS-технологии делает его идеальным выбором для компаний, желающих внедрить эти стандарты [43]. Одним из ключевых преимуществ PDM STEP Suite являются возможности управления данными в системах автоматизированного проектирования (САПР). Программное обеспечение предоставляет инструменты для управления 3D-

моделями, 2D-чертежами и другими данными САПР, позволяя пользователям легко организовывать и совместно использовать инженерные данные [49]. Способность программного обеспечения управлять данными САПР очень важна для инженерных и производственных компаний, поскольку она позволяет им легко создавать и изменять проекты, обеспечивая разработку и производство продукции в соответствии с самыми высокими стандартами.

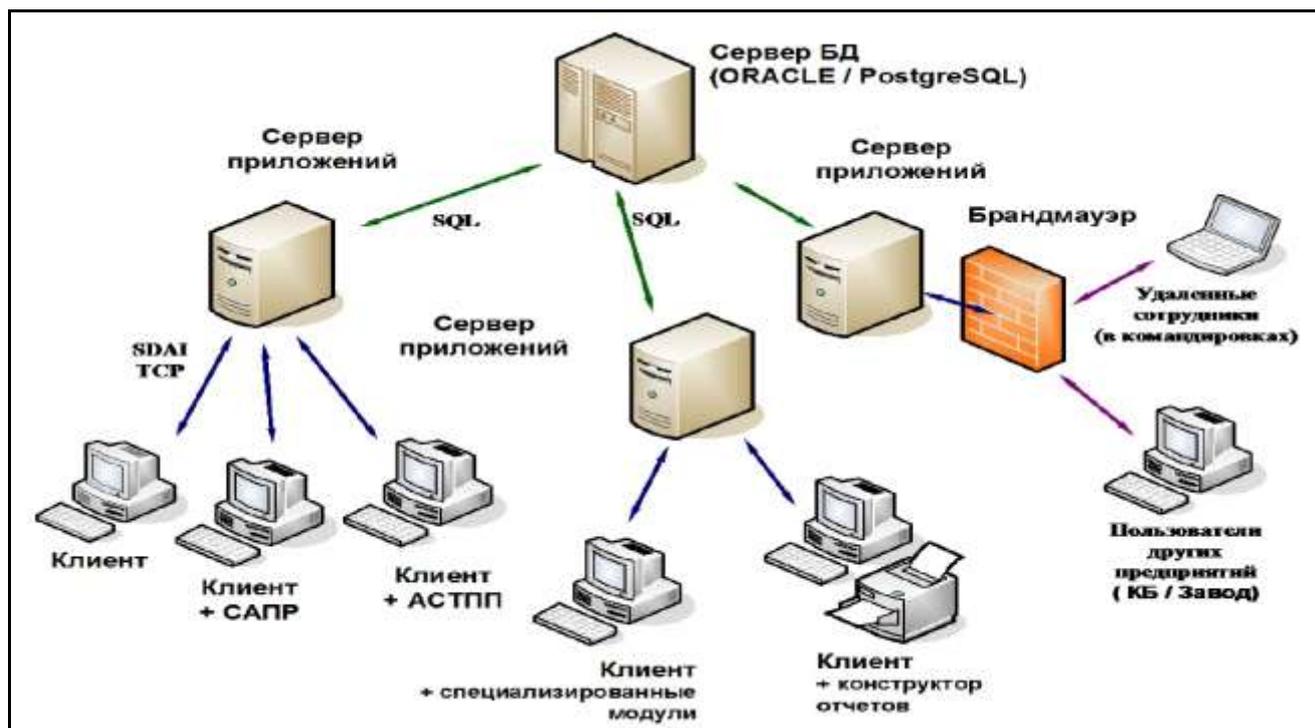


Рисунок 2.1 – Трехуровневая архитектура "Клиент-Сервер" в PDM STEP Suite

В дополнение к управлению данными САПР, PDM STEP Suite также предоставляет надежные возможности управления документами. Пользователи могут легко создавать, хранить и совместно использовать такие документы, как спецификации продукции, протоколы испытаний и руководства пользователя. Программный комплекс обеспечивает безопасную платформу для хранения и доступа к этим важным документам, гарантируя, что они всегда доступны, когда это необходимо [48].

Помимо комплексного функционала управления инженерными данными, PDM STEP Suite также включает в себя руководства по перемещению объектов,

которые необходимы для оптимизации процессов управления данными (рисунок 2.2). Руководства по перемещению объектов – это тип справочного материала, который помогает пользователям понять взаимосвязи между различными типами данных в PDM STEP Suite. Руководства по объектам обеспечивают четкое и краткое объяснение взаимосвязей между различными объектами в программном обеспечении [50]. Они помогают пользователям понять, как связаны данные, как они используются и как хранятся. Это особенно полезно на первоначальной стадии внедрения CALS-технологий, поскольку помогает пользователю быстро разобраться в системе и начать управлять данными более эффективно.

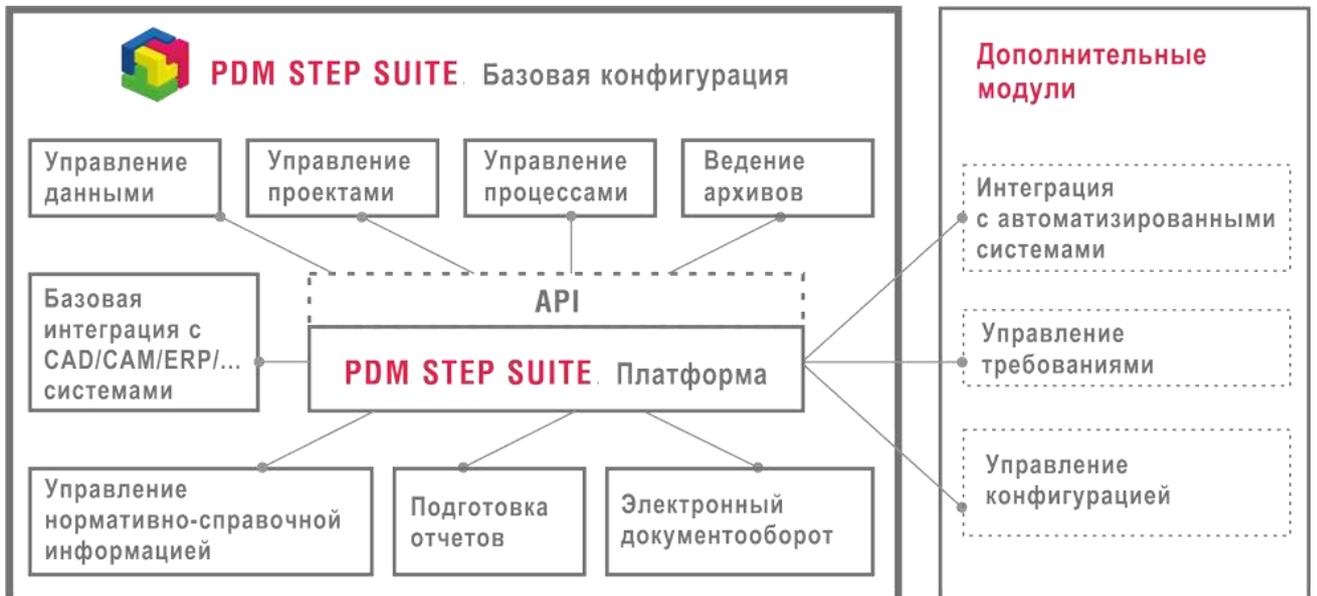


Рисунок 2.2 – Базовый функционал программного комплекса PDM STEP Suite

PDM STEP Suite также предлагает мощные возможности управления рабочими процессами. Эта функция позволяет пользователям автоматизировать процессы разработки продукции, сокращая количество ошибок и повышая эффективность [49]. Пользователи могут определять рабочие процессы, назначать задачи членам команды и отслеживать ход работ в режиме реального времени, обеспечивая своевременное завершение проектов в рамках бюджета.

PDM STEP Suite представляет собой систему управления данными об

изделии. В первую очередь она направлена на исчерпывающий сбор всей информации, касающейся изделия в интегрированной базе данных, разработанной для решения различных задач, а возможности интеграции и поддержка CALS-технологий позволяет решить проблемы сотрудников компании, эксплуатирующих данное изделие [51, 52].

Однако, чтобы извлечь максимальную пользу от применения PDM STEP Suite, необходимо переходить на новейшие версии инструмента. В разделе 2.1.2 рассматриваются цели и преимущества такого перехода с версии 1.7 (используется в диссертации Глушко А.Н. [28]) на более актуальную версию 5. Также в разделе описана наилучшая стратегия обновления автоматизированных КМК-систем противогололедных реагентов.

### **2.1.2. Преимущества перехода на современную версию PDM STEP Suite 5.7**

Развитие PDM STEP Suite с момента создания было отмечено значительным прогрессом в плане функций, возможностей и общего пользовательского опыта. При комплексном обзоре эволюции PDM STEP Suite подробно рассматриваются ключевые различия между двумя версиями, продемонстрированы инновации и усовершенствования, которые превратили PDM STEP Suite в ведущее решение для управления данными об изделии [52].

#### ***Пользовательский интерфейс***

Версия 1.7 имела базовый пользовательский интерфейс с ограниченными возможностями настройки, что затрудняло пользователям навигацию по программе. В результате пользователям требовалось длительное обучение, чтобы получить навыки работы с программой. Последняя версия 5, с другой стороны, представляет собой современный, интуитивно понятный и визуально привлекательный пользовательский интерфейс. Улучшенный дизайн включает в себя удобные меню, функциональность прямого переноса данных и настройки, а также настраиваемые приборные панели в соответствии с индивидуальными предпочтениями. Эти усовершенствования, ориентированные на пользователя,

снижают затрачиваемое время на обучение и повышают общее удобство использования, позволяя пользователям выполнять задачи более эффективно [49].

### ***Интеграция с CAD-системами***

Хотя версия 1.7 предлагала определенный уровень интеграции с CAD-программами, процесс часто был утомительным, а совместимость ограничивалась небольшим количеством CAD-систем. Такая ограниченная интеграция снижала производительность и увеличивала вероятность ошибок, возникающих при ручной передаче файлов. PDM STEP Suite Version 5 обеспечивает бесшовную интеграцию с популярными CAD-программами, такими как AutoCAD, SolidWorks и CATIA. Эта улучшенная интеграция позволяет пользователям получать доступ, управлять и манипулировать файлами CAD непосредственно из среды PDM. Благодаря оптимизации управления данными CAD последняя версия повышает производительность и минимизирует ошибки, связанные с ручной обработкой файлов [53].

### ***Управление рабочими процессами***

Версия 1.7 содержала базовые средства совместной работы и управления рабочими процессами, обеспечивая элементарную поддержку для обмена данными и управления проектными задачами. Эти ограниченные возможности затрудняли эффективную совместную работу команд. В отличие от этого, версия 5 предоставляет расширенные средства совместной работы, включая общее рабочее пространство, которое облегчает обмен данными между сотрудниками в режиме реального времени [54]. Кроме того, настраиваемые рабочие процессы и этапы утверждения позволяют предприятиям определять и оптимизировать процессы разработки продуктов, обеспечивая своевременное и эффективное завершение проектов. Эти усовершенствованные функции способствуют развитию командной работы, упрощают коммуникацию и повышают общий успех проекта.

### ***Внедрение CALS-технологий***

Версия PDM STEP Suite 1.7 имела ограниченную поддержку технологий CALS и стандартов данных, что ограничивало возможности обмена данными и

совместимость с другими системами [52]. В современной версии программного продукта полностью интегрированы технологии CALS, используются стандартизированные форматы данных, такие как ISO 10303 STEP (Standard for the Exchange of Product model data - стандарт обмена данными модели продукта) и ISO 13584 PLIB (**P**arts **L**IBrary - Библиотека деталей), что способствует эффективному обмену данными. Следование отраслевым стандартам обеспечивает бесшовную совместимость с другими системами, упрощая сотрудничество с партнерами, поставщиками и клиентами [48].

### ***Масштабируемость и облачные технологии***

Старая версия PDM STEP Suite была разработана в основном как локальное решение. Такой подход ограничивал доступность и масштабируемость программного обеспечения, поскольку организации были ограничены своей локальной инфраструктурой и ресурсами. В отличие от этого, последняя версия предлагает облачную архитектуру, позволяя пользователям безопасно получать доступ к данным об изделиях из любого места, где есть подключение к Интернету. Такой подход не только повышает производительность, но и обеспечивает масштабируемость, позволяя организациям расширять возможности управления данными по мере роста потребностей [55].

### ***Безопасность и защита данных***

Функции безопасности и контроля доступа в версии 1.7 были менее развитыми, с ограниченными возможностями ролевых разрешений и методов шифрования. Отсутствие функций безопасности подвергало чувствительные данные продукта потенциальному риску и несанкционированному доступу. В последней версии PDM STEP Suite достигнуты значительные успехи в области безопасности и контроля доступа. Версия 5 предлагает разноплановый контроль доступа, разрешения на основе ролей и стандартные методы шифрования, которые защищают конфиденциальные данные об изделии как на этапе разработки, так и в состоянии покоя [50]. Эти усовершенствования гарантируют, что только авторизованные пользователи могут получить доступ к определенным данным, снижая риск утечки данных и поддерживая их целостность.

### ***Производительность и стабильность работы***

Производительность и стабильность версии 1.7 были ограничены доступными на тот момент технологиями и инфраструктурой. В результате пользователи часто сталкивались с замедлением времени отклика, особенно при работе с большими и сложными наборами данных. PDM STEP Suite 5 использует преимущества современных технологий и облачной архитектуры, обеспечивая исключительную производительность и стабильность. Пользователи получают беспрепятственный доступ и быстрый поиск данных даже при работе с большими массивами данных [50]. Кроме того, постоянное развитие и оптимизация программного обеспечения обеспечивают его соответствие последним достижениям в области технологий.

Эволюция PDM STEP Suite с версии 1.7 до текущей версии 5 была отмечена значительными улучшениями в плане функций, удобства использования, интеграции, совместной работы, возможностей обмена данными, безопасности, производительности и поддержки клиентов. Эти усовершенствования превратили PDM STEP Suite в мощный и эффективный инструмент управления данными об изделии, что делает его бесценным активом для современных предприятий, ориентирующихся на все более сложный и конкурентный ландшафт [56]. Благодаря своим мощным функциям и гибкости PDM STEP Suite хорошо оснащен для удовлетворения постоянно меняющихся потребностей организаций всех размеров и отраслей.

В результате усовершенствований программного комплекса PDM STEP Suite с версии 1.7 до текущей версии 5, стало возможным автоматизировать многие рабочие процессы и задачи на предприятиях, особенно в отраслях, где требуется точность и эффективность управления данными об изделиях. Примером такой отрасли может служить производство и анализ противогололедных реагентов, где, разработанная Глушко А.Н. автоматизированная КМК-система ПГР [57], базирующаяся на PDM STEP Suite, является ключевым инструментом для обеспечения безопасности на дорогах в зимний период. Её необходимо модернизировать на основе актуальной версии PDM STEP Suite, что обеспечит ее

работу с более точными и актуальными данными. Это, в свою очередь, поможет гарантировать соответствие всех характеристик ПГР установленным нормам и требованиям.

Эффективность управления данными, достигнутая благодаря совершенствованию ПО PDM STEP Suite, оказывает значительное влияние на специализированные отраслевые решения, такие как автоматизированные системы управления качеством. Внедрение актуальной версии PDM STEP Suite предоставляет возможность интеграции расширенных функциональных модулей и оптимизации взаимодействия подсистем, что открывает новые возможности для разработки более надежных и комплексных инструментов контроля и прогнозирования. Одним из примеров практического применения является интегрированная автоматизированная система управления качеством противогололедных реагентов, которая рассматривается в следующем разделе

### **2.1.3 PDM STEP Suite в функциональной структуре интегрированной автоматизированной системы управления качеством ПГР**

Современные автоматизированные системы управления предоставляют предприятиям мощные инструменты для создания комплексных систем контроля качества. Такой подход не только способствует повышению производительности, но и укрепляет конкурентные позиции организаций, особенно в высокотехнологичных отраслях [58].

Одним из примеров эффективного применения таких систем является предложенная Егоровым А.Ф. функциональная структура интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ) [59] качеством химических материалов. Эта система включает четыре основные подсистемы (рисунок 2.3): контроля качества, сбора и хранения данных, прогнозирования и принятия решений. Она разработана для обеспечения стабильно высокого качества химико-технологических процессов, охватывающих также производство и использование ПГР [59].

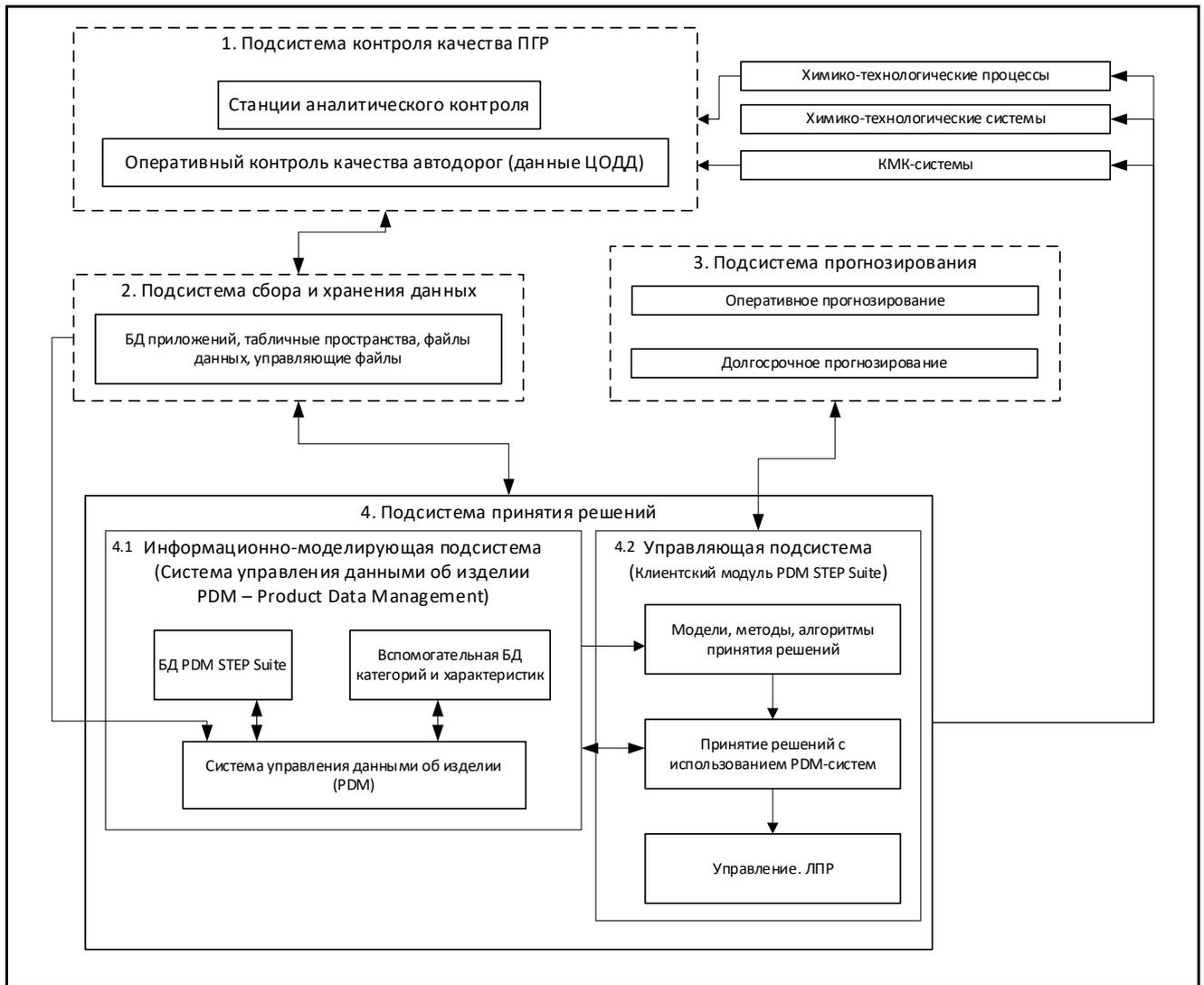


Рисунок 2.3 – Интегрированная автоматизированная система управления качеством химических материалов

Функциональный блок № 1 «подсистема контроля качества» (рисунок 2.3) отвечает за аналитический контроль параметров ПГР. В её функции входит организация работы по сбору информации по основным показателям качества ПГР с аналитических станций и государственных учреждений (ЦОДД, Департамент жилищно-коммунального хозяйства г. Москвы и др.). Эта подсистема тесно взаимодействует с химико-технологическими процессами и КМК-системами, обеспечивая их интеграцию в общий процесс управления качеством.

Функциональный блок № 2 «подсистема сбора и хранения данных» аккумулирует информацию из различных источников (в т.ч. из подсистемы

контроля качества ПГР) и в различных представлениях, таких как базы данных приложений, таблицы, файлы пространственных данных и управляющие файлы. Она организует обработку данных, создаёт архивы для долгосрочного хранения и анализа информации. Эти данные предоставляются всем функциональным модулям системы, обеспечивая доступность и оперативность работы.

На основе данных, собранных подсистемой хранения (функциональный блок № 3), формируются аналитические прогнозы. Это направление деятельности разделяется на краткосрочные прогнозы для оперативного анализа показателей качества ПГР и долгосрочные прогнозы, помогающие строить тренды и разрабатывать стратегии. Полученная аналитика играет ключевую роль в обеспечении качества процессов и предотвращении возможных отклонений [60].

Функциональный блок № 4 «подсистема принятия решений» является центральным элементом системы управления качеством. К этой подсистеме относятся автоматизированные процессы анализа и реагирования, которые повышают точность и оперативность управления. Подсистема состоит из двух модулей программного комплекса PDP STEP Suite (подсистемы 4.1, 4.2). Информационно-моделирующая подсистема (4.1) опирается на систему управления данными об изделии в рамках платформы PDM, поддерживая базы данных категорий и характеристик для создания моделей управления качеством. В управляющей подсистеме (4.2) реализованы методы и алгоритмы принятия решений, а также возможна разработка рекомендаций по корректировке значений показателей качества.

Взаимодействие подсистем формирует единую информационную среду. Подсистема контроля качества передает собранные данные в подсистему сбора и хранения данных, где они анализируются и становятся доступными для последующей обработки. Подсистема прогнозирования использует эту информацию для выработки рекомендаций, которые подсистема принятия решений применяет для оптимизации процессов [61]. Интеграция всех подсистем обеспечивает высокий уровень автоматизации управления качеством ПГР.

Современные подходы в области автоматизации контроля и управления

качеством основываются на интеграции передовых инструментов, таких как программный комплекс PDM STEP Suite. Чтобы перейти к следующему этапу, который связан с разработкой и эксплуатацией систем КМК-систем, необходимо не только перейти к обновлению программного обеспечения до актуальной стабильной версии (версия ПО PDM STEP Suite 5.7), но и адаптировать информационную структуру к новым требованиям и задачам. В следующем разделе более подробно рассматриваются основные этапы такой модернизации КМК-системы ПГР.

## **2.2 Модернизация автоматизированной КМК-системы ПГР на основе современной версии PDM STEP Suite 5.7**

Компьютерный менеджмент качества противогололедных реагентов (ПГР) – это инновационный и эффективный инструмент, который играет ключевую роль в обеспечении безопасности на дорогах в зимний период. Он предоставляет возможность оценить разнообразные характеристики ПГР и гарантировать, что они соответствуют всем установленным нормам и требованиям [62].

Продолжая работу над КМК-системой ПГР, было решено провести модернизацию автоматизированной системы на основе новой версии PDM STEP Suite 5. Однако, чтобы эффективно использовать новые возможности, необходимо более глубокое понимание информационной структуры, используемой при разработке данной системы. В следующем разделе более подробно рассмотрена, предложенная в диссертации Глушко А.Н. [31] архитектура КМК-системы ПГР на основе PDM STEP Suite 1.7.

### **2.2.1 Литературный анализ структуры КМК-системы ПГР на основе PDM Step Suite 1.7**

В работах [63, 64] рассматриваемые ПГР сгруппированы по химическим составам, которые представляют следующие 4 основные подкатегории (рисунок

2.4): хлориды (хлориды кальция, натрия, магния и ПГР на их основе); ацетаты (ацетаты аммония, калия, кальция и ПГР на их основе); карбамиды (мочевина, карбамидно-аммиачная селитра и ПГР на их основе); нитраты (нитраты кальция, магния и ПГР на их основе [65]. Кроме того, конкретные химические ПГР разделены на 2 подкатегории по фазовому составу: твердые и жидкие).



Рисунок 2.4 – Структура верхних уровней КМК-системы противогололедных материалов (анализируемые ПГМ-ПГР – показатели качества)

Каждый из занесенных в КМК-систему химических ПГР, оценивается по ряду показателей (рисунок 2.4), объединенных в четыре подкатегории: органолептические (внешний вид, цвет, запах), физико-химические (массовая доля растворимых солей, зерновой состав, температура начала кристаллизации, влажность, массовая доля нерастворимых в воде веществ, водородный показатель, плотность, динамическая вязкость), технологические (плавящая способность, гигроскопичность, слеживаемость) и экологические (коррозионная активность на металл, показатель агрессивного воздействия на цементобетон, удельная

эффективная активность естественных радионуклидов, допустимое содержание химических веществ, не относящихся к действующему веществу ПГР – водорастворимая форма фтора, валовое содержание цинка, свинца, никеля, меди, ртути, молибдена, кобальта, кадмия, хрома, селена, мышьяка) (рисунок 2.5). Нормы по этим показателям устанавливаются, исходя из особенностей применения ПГР для обработки дорожных покрытий [65].

Наименование показателей	Нормы		
	Песок	Щебень	Шлак
1. Зерновой состав, %, массовая доля частиц размером:			
- св. 10 мм	Не допускается	Не допускается	Не допускается
- св. 5 мм до 10 мм, не более	5	5	5
- св. 1 мм до 5 мм, не менее	75	80	80
- 1 мм и менее, не более	20	15	15
2. Модуль крупности	2,0-3,5	-	-
3. Массовая доля пылевидных и глинистых частиц, %, не более	3	3	5
4. Массовая доля глины в комках, %, не более	0,35	Не допускается	Не допускается
5. Массовая доля металлических примесей, %, не более	-	-	3
6. Марка по прочности, не менее	-	600	600
7. Влажность, %, не более	5	5	5
8. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более:			
для дорог и улиц в населенных пунктах	740	740	740
для внегородских дорог	1500	1500	1500

Рисунок 2.5 – Элемент CALS-проекта КМК-системы ПГМ (фрикционные ПГМ – нормы; ПГР – хлориды – ХКФтв – показатели качества)

Приведенный на рисунке 2.4 CALS-проект КМК системы ПГР разработан в 2013 году на основе версии 1.7. В контексте этого исследования ассортимент был введен в КМК-систему для объектов дорожного хозяйства г. Москвы (рисунок 2.5) и включал в себя противогололедные реагенты следующих марок (композиций основных действующих веществ на основе хлоридов и ацетатов): «ХКНж», «ХКНтв» (хлориды кальция и натрия в растворе и в твердой форме),

«МРТв», «МРКТв» (хлориды кальция, натрия, калия и формиат натрия в разных пропорциях), «КР2тв», «КР3тв» (хлорид натрия и формиат натрия в разных пропорциях в смеси с карбонатом кальция (фрикционной частью-мраморной крошкой)), «ХКМж» (раствор хлористого кальция модифицированный), «Антиснег-1» (раствор ацетата аммония), «Нордикс-П» (раствор ацетата калия), «ХКФтв» (хлористый кальций, ингибированный фосфатами) и «Биомаг» (хлористый магний модифицированный) [66].

Однако, для эффективного использования модернизированной версии КМК-системы необходимы еще и инструменты для группировки показателей качества и разработка автоматизированной справочной системы, которые отсутствовали в старой версии. В связи с этим, в следующем разделе мы рассмотрим обновленный функционал КМК-системы ПГР в новой версии PDM STEP Suite 5, включающий в себя создание справочников и группировку характеристик, что позволяет эффективнее оценивать и управлять качеством ПГР.

### **2.2.2 Обновленный функционал КМК-системы ПГР в версии PDM STEP Suite 5 (создание словарей и группировка характеристик)**

Версия 1.7 не включала такую значительную функцию, как настройка словарей и каталогов базы данных. Кроме того, следует отметить, что ключевым отличием новой обновленной КМК-системы стало использование обновленного функционала актуальной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7, которая позволяет группировать показатели качества в соответствующем словаре. Эта обеспечивает более строгий учет всех характеристик ПГР, которые используются при исследовании. В связи с этим, в рамках нового CALS-проекта была создана отдельная группа характеристик для каждой группы показателей качества (рисунок 2.6). Каждая группа характеристик включает показатели качества нижнего подуровня, которым автоматически формируется связь между требуемыми размерностью, описанием и наименованием [67].

В качестве примера рассмотрим экологические показатели, которые охватывают аспекты, связанные с воздействием ПГР на окружающую среду и

инфраструктуру дорог. Они включают коррозионную активность на металл, показатель агрессивного воздействия на цементобетон, удельную эффективную активность естественных радионуклидов и допустимое содержание химических веществ, не относящихся к действующему веществу ПГР. Эти показатели помогают определить, насколько безопасны противогололедные реагенты для окружающей среды, структурных материалов и людей.

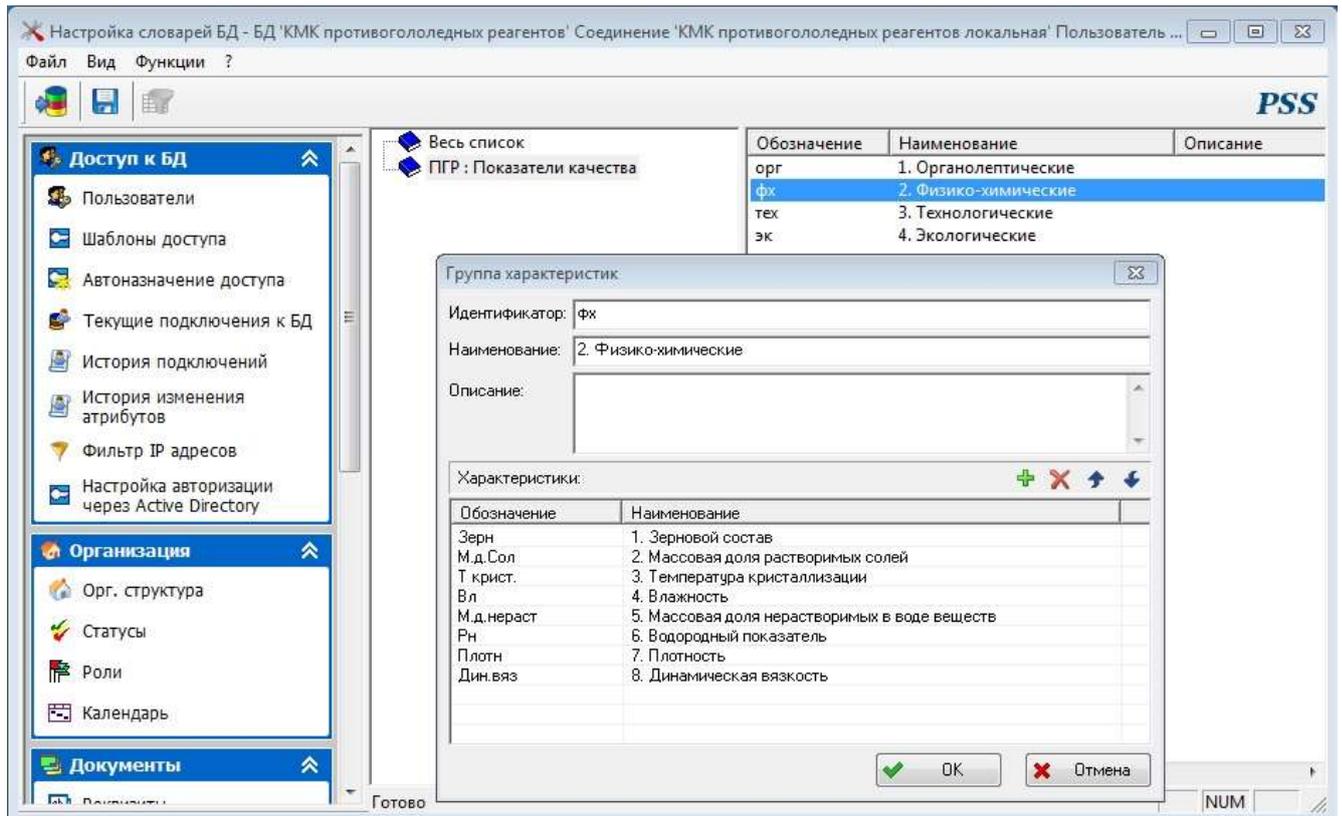


Рисунок 2.6 – Структура базы данных модернизированной КМК-системы противогололедных реагентов (группировка показателей качества)

Нормы для каждого из этих показателей устанавливаются на основе специальных исследований, проведенных с целью определения оптимальных параметров ПГР для обработки дорожных покрытий. Важно учесть, что нормы могут варьироваться в зависимости от региона и климатических условий, что делает необходимым проведение анализа исходных данных перед установкой норм [68].

В пользовательском интерфейсе новой версии программы PDM STEP Suite

можно внести изменения в словарь параметров и показателей. Пользователь также имеет возможность их сгруппировать, что облегчает использование программы (рисунок 2.7). Эта функция позволяет пользователям настраивать программу в соответствии с конкретными условиями и требованиями, что приводит к увеличению скорости обработки информации.

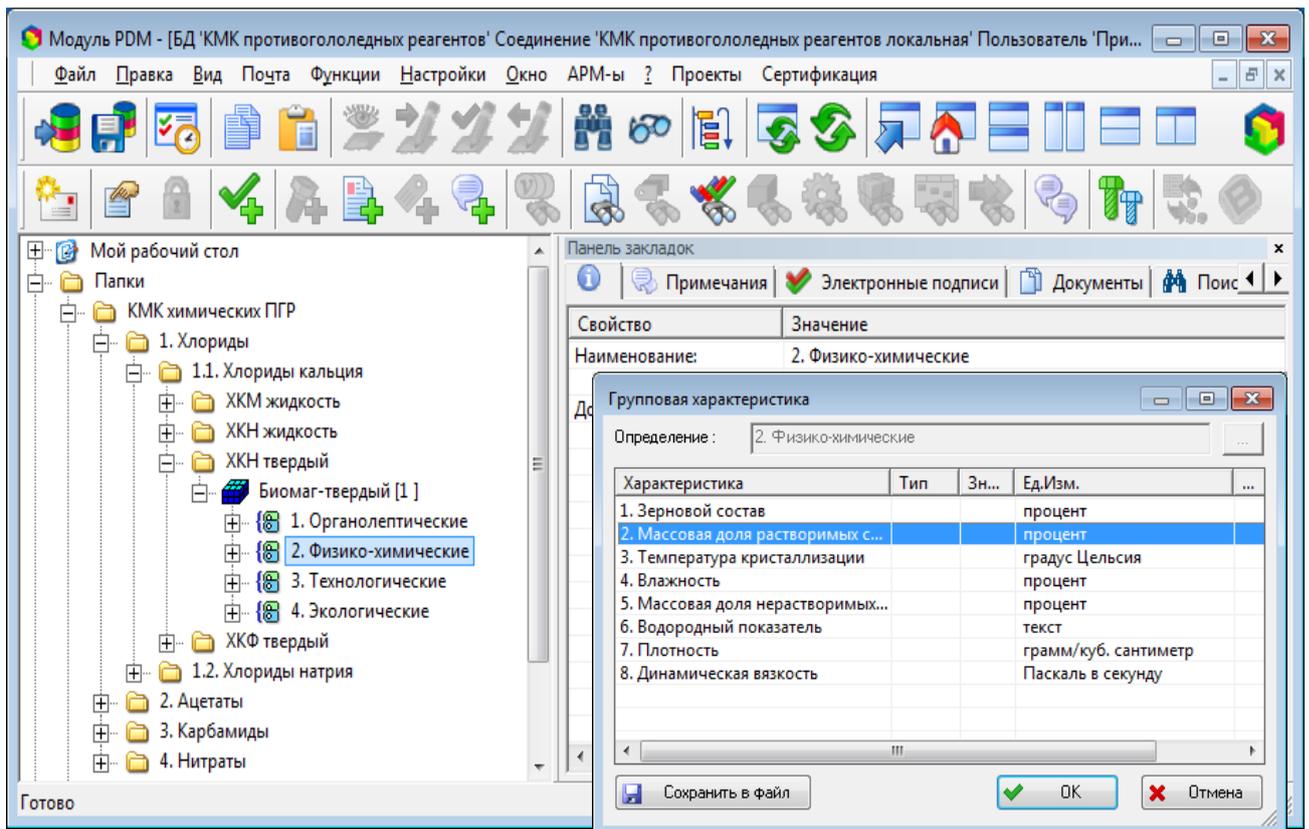


Рисунок 2.7 – Элемент CALS-проекта модернизированной КМК-системы «физико-химические показатели» ПГР на основе хлорида кальция

В то же время использование справочников и словарей в программе PDM STEP Suite 5.7 позволяет значительно сократить время процесса актуализации информации по показателям качества. Кроме того, это позволяет редактировать словари в базе данных. Функция группировки параметров и показателей в новой версии программы облегчает процесс анализа данных и повышает эффективность компьютерного управления качеством и экологического мониторинга химических противогололедных реагентов.

Таким образом, пользователи могут легко настраивать параметры и

показатели в базе данных, учитывая специфику и требования, как для конкретного региона, так и для конкретной марки ПГР. Кроме того, функция группировки параметров и показателей качества в новой версии PDM упрощает процесс анализа и обработки данных.

В результате этого, пользователи могут самостоятельно настроить параметры и показатели в базе данных. Они могут сделать это с учетом уникальных характеристик и конкретных требований как конкретного региона, так и конкретной марки ПГР. Кроме того, функция группировки параметров и показателей качества в новой версии PDM имеет эффект упрощения процесса анализа и обработки данных.

Действительно, пользователи могут легко настроить параметры и индикаторы в базе данных, принимая во внимание особенности и требования, как для конкретной области, так и для конкретной марки PGR. Кроме того, функция перегруппировки параметров качества и индикаторов в новой версии PDM имеет эффект упрощения анализа данных и процесса обработки.

Для автоматизации аналитического мониторинга химических ПГР была разработана система управления процессами, которая подразумевает использование новых словарей и группировку данных для каждого показателя качества. В следующем разделе более подробно рассматриваются особенности управления процессами в модернизированной CALS-системе.

### **2.2.3 Внедрение системы управления процессами для совершенствования аналитического мониторинга химических ПГР**

Внедрение CALS-технологий позволяет автоматизировать различные алгоритмы процесса управления качеством: анализ данных, их преобразование и формирование выходной документации [69]. Эти сложные алгоритмы позволяют применять современные подходы к управлению качеством. Кроме того, CALS-технологии могут способствовать принятию решений на основе данных, полученных в режиме реального времени.

Модернизация информационной системы CALS-системы должна включать

внедрение передовых средств анализа и визуализации данных. Эти инструменты обеспечивают более полное понимание получаемых данных, позволяя оператору принимать обоснованные решения [70]. Визуализация данных облегчает электронный документооборот и взаимосвязь между сотрудниками, что в конечном итоге повышает эффективность процесса управления качеством [71].

Управление качеством включает в себя мониторинг, анализ и улучшение качества продукции или услуг, предлагаемых организацией [72]. Этот процесс генерирует огромное количество данных, которые необходимо отслеживать, анализировать и доводить до сведения различных заинтересованных сторон в организации. С появлением инструментов визуализации данных этот процесс стал гораздо более упорядоченным и эффективным. Представляя данные в визуальном формате, становится легче выявить тенденции, отклонения и закономерности, которые могли бы остаться незамеченными в традиционном отчете. Это помогает сотрудникам быстро принимать обоснованные решения, повышая скорость процесса управления качеством [73].

В следующих разделах на примере анализа качества формиатного ПГР проведено сравнение КМК-системы, разработанной Глушко А.Н. в 2013 г. [74] с модернизированной системой, в которой с учетом возможности управления процессами существенно упростилась работа пользователя. Кроме комбинированное использование аналитической методики и инструментов управления (визуализация данных) улучшает процесс управления качеством.

### **2.2.3.1 Литературный анализ КМК-системы формиатных ПГР в версии 1.7**

Глушко А.Н. в своей работе представил разработку нового формиатного ПГР, на основании которой «была создана и реализована в КМК-системе аналитическая методика количественного анализа формиатов с относительной суммарной погрешностью результата анализа, соответствующей высокоточным характеристикам титриметрических методов» (рисунок 2.8) [28].



Рисунок 2.8 – Системные исследования при разработке новых формиатных ПГР

В рамках оценки химических ПГР (в т.ч. и формиаты), занесенных в КМК-систему, используется ряд показателей, объединенных в четыре подкатегории: органолептические, физико-химические, технологические и экологические. Нормы, связанные с этими показателями, определяются в соответствии с особенностями применения ПГР для обработки дорожных покрытий. Для физико-химического кластера в КМК-систему были внесены следующие показатели: массовая доля растворимых солей, зерновой состав, температура начала кристаллизации, влажность, массовая доля нерастворимых в воде веществ, водородный показатель, плотность и динамическая вязкость [65, 75].

Для количественной оценки формиатов щелочных металлов в противогололедных реагентах «рекомендуется титриметрический способ. Этот способ позволяет определить содержание формиатов щелочных металлов в реагентах от 1,0 до 50,0 % (рисунок 2.9), а также полное содержание в них хлорида кальция и хлоридов щелочных металлов» [28].

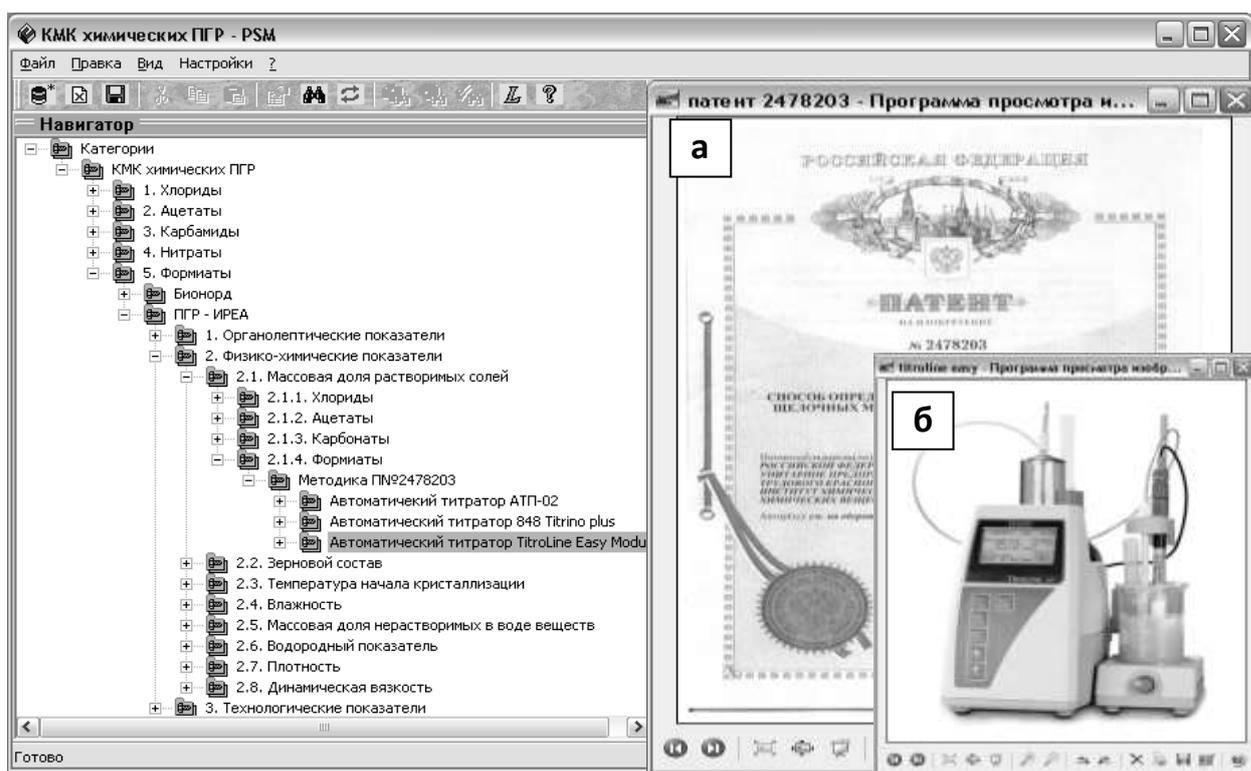


Рисунок 2.9– КМК-система ПГР. Физико-химические показатели – определение формиатов (а - патент на способ определения формиатов; б – титратор TitroLine)

Титриметрия «включает обработку водного раствора анализируемой пробы щелочным раствором брома, имеющим концентрацию брома  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , с добавлением ледяной уксусной кислоты до рН менее 1, выдерживание анализируемой пробы при комнатной температуре, последующее добавление к ней солянокислого раствора йодида калия и титрование пятиводным раствором тиосульфата натрия с концентрацией  $0,1 \text{ моль/дм}^3$  до слабо-жёлтой окраски, последующее добавление  $0,5 \%$ -ного водного раствора крахмала и титрование до полного обесцвечивания» [76].

Исследование определения содержания формиатов щелочных металлов в противогололедных реагентах и их результаты (патент № 2478203 от 27.03.2013г.) актуальны для оптимизации системы компьютерного менеджмента качества [76]. В рамках модернизации автоматизированной CALS-системы был добавлен процесс, описывающий аналитический метод «Методика № 2478203 для определения формиатов щелочных металлов. Этот этап модернизации описывается в следующем разделе.

### 2.2.3.2 Модернизация КМК-системы форматных ПГР в версии 5.7

В рамках модернизации системы компьютерного менеджмента качества в программном модуле PDM STEP Suite версии 5 для каждого показателя нижнего подуровня создается отдельный технологический процесс. Для этого в CALS-системе предусмотрена возможность создания и редактирования такого объекта как «бизнес-процесс». Например, для определения физико-химического показателя «массовая доля растворимых солей» в CALS-проект был добавлен процесс, описывающий аналитический метод «Методика №2478203» (рисунок 2.10). Данная методика относится к области аналитической химии, а именно к способу количественного определения формиатов щелочных металлов в противогололедных реагентах, дополнительно содержащих хлориды кальция и щелочных металлов [76].

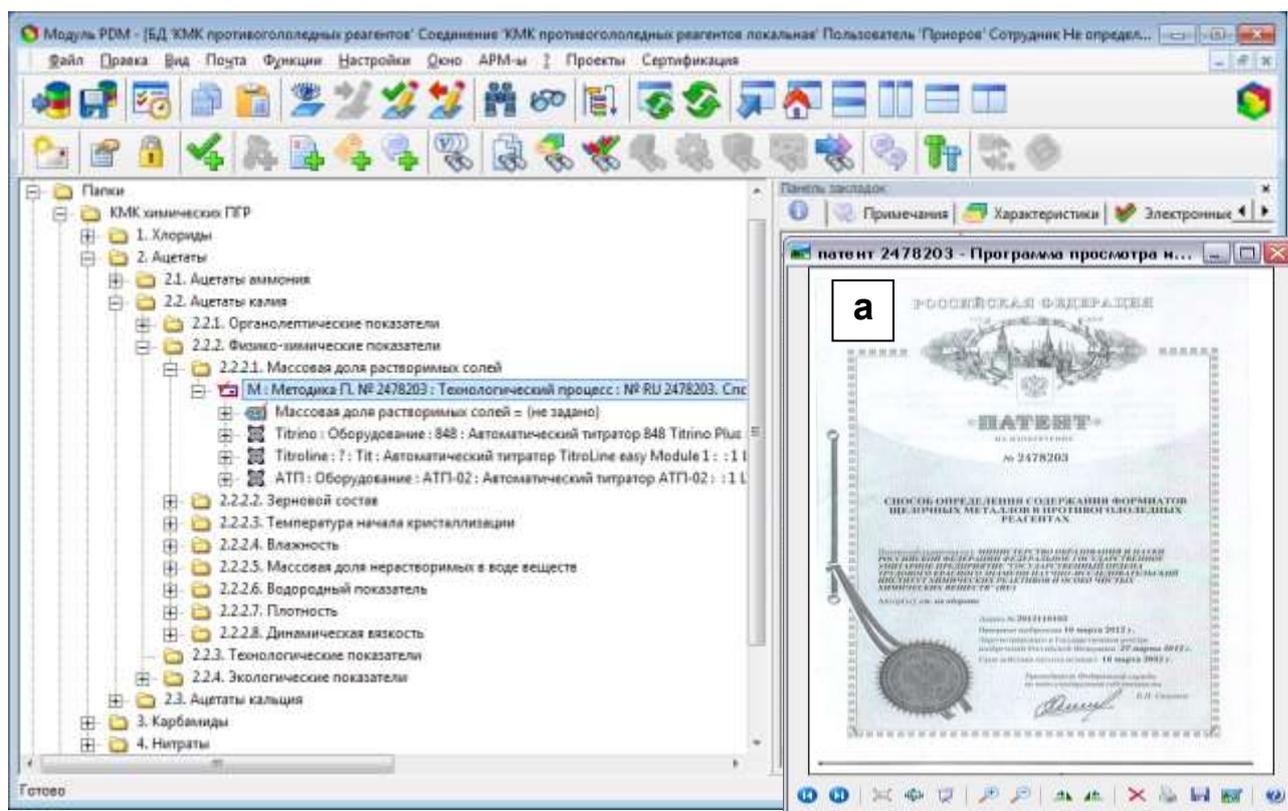


Рисунок 2.10 – CALS-проект модернизированной КМК-системы и управления процессом «Методика определения массовой доли растворимых солей» (а – патент №2478203)

Проектирование бизнес-процессов – важнейший аспект организационного управления, включающий систематический анализ, оптимизацию и внедрение бизнес-процессов для повышения эффективности, результативности и общей производительности. Управление аналитическими процессами подразумевает создание визуальных представлений существующих рабочих процессов, отражающих последовательность действий, роли и задействованные ресурсы [77]. Этот шаг позволяет организациям получить четкое представление о текущих процессах, выявить эффективность и определить области для улучшения. Углубленный анализ процессов может помочь организациям определить ключевые показатели качества в рамках их рабочих процессов [78].

Один из этапов модернизации автоматизированной КМК-системы ПГР – это реализация нового функционала программного обеспечения (ПО) для управления бизнес-процессами, который включает в себя следующую необходимую информацию для выполнения процессов: управляемые подпроцессы, требуемые характеристики, роли участников процесса и др. Разработка и реализация такого функционала является одним из этапов проектирования бизнес-процессов, который обеспечивает систематический подход к повышению эффективности и результативности проводимых работ. В следующем разделе более детально рассматривается этот этап и его составляющие.

#### **2.2.4 Модернизация КМК-системы ПГР с использованием функционала управления бизнес-процессами**

Класс «Бизнес-процесс» включает в себя набор всех необходимых данных для его выполнения: управляемые подпроцессы, требуемые характеристики, требуемые для выполнения ресурсы, роли участников процесса и др. Ресурсы, поддерживающие научный процесс, включая технологические инструменты, исследовательские методики и сети совместной работы, играют важнейшую роль в развитии знаний, инноваций и прогресса.

### 2.2.4.1 Применение функционала управления бизнес-процессами для разработки типовых форм выходной документации

Этапы проектирования бизнес-процессов - определение потребностей и целей организации, анализ, проектирование и разработка процессов, внедрение и управление изменениями, а также мониторинг и оценка - обеспечивают систематический подход к повышению эффективности и результативности организации [79].

Также, для каждого показателя качества в модернизированную КМК-систему добавлены все необходимые характеристики. Так, при работе в информационной системе работник может не только получить данные о требуемых показателях качества, но и вести учет промежуточного анализа, составлять отчетность с указанием конкретных полученных данных в ходе каждого этапа, включенного в данную методику.

На рисунке 2.11 изображен пример создания бизнес-процесса «Методика № 2478203».

Версия бизнес-процесса

**БИЗНЕС-ПРОЦЕСС**

Свойства | Характеристики | Документы | Электронные подписи

Обозначение: M Код:

Наименование: Методика П. № 2478203

Тип: Технологический процесс

Описание: № RU 2478203. Способ определения содержания форматов щелочных металлов в противогололедных реагентах

Владелец:  Метка:

Элементы:

№	Обозначение	Наименование	Описание

Контексты:

OK Отмена

Рисунок 2.11 – интерфейс CALS-проекта «настройка бизнес-процесса»

При создании нового процесса необходимо заполнить данные в форме программы: обозначение (краткое уникальное обозначение процесса), наименование процесса (полное наименование процесса), тип процесса (выбирается из набора данных, ранее занесенных в систему; в данном случае нас интересует тип «технологический процесс»).

В случае делегирования обязанностей по контролю и управлению процессом другому лицу необходимо указать его в графе «Владелец». В таблице «Элементы» следует указать все ресурсы, задействованные в данном проекте. Это могут быть данные об изделии, данные о необходимом оборудовании, расходные материалы, нормативная документация и другие. Необязательные для заполнения поля «код», «метка» и «контекст» нужны для ввода отличительных параметров при занесении в CALS-систему нескольких проектов с одинаковым набором данных, но с разными версиями (например, при возобновлении ранее завершенного проекта, при разработке нескольких смежных проектов или при копировании ранее созданного проекта, но с небольшими корректировками).

Рассмотрим пример с одним из важнейших физико-химических показателей качества - массовой долей растворимых солей. Для её учета в КМК-системе была создана дополнительная характеристика и указана единица измерения (рисунок 2.12). В дальнейшем, все характеристики для каждого типа ПГР можно объединить в группу характеристик. Это поможет оптимизировать работу с информационной системой путем пакетного ввода и вывода всех задействованных параметров.

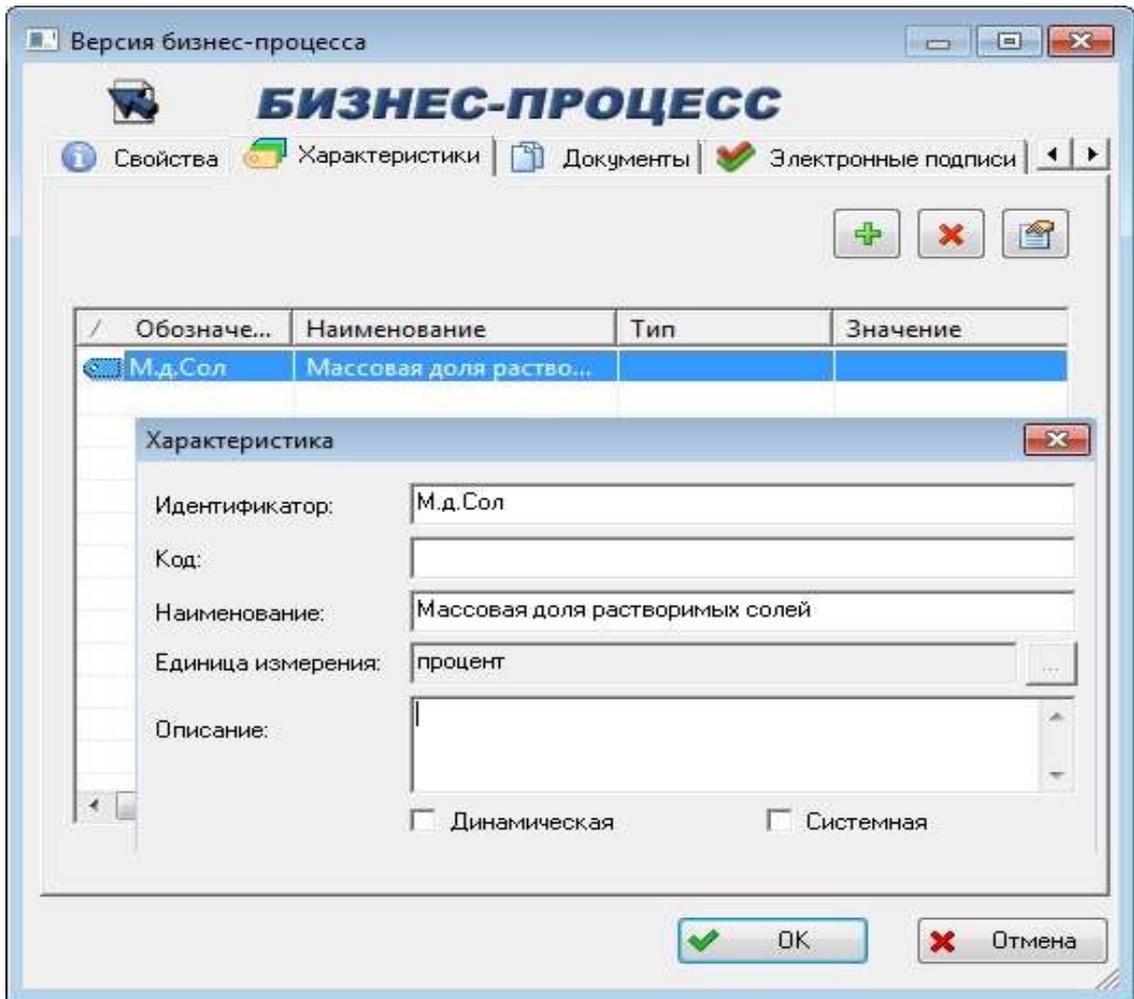


Рисунок 2.12 – Создание новой характеристики и настройка единицы измерения

На рисунке 2.12 более подробно показано окно редактирования бизнес-процесса – вкладка «Характеристики». Во вкладке «Характеристики» указываются все необходимые параметры, которые будут задействованы в данном проекте. Это могут быть исходные данные, требуемые значения или же вычисляемые параметры. Стоит учесть, что выбор характеристик осуществляется из словаря базы данных CALS-проекта. При необходимости занесения в бизнес-процесс недостающей характеристики её первоначально нужно создать в корневой базе данных.

На примере бизнес-процесса для методики № 2478203 (рисунок 2.12) необходимой характеристикой является определяемая массовая доля растворимых солей. В системе она обозначена кратким идентификатором «М.д.Сол», с указанной единицей измерения – процент.

Для информационной поддержки данного аналитического метода в КМК-систему добавлено несколько единиц оборудования, с указанием их параметров и наличия в аналитической лаборатории предприятия (рисунок 2.12). Также в КМК-системе предусмотрен учет используемых и требуемых приборов. Это нужно для отслеживания в режиме реального времени статуса задействования оборудования.

Рисунок 2.13 иллюстрирует завершённый проект бизнес-процесса для методики № 2478203. В дополнение к измеряемой характеристике «массовая доля растворимых солей» в рассматриваемом бизнес-процессе определяется необходимое оборудование, которое доступно для организации. Следует отметить, что для этой методики подходят три прибора: Titrino, Titroline и АТП-02. При работе с бизнес-процессами информация доступна при каждом входе в проект ресурса, включая оборудование.

Таким образом, для каждого 3-х приборов работник может получить доступ к конкретным данным, таким как полное наименование, тип оборудования (компьютер, стационарное оборудование, сборочная единица, портативный прибор, запасное оборудование, комплекс и т.п.), исходное количество, получаемое количество (в случае необходимости выделения дополнительных ресурсов или указания потребности в выделении для проекта некоторого количества расходного сырья), приоритете выбора и сортаменте (совокупности сортов, видов и других характеристик однородных изделий). В случае, если единица конкретного технологического оборудования используется в контексте других аналитических испытаниях, химик-технолог имеет возможность представить запрос в CALS-системе, чтобы идентифицировать существующие аналоги (Рисунок 2.13 -а, б).

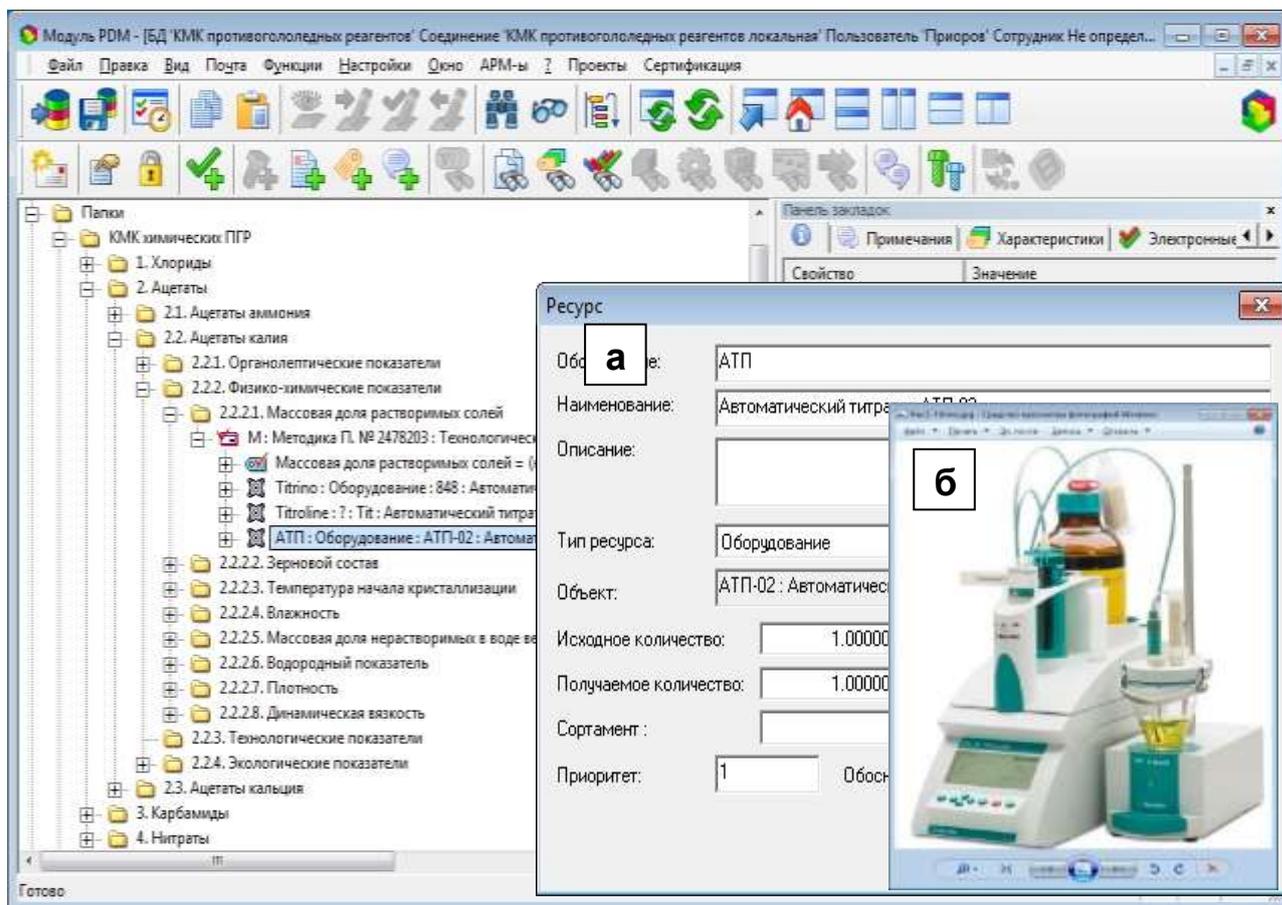


Рисунок 2.13 – Элемент CALS-проекта «подбор аналитического оборудования для указанной методики» (а – окно с параметрами выбранного оборудования, б – фотография титратора АТП)

В новой версии PDM STEP Suite автоматизированной КМК-системы ПГР предусмотрен учет используемых приборов. Эта функция позволяет отслеживать статус задействования оборудования в режиме реального времени. Одним из примеров использования модернизированной КМК-системы для управления процессами является анализ плавящей способностью ПГР, рассмотренный в следующем разделе.

#### 2.2.4.2 Применение функционала управления процессами для анализа характеристики «Плавящая способность» в КМК-системе ПГР

Автоматизированная КМК-система предоставляет ряд функциональных возможностей, помогающих организациям управлять процессами менеджмента

качества. К ним относятся: контроль соответствия производимой продукции заявленным характеристикам, контроль входной и выходной документации, управление корректирующими и предупреждающими действиями, управление аудитами. Благодаря централизации всех этих функций на единой платформе (PDM STEP Suite), организации могут улучшить качество выпускаемой продукции и предлагаемых услуг, а также обеспечить последовательность всех действий, связанных с технологическими процессами [80].

Одной из важнейших характеристик интенсивности воздействия ПГР на ледяной покров автодорог является его плавящая способность. Нами проведено сравнение компьютерного анализа этой характеристики в работе Глушко А.Н. 2015 года [81] (версия 1.7) с анализом этой же характеристики на основании модернизированной КМК-системы.

#### **2.2.4.2.1 Литературный анализ характеристики «Плавящая способность» в КМК-системе ПГР**

В работе Глушко А.Н. детально рассмотрен процесс систематизации исследований, связанных с разработкой «новой методики оценки плавящей способности ПГР. Используемая методика основана на построении кривых замерзания в системе координат. Массовая доля ПГР – температура начала кристаллизации для водных растворов ПГР с концентрацией от 1% до 25%. Эти кривые устанавливаются для любой заданной температуры в диапазоне от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ » [28]. В этом контексте процесс регистрации кривых замерзания автоматически выполняется с использованием специализированного устройства, направленного на определение начальной точки кристаллизации разбавленных растворов. Измерения проводятся при атмосферном давлении в пределах (84,0-106,7) кПа и температуре окружающей среды от 20 до  $30^{\circ}\text{C}$  [28].

Определение плавящей способности выполняется на автоматизированной установке, которая включает в себя криотермостат с электронным блоком управления, измерительную ячейку с высокоточным термометром сопротивления

и металлической мешалкой, а также измеритель-регулятор температуры (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Разработка аналитической методики определения плавающей способности противогололедных реагентов

Определение плавающей способности противогололедных реагентов является важным шагом в оценке их эффективности в предотвращении образования и накопления льда. Измеряя способность плавления льда, депрессию точки замерзания и эффективность при различных условиях, исследователи и специалисты отрасли могут получить полное представление об эффективности противогололедных реагентов [28]. Эта информация имеет неоценимое значение для выбора наиболее подходящего средства для конкретного применения и условий, что в конечном итоге способствует повышению безопасности и эффективности эксплуатации в холодное время года.

Учитывая имеющиеся наработки, связанные с переходом на современную версию PDM STEP Suite 5.7 была разработана CALS-система для определения плавящей способности ПГР, включающий в себя рекурсивное управление проектами. Таким образом, при создании нового проекта в него входит не только одна из предложенных методик и сопровождающая группа характеристика, а также более подробное описание каждого этапа методики. Отсюда, каждый этап рассматривается как подпроект нижнего уровня.

#### 2.2.4.2.2 Модернизация КМК-системы ПГР для анализа характеристики «Плавающая способность»

При модернизации CALS-системы компьютерного менеджмента качества технологических показателей ПГР (в т.ч. плавающая способность) рассматриваемая методика была обозначена в качестве «родительского» проекта. В качестве зависимых проектов нижнего подуровня были определены 3 основные стадии данного аналитического метода: разбавление, термостатирование и определение температуры (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15– модернизированная иерархическая структура проекта в КМК-системе «определение плавящей способности ПГР»

Для каждого проекта нижнего уровня в КМК-систему занесено все необходимое оборудование и приборы. При реализации CALS-проекта системы компьютерного менеджмента качества в программном продукте PDM все необходимое оборудование с учетом доступных аналогов целевого прибора описано как элемент «ресурс» (рисунок 2.16). Это позволит химику-аналитику легко выбрать нужное и доступное в данный момент оборудование, а также обеспечит учет задействованных приборов в режиме реального времени.

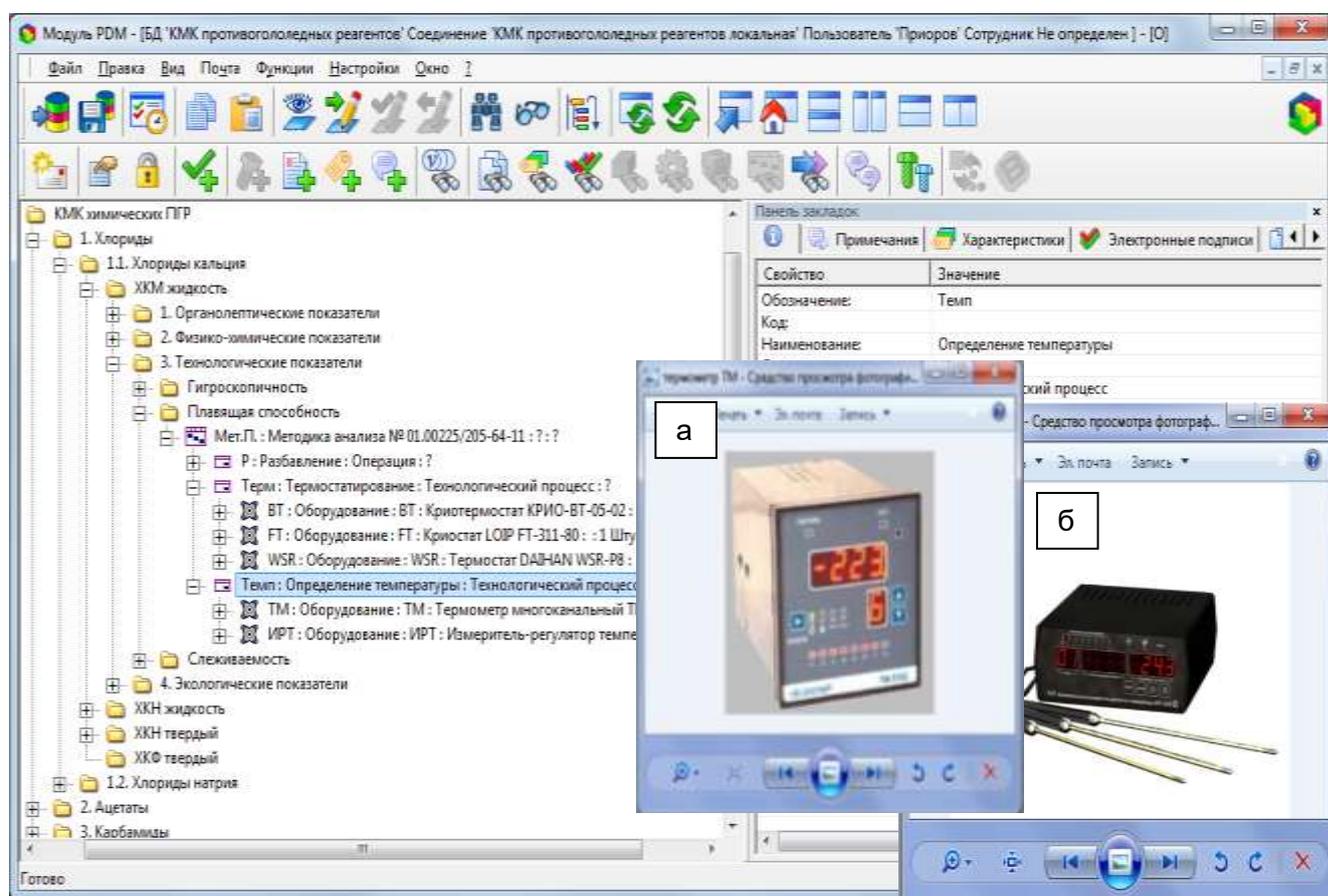


Рисунок 2.16 – элемент CALS-проекта модернизированной КМК-системы ПГР (а – многоканальный термометр ТМ 5103; б – определитель температуры ИРТ-4)

Одним из основных преимуществ использования автоматизированной системы управления проектами для аналитического мониторинга является возможность отслеживать ход работ в режиме реального времени. Это позволяет руководителям проектов выявлять потенциальные проблемы на ранней стадии и принимать корректирующие меры до того, как они станут серьезными

проблемами. Например, если проект отстает от графика, система может предупредить менеджера проекта, который затем может предпринять шаги по решению проблемы до того, как она повлияет на общие сроки проекта [82].

Еще одним преимуществом использования автоматизированной системы управления проектами для аналитического мониторинга является возможность отслеживать расходы и бюджет проекта. Система может автоматически собирать данные, связанные с расходами по проекту, такие как затраты на закупку оборудования, стоимость оборудования и материалов (рисунок 2.16). Затем эти данные могут быть проанализированы для выявления областей, где затраты могут быть сокращены или где проект рискует превысить свой бюджет [83]. При наличии правильной автоматизированной системы управления проектами организации могут повысить эффективность проектов, сократить расходы и более эффективно достигать поставленных целей [84].

Эффективность автоматизированной КМК-системы ПГР может быть значительно повышена при помощи реализации обновленного функционала PDM версии 5. Одним из примеров такой модернизации может быть КМК-система экологического мониторинга влияния противогололедных реагентов на окружающую среду, описанная в следующем разделе. Эта система позволяет проводить комплексные мероприятия по минимизации экологической нагрузки на основные объекты окружающей среды и использовать наиболее безопасные реагенты.

### **2.3 Модернизация автоматизированной КМК-системы экологического мониторинга противогололедных реагентов**

Проблема использования противогололедных реагентов (ПГР) в городах становится в настоящее время все более актуальной. Обработка улиц и объектов дорожного хозяйства при помощи противогололедных реагентов является неотъемлемой частью обеспечения безопасности дорожного движения и предотвращения зимнего травматизма городской среде [8]. Однако, влияние

противогололедных реагентов на городскую окружающую среду является неоднозначной, так как они могут оказать неблагоприятное влияние на экосистему и городскую инфраструктуру, а также негативно воздействовать на водоемы, атмосферный воздух и здоровье людей [85].

В связи с этим, для уменьшения негативных последствий на окружающую среду, необходимо использовать наиболее безопасные реагенты и проводить комплексные мероприятия по минимизации экологической нагрузки ПГР на основные объекты окружающей среды [86]. Для решения этих задач была разработана информационная CALS-система для экологического мониторинга и оценки воздействия ПГР на объекты окружающей среды.

### **2.3.1 Актуализация нормативной документации при модернизации CALS-системы экологического мониторинга ПГР**

В 2013 году под руководством Глушко А.Н. была разработана информационная CALS-система [28] оценки экологического воздействия ПГР на окружающую среду. В качестве категорий верхнего уровня (рисунок 2.17) были выбраны основные объекты окружающей среды: снежный покров и водные объекты (категория № 1); почвенный покров (№ 2); зеленые насаждения (№ 3) и атмосферный воздух (№ 4).

При модернизации автоматизированной CALS-системы экологического мониторинга противогололедных реагентов были актуализированы нормативные документы для оценки воздействия ПГР на окружающую среду [65]. Так, на смену устаревшим гигиеническим нормативам, на втором уровне иерархической структуры CALS-проекта добавлены актуальные на данный момент нормативы СанПиН 1.2.3685-21 от 28 января 2021 года N 2 (рисунок 2.17) [81].

Санитарные правила и нормы СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» – это санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации образовательной деятельности [87].

Документ был утвержден приказом Роспотребнадзора от 28 января 2021 года и вступил в силу с 1 сентября 2021 года.



Рисунок 2.17 – Структура экологического мониторинга ПГР (влияние ПГР на объекты окружающей среды)

СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Этот нормативный документ регулирует условия жизнедеятельности населения, обеспечивая минимально допустимые требования к состоянию окружающей среды. В документе устанавливаются требования к качеству воздуха внутри помещений, качеству воды, питьевой воде, продуктам питания, а также к вредным факторам окружающей среды, таким как шум, вибрация, электромагнитные поля и другие [88].

СанПиН 1.2.3685-21 также содержит рекомендации по проведению санитарно-эпидемиологических мероприятий и контролю за состоянием окружающей среды, направленных на «предотвращение заболеваний и улучшение качества жизни населения. Нормативный документ определяет минимальные гигиенические требования к условиям и факторам окружающей среды, с которыми сталкивается человек в повседневной жизни» [89]. Он является важным инструментом для охраны здоровья населения и поддержания безопасных и здоровых условий жизни.

На нижнем уровне CALS-системы экологического мониторинга размещены основные группы физико-химических показателей для каждого типа рассматриваемых противогололедных реагентов. Это связано с необходимостью отдельной оценки воздействия большого объема основных компонентов противогололедных реагентов и потенциально опасных примесей на окружающую среду. К этим показателям относятся водородный показатель (значение pH дорожного остатка противогололедных реагентов), массовая доля нерастворимых в воде веществ, массовая доля примесей, массовая доля растворимых солей, индекс агрессивного воздействия (коррозионная активность по отношению к осадкам противогололедных реагентов на стали), удельная эффективная активность естественных радионуклидов. Анализируя эти показатели, можно оценить потенциальное воздействие противогололедных реагентов на окружающую среду и принять необходимые меры для минимизации негативных последствий [65].

Помимо установления минимальных гигиенических требований к применяемым ПГР, существует и другой аспект, который важен для сохранения и улучшения состояния окружающей среды. Это информационные системы, которые позволяют контролировать и анализировать состояние окружающей среды. В этом контексте можно рассмотреть пример модернизации автоматизированной CALS-системы для экологического мониторинга, которая использует индикаторы качества для характеристики воздействия на окружающую среду. Модернизация CALS-системы при переходе с версии PDM

STEP Suite 1.7 на версию 5.7 может повысить ее эффективность и точность, что существенно для мониторинга состояния окружающей среды.

### 2.3.2 Модернизация CALS-системы экологического мониторинга при переходе на PDM STEP Suite 5.7

Информационная CALS-система (PDM STEP Suite 1.7) экологического мониторинга, разработанная Глушко А.Н. в 2013 году, представлена на рисунке 2.18 [28]. Более подробно показаны элементы CALS-проекта для подкатегории № 1.1. «Хлориды». В рассматриваемой подкатегории, в свою очередь, выделено 3 подкатегории 2-го уровня, представляющие собой наименования химических веществ – основных компонентов ПГР: Хлориды кальция, магния и натрия.

Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности	Класс опасности
<b>Обобщенные показатели</b>				
Водородный показатель,	единицы рН	в пределах 6 - 9		
<b>Неорганические вещества</b>				
Кадмий (Сд, суммарно)	мг/л	0,001	с.-д.	2
Медь (См, суммарно)	мг/л	1,0	-.-	3
Мышьяк (Аз, суммарно)	мг/л	0,05	с.-д.	2
Фториды (F)				

Рисунок 2.18 – Элемент CALS-системы экологического мониторинга в PDM STEP Suite 1.7

Для каждого соединения в систему занесены 6 индикаторов качества,

характеризующих степень воздействия ПГР на выбранный объект окружающей среды [28]: массовая доля растворимых солей (подкатегория № 1), массовая доля нерастворимых в воде веществ (№ 2), водородный показатель (№ 3), удельная эффективная активность естественных радионуклидов (№ 4), массовая доля примесей (№5) и коррозионная активность на металл (№6) [65].

Для модернизации CALS-системы экологического мониторинга ПГР за основу были взяты имеющиеся 4 основных экологических кластера: снежный покров и водные объекты, почвенный покров, зеленые насаждения, атмосферный воздух (рисунок 2.19).

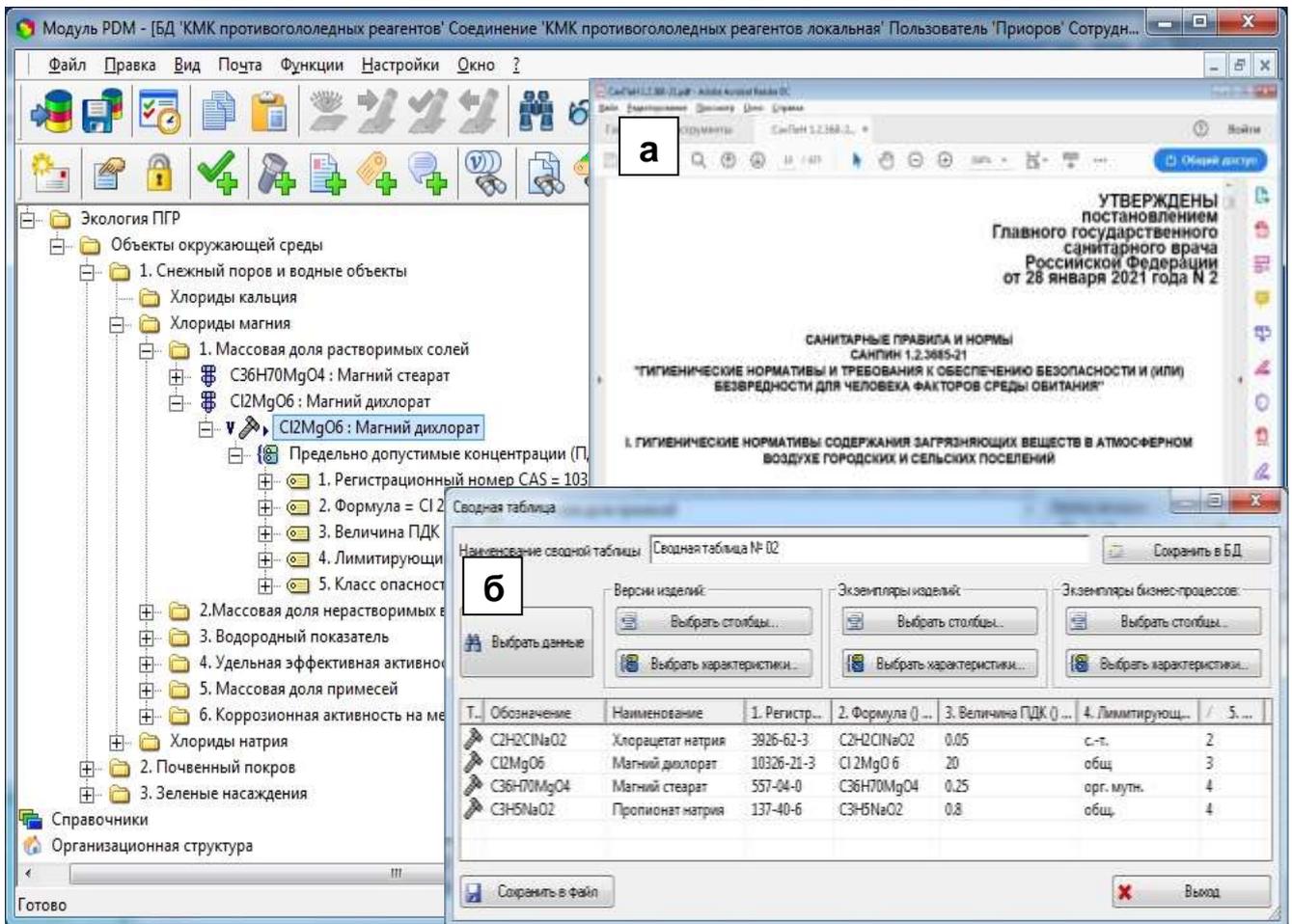


Рисунок 2.19 – Модернизированная CALS-система экологического мониторинга ПГР

Для каждого типа ПГР в модернизированную информационную систему добавлено 5 базовых показателей качества нижнего подуровня: регистрационный

номер CAS (согласно международной номенклатуре химических соединений), формула рассматриваемого химического соединения, величина ПДК, лимитирующий показатель согласно санитарно-токсикологическим нормативам, и класс опасности вещества (рисунок 2.19). Все эти показатели представляют собой табличные данные, указанные в действующем СанПИН (рисунок 2.19-а). Для удобства работы с CALS-системой экологического мониторинга ПГР в систему локального документооборота были добавлены все необходимые нормативные документы. Это позволило ускорить процесс обработки данных из входной документации.

Также в модернизированном CALS-проекте экологического мониторинга стало возможным проводить сбор и анализ данных в табличном виде для формирования отчетной документации. То есть в результате пользовательского запроса система предоставляет сводную таблицу. Например, при сравнении различных ПГР на основе натрия и магния, система автоматически сопоставляет выбранные ПГР с табличными данными из входной документации (СанПИН). В сгенерированной сводной таблице (рисунок 2.19–б) каждому ПГР сопоставлены величины ПДК для примесных компонентов, которые отсортированы по возрастанию.

Таким образом, химик-технолог может использовать модернизированную CALS-систему как для выбора и анализа ПГР по химическому составу. Также появилась возможность прогнозирования экологических рисков, связанных с попаданием примесных компонентов в придорожные объекты окружающей среды с учетом их дальнейших химических преобразований [90].

Одним из самых вредных для окружающей среды компонентов (вносимых ПГР) являются радионуклиды. В диссертационной работе Глушко А.Н. [28] не было проведено подробное рассмотрение этого фактора. Поэтому в следующем разделе мы в качестве примера экологического мониторинга с помощью модернизированной CALS-системы рассмотрим автоматизированные исследования содержания радионуклидов в ПГР и окружающей среде.

### **2.3.3 Разработка элемента CALS-системы по экологическому мониторингу содержания радионуклидов в ПГР и в объектах окружающей среды**

На сегодняшний день задачи экологического мониторинга связаны с четырьмя видами наиболее распространённых загрязняющих веществ: тяжёлые металлы, галогенорганические соединения, полиароматические углеводороды и радионуклиды. Поскольку радионуклиды представляют для окружающей среды наибольший вред, им в нашей работе уделяется основное внимание [65].

Попавшие в почву радионуклиды со временем рассредоточиваются в 30-ти сантиметровом слое и не преобразовывают её физико-химическую структуру и состав [92]. В почве радионуклиды включаются в различные процессы, среди которых наибольшее значение имеют сорбция и миграция.

Помимо этого, радионуклиды вступают в физико-химические реакции взаимодействия с почвенным поглощающим комплексом, образуют растворимые и нерастворимые соли, коллоидные соединения, что сопровождается трансформацией форм этих соединений и изменением миграционной подвижности и биологической доступности для корневых систем растений, а также усваиваются микроорганизмами, находящимися в почве [93]. Спустя некоторое время после выпадений на земную поверхность, поступление радионуклидов в растения из почвы становится ведущим способом попадания их в пищу животных и человека.

Для проведения аналитического мониторинга радионуклидов существуют различные методы, которые позволяют определять концентрацию радионуклидов в объектах окружающей среды. В следующем разделе рассматриваются преимущества и недостатки различных методов, а также описывается выбор того или иного метода в зависимости от конкретной задачи и условий проведения мониторинга.

### 2.3.3.1 Основные методы аналитического мониторинга радионуклидов

В экологическом мониторинге радионуклидов наиболее распространены следующие методы: альфа-спектрометрия с предварительным радиохимическим анализом, селективным выделением нуклидов и изготовлением источников, пригодных для измерения (этот метод особенно часто применяют для измерения активности плутония, америция, кюрия); гамма-спектрометрия (как правило, для диапазона энергий 20 – 2000 кэВ [65]).

Радиационный мониторинг в основном проводится с помощью автоматизированных систем в трёх режимах – повседневном, повышенной готовности и аварийном. Такие системы представляют собой сложные комплексы оборудования, включая стационарные, передвижные наземные, надводные и воздушные комплексы радиационного контроля.

Но существуют и методы экспрессного радиационного контроля в полевых условиях, которые подразумевают использование переносных дозиметров и спектрометров, но дозиметры фиксируют лишь характер излучения и его общую мощность (экспозиционной дозы), в то время, как спектрометры позволяют измерить концентрацию определённых радионуклидов в объектах окружающей среды, хотя по количеству определяемых параметров уступают оборудованию автоматизированных систем [65].

Разрабатываются также методы дистанционного контроля радиационной обстановки, среди которых существуют прямые (регистрируется непосредственно интенсивность и спектр излучения) и косвенные (по изменениям, наблюдающимся в окружающей среде под воздействием излучения, в том числе, биоиндикация). Недостатком прямых методов является их недостаточная чувствительность при мониторинге, проводимом с больших расстояний (например, из космоса). Косвенные же методы позволяют оценить воздействие ионизирующего излучения традиционными средствами на поверхность океанов, приземные слои атмосферы и т.д.

Отдельным методом радиационного мониторинга является радоновый

метод, при котором проводится измерение концентрации радона в атмосфере или в почвенном воздухе. При использовании этого метода измеряется либо мгновенная концентрация этого газа, либо накопленная в течение некоторого времени. Для этого применяются специальные радоновые детекторы и эманометры.

Следует также учитывать, что со временем радионуклиды, как и прочие загрязняющие вещества, мигрируют в почве к её нижним слоям (глубина проникновения некоторых нуклидов может достигать 1 метра, но наибольшая их концентрация, как правило, сосредоточена в верхних 10 см). С целью определения скорости их миграции, «возраста» загрязнения и полноценного определения дозы излучения необходимо изучать распределение радионуклидов вдоль вертикального профиля почвы [94]. Для этого проводится отбор образцов почвы (в специальные цилиндрические пробоотборники) на разной глубине с последующим измерением гамма-активности выбранных радионуклидов в лабораторных условиях. При этом пробоотбор следует проводить в местах, где почвенный покров не подвергается водной или воздушной эрозии, а также отсутствуют обратные процессы (наносы нового почвенного покрова). Это позволяет получить репрезентативные результаты не только для точки отбора, но и для прилегающей территории [65].

При создании CALS-проекта экологического мониторинга радионуклидов при применении ПГР в базу данных были добавлены следующие используемые аналитические методы (рисунок 2.20): альфа-спектрометрия, гамма-спектрометрия и радиометрический метод. Для каждой методики в CALS-систему также была добавлена вся необходимая нормативная документация (рисунок 2.20-а): методические руководства, требования к проведению анализа по определению удельной активности радионуклидов и другие.

Так, определение радионуклида цезий-137 в почвах регламентирует ГОСТ Р 54038-2010 (рисунок 2.20 -а). Метод, указанный в данном документе, основан на измерении гамма-активности данного радионуклида с помощью гамма-спектрометра с полупроводниковым или сцинтилляционным детектором. При

этом место отбора проб предварительно определяется с помощью дозиметра. Помимо нуклида цезий-137, наиболее опасными для живых организмов считаются изотопы стронций-90, церий-144, хлор-36 [65].

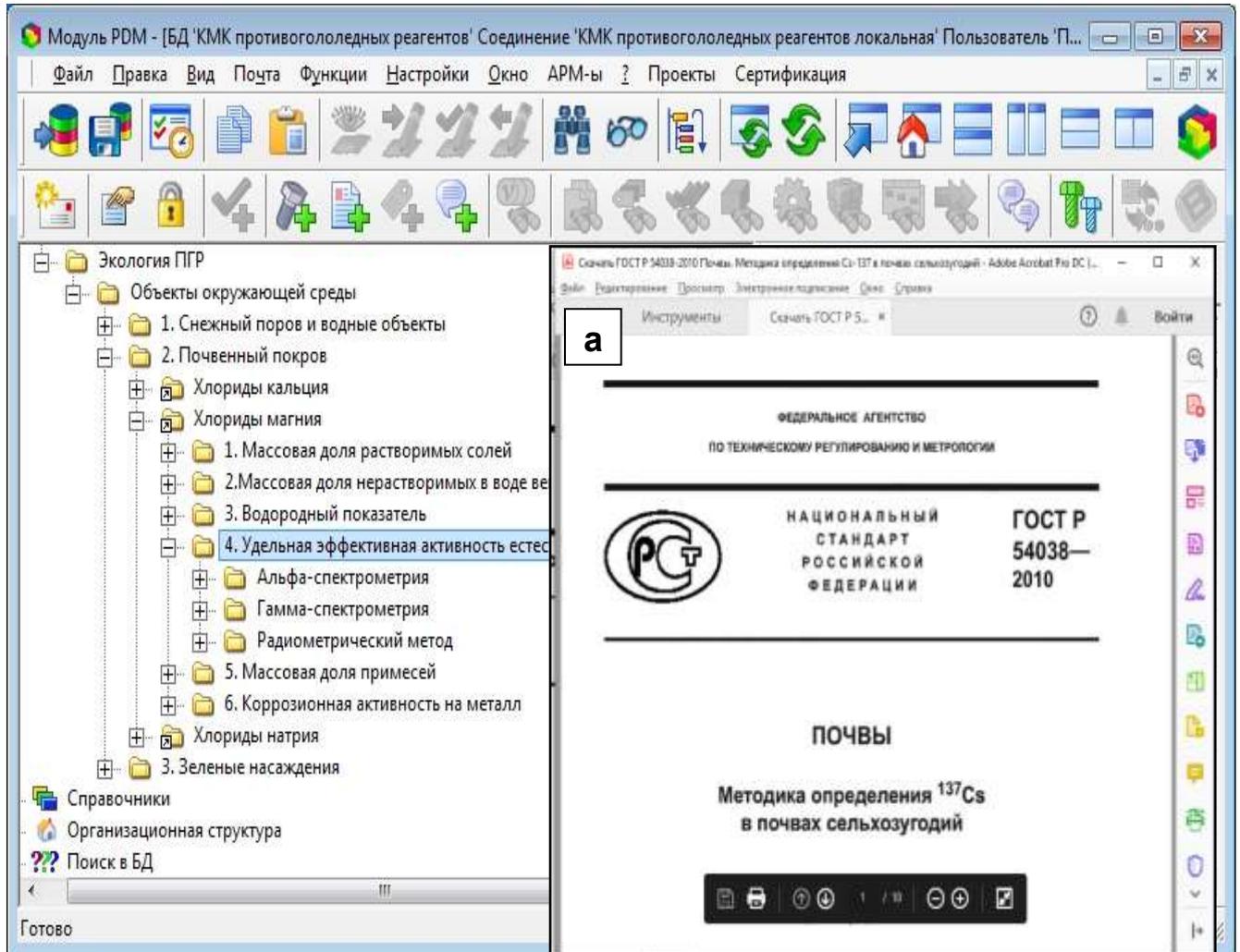


Рисунок 2.20– элемент CALS-проекта «удельная эффективная активность радионуклидов» (а – ГОСТ Р 54038-2010)

Перед началом проведения аналитического мониторинга для получения наиболее достоверных результатов каждую пробу ПГР усредняют. Далее происходит отбор небольшой навески, из которой уже готовится раствор необходимой концентрации, для дальнейших испытаний. Параллельно с этим проводится контроль тех показателей, которые не требуют предварительной пробоподготовки. К ним относится и удельная эффективная активность естественных радионуклидов, которая является важнейшим показателем качества

противогололедных реагентов [65].

Успешным примером экологического мониторинга является радиационный анализ противогололедного реагента СБГ (средство борьбы с гололедом) [91]. СБГ – это реагент, который раньше поставлялся в Москву для зимнего содержания дорог. Основная партия этого продукта сильно отличалась от пробной. В СБГ обнаружили набор тяжелых металлов и превышение практически вчетверо концентрации радионуклида К40. К тому же реагент практически не работал: медленно растворялся и начинал плавить лед на дорогах, превращаясь в скользкую грязь, в самый неподходящий момент – под колесами во время интенсивного движения машин. Повторные экспертизы показали, что в СБГ высокое содержание нерастворимого осадка неопределенного состава, из-за которого он плохо работает и опасен для окружающей среды и человека. На данный момент использование этого реагента запрещено [65].

Стоит отметить, что радиационный мониторинг является лишь частью комплексного мониторинга. Последний проводится по множеству экологических показателей, в частности, рассчитывается комплексный показатель загрязнения. При этом учитываются такие факторы, как специфика источников загрязнения, комплексное воздействие химических и радиоактивных загрязнителей (с учётом особенностей воздействия на живые организмы каждого из них) и т.д. [65].

В следующем разделе рассматривается экологический мониторинг радионуклидов как следствие загрязнения объектов окружающей среды от использования ПГР.

### **2.3.3.2 Разработка CALS-системы мониторинга содержания радионуклидов в объектах окружающей среды**

Для снижения негативных последствий применения ПГР проводится экологический мониторинг состояния объектов окружающей среды по 4-м важнейшим экологическим кластерам: снег и водные объекты, почвенный покров, зеленые насаждения и атмосферный воздух [42]. В результате проведенного

системного анализа разработана архитектура CALS-системы для оценки экологического воздействия ПГР на окружающую среду [65].

Необходимо отдельно рассматривать воздействие на окружающую среду большого объема основных компонентов ПГР и сопутствующих им наиболее потенциально опасных примесей. На рисунке 2.21 представлен элемент модернизированного CALS-проекта для подкатегории № 1.1. «Хлориды».

The screenshot shows a software application window titled 'Модуль PDM - [БД 'КМК противогололедных реагентов' Соединение 'КМК противогололедных реагентов локальная' Пользователь 'П...'. The interface includes a menu bar, a toolbar, and a project tree on the left. The tree lists various environmental objects, with 'Радиометрический' selected. On the right, a Word document displays a table of monitoring parameters for soil samples, labeled 'а'.

**Таблица 1: Параметры приповерхностных проб грунта**

Номер пробы (точки отбора)	1	2
Координаты точки отбора, град.: широта	55,640425	55,641231
долгота	37,687841	37,688662
Высота пробы, см	6	
Диаметр пробы, см	14	
Масса, г	1167	904
Плотность пробы, г/см <sup>3</sup>	1,264	0,979
МЭД гамма-излучения, мкЗв/ч на высоте 0,1 м на высоте 1,0 м	0,37	0,14
	0,24	0,15
Плотность потока бета-излучения у поверхности, част./(см <sup>2</sup> ·мин)	2,5±1	<1

**Таблица 2: Результаты оценки удельной активности радионуклидов в пробах грунта**

Номер пробы	Удельная активность радионуклида в пробе, Бк/кг			Эфф. удельная активность, Д <sub>экв</sub> , Бк/кг
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	
1	150±30	64±20	370±90	270
2	<5	64±23	390±80	120

Рисунок 2.21 – элемент CALS-проекта «результаты мониторинга содержания радионуклидов в почве» (а – результаты пробоотбора сотрудниками ИБРАЭ РАН)

Для оценки удельной эффективной активности радионуклидов на участках отбора проб в CALS-проект были занесены расчетные данные, определяющие суммарную активность радионуклидов в грунте. Данные были получены в ходе исследования Института биофизики имени А.М.Иштаркова РАН радиоактивного

загрязнения грунта на участке строительства юго-восточной хорды гор. Москвы [92]. Предварительная спектрометрическая разведка в местах выявленных аномалий «проводилась путем измерения спектров гамма-излучения на уровне почвы за период 300-600 секунд, по результатам оперативно оценивалось наличие повышенного содержания радионуклидов  $^{232}\text{Th}$  или  $^{226}\text{Ra}$ » (рисунок 2.21-а) [92].

Для измерения мощности дозы гамма-излучения и плотности потока бета-частиц на поверхности грунта, как указывает Арон Д.В., использовались «дозиметры-радиометры ДКС-96С (№Д972) с блоками детектирования БДВГ-96(№Д208) и БДКС-96с (№Д430), а также переносной спектрометр МКС-АТ6101С (№32791-14) с блоком детектирования БДКГ-11 (№10425), который также использовался для предварительного спектрометрического анализа грунта на месте» [92].

Данное исследование является ключевым компонентом в разработке автоматизированной СALS-системы мониторинга содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, предназначенной для противогололедных реагентов. Также исследование позволяет определить концентрацию радионуклидов в почве и других объектах окружающей среды, а также выявить их источники. Это позволяет установить уровень экологической нагрузки, вызванной использованием противогололедных реагентов.

На основе данного исследования возможно осуществлять мониторинг радионуклидов в почве, что является важным шагом в защите окружающей среды от вредного воздействия радиоактивных веществ. Благодаря этому мониторингу можно своевременно выявлять возможные источники загрязнения и принимать необходимые меры для его устранения.

Результаты показали, что средняя активность радионуклидов не превышает предельно допустимых значений и составляет менее 70 Бк/кг (рисунок 2.21-а). В то же время, в нескольких точках отбора проб были выявлены места повышенной активности радионуклидов, превышающей уровень фона на 2-3 порядка.

При рассмотрении показателя качества № 4 «удельная эффективная

активность естественных радионуклидов» показано, что воздействие каждого радионуклида на окружающую среду и на живые организмы, в частности, различно. Так, поглощённая доза зависит от средней энергии ионизирующего излучения радионуклида, передаваемого объекту, а для различных видов излучения введены взвешивающие коэффициенты. Поэтому на сегодняшний день наиболее распространены методы, при которых проводится оценка воздействия конкретных радионуклидов, а не совокупного излучения. Тем не менее, в некоторых случаях нормативные требования предписывают определение суммарного воздействия нуклидов, являющихся источниками какого-либо вида излучения (например, альфа-) [65].

На основании проведенных измерений и анализа данных были сделаны выводы о том, что автодорожная инфраструктура в данной местности не представляет значительной угрозы для радиационной обстановки в окружающей среде. Однако, было рекомендовано провести дополнительные исследования на участках с выявленными радиационными аномалиями для оценки потенциальной опасности и принятия мер по ее устранению [93].

Таким образом, CALS-система мониторинга содержания радионуклидов в объектах окружающей среды, созданная на базе данного исследования, является необходимым инструментом для контроля загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами, вызванным использованием противогололедных реагентов.

## **Выводы по главе 2**

1. Литературный анализ работ к.т.н. Глушко А.Н. показал, что система компьютерного менеджмента качества противогололедных реагентов предлагает автоматизированный подход к оценке и контролю качества ПГР, обеспечивая более высокий уровень безопасности на дорогах зимой. Использование такой системы позволяет упростить процесс мониторинга качества реагентов, сократить время на анализ и уменьшить вероятность ошибок, связанных с человеческим

фактором.

2. При модернизации, разработанной под руководством к.т.н. Глушко А.Н., КМК-системы ПГР показано, что путь программного комплекса PDM STEP Suite с версии 1.7 (в работах Глушко А.Н.) до текущей версии 5 был отмечен значительным прогрессом в плане функций, возможностей и общего пользовательского опыта. При комплексном обзоре эволюции PDM STEP Suite подробно рассмотрены ключевые различия между двумя версиями, продемонстрированы инновации и усовершенствования, которые превратили PDM STEP Suite в ведущее решение для управления данными об изделии

3. Был проведен сравнительный анализ обновленного функционала программного продукта PDM STEP Suite версии 5 и его преимущества по сравнению с версией 1.7. Были выявлены ключевые преимущества новой версии программного обеспечения, которые играют важную роль в модернизации КМК-системы. В результате было показано, что PDM STEP Suite версии 5 предоставляет более широкие функциональные возможности, лучшую производительность и безопасность, более простой интерфейс и лучшую совместимость с различными форматами файлов, что делает ее более эффективным инструментом управления жизненным циклом продукции по сравнению с версией 1.7.

4. При анализе КМК-системы ПГР в версии PDM Step Suite 1.7 было выявлено, что система, созданная Глушко А.Н., не позволяет унифицировать показатели качества и характеристики для создания специализированных словарей и справочников. Поэтому КМК-система ПГР содержит множество показателей для оценки каждого из занесенных в нее химических ПГР, что может привести к сложностям в управлении и анализе большого объема данных.

5. Показано, что основное различие между новой модернизированной КМК-системы ПГР и текущей версией заключается в использовании функционала актуальной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7 для группировки показателей качества в соответствующем словаре. Это позволяет вести более точный учет всех исследуемых характеристик ПГР. Таким образом, в новом

CALS-проекте для каждой группы показателей качества была создана отдельная группа характеристик.

6. Вследствие этого модернизированная КМК-система ПГР позволяет упростить процесс мониторинга качества реагентов, сократить время на анализ и уменьшить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

7. При модернизации КМК-системы ПГР была разработана подсистема управления процессами для автоматизации аналитического мониторинга химических ПГР. Для управления аналитическим процессом определения формиатов щелочных металлов в противогололёдных реагентах в CALS-системе предусмотрена возможность создания и редактирования нового информационного объекта «бизнес-процесс». Для информационной поддержки данного аналитического метода в КМК-систему добавлено несколько единиц оборудования, с указанием их параметров и наличия в аналитической лаборатории предприятия.

8. При модернизации КМК-системы формиатных ПГР в CALS-проект занесена и структурирована вся информация, необходимая для организационного управления аналитическими методиками: управляемые подпроцессы, требуемые характеристики, роли участников процесса и др. Разработка и реализация такого функционала является одним из этапов проектирования бизнес-процессов, который обеспечивает повышение эффективности и результативности проводимых работ.

9. Разработана модернизированная КМК-система для определения плавящей способности ПГР. Было показано, что входящий в КМК-систему функционал обновленного программного комплекса PDM STEP Suite 5.7 (управление бизнес-процессами) позволяет отслеживать бюджет и расходы для аналитических работ. Для подгруппы «технологических показателей качества» ПГР была предложена декомпозиция аналитических методов, в которой метод определения плавящей способности был обозначен в качестве «родительского» процесса. В качестве «дочерних» процессов нижнего подуровня были определены три основные стадии данного аналитического метода: разбавление,

термостатирование и определение температуры. Необходимое аналитическое оборудование для каждого процесса более низкого уровня добавлено в автоматизированную КМК-систему. При описании необходимого оборудования, все доступные аналоги целевого прибора добавлены в программный продукт PDM в качестве элемента «ресурс». Это позволяет химику-аналитику легко выбирать необходимое оборудование для соответствующего процесса и отслеживать используемые приборы в режиме реального времени.

10. Для каждого ПГР в модернизированную КМК-систему экологического мониторинга добавлено 5 базовых показателей нижнего уровня: регистрационный номер CAS (согласно международной номенклатуре химических соединений), формула рассматриваемого химического соединения, величина ПДК, лимитирующий показатель по санитарно-токсикологическим нормативам, класс опасности вещества. Все 5 показателей представляют собой табличные данные, указанные в действующем СанПиН-2021. Таким образом, химик-эколог может использовать модернизированную КМК-систему для выбора требуемого по составу ПГР и для прогнозирования возможных рисков от попадания сразу нескольких примесных компонентов в окружающую среду с учетом их дальнейших химических преобразований.

11. В модернизированной КМК-системе экологического мониторинга ПГР рассмотрен показатель радиационной активности, который имеет большое значение для экологического мониторинга содержания естественных радионуклидов в объектах окружающей среды, что существенно влияет на безопасность окружающей среды, а также здоровье людей и животных.

12. Модернизированные системы компьютерного менеджмента качества и экологического мониторинга противогололедных реагентов являются крайне важным инструментом для обеспечения безопасности на дорогах в зимний период. Они предоставляют возможность оценить качество и соответствие ПГР установленным нормам и требованиям, а также определить экологическую безопасность при использовании реагентов, что в конечном итоге способствует снижению аварийности и повышению безопасности на дорогах.

### **Глава 3 Разработка автоматизированной CALS-системы для геоэкологического мониторинга противогололедных реагентов**

Использование противогололедных реагентов для зимнего содержания дорог всегда имеет неизбежные экологические последствия, связанные с выбросом большого количества химических веществ в окружающую среду. Для анализа негативного воздействия этих химических веществ разрабатываются различные методики экологического мониторинга, позволяющие оценить влияние противогололедных реагентов на четыре наиболее важных экологических кластера: почвенный покров, водные объекты, зеленые насаждения и атмосферный воздух [94].

Для геоэкологического мониторинга негативного влияния ПГР была разработана новая информационная система, включающая в себя привязку пробоотбора к конкретным геообъектам г. Москвы. Геоэкологический мониторинг осуществляется с помощью компьютерных систем управления качеством на всех этапах жизненного цикла, разработанных на основе информационных CALS-технологий. В качестве основополагающих данных были использованы результаты экспериментальных исследований сотрудников Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова [94].

#### **3.1 Геоэкологический мониторинг влияния ПГР на окружающую среду (ЮЗАО, г. Москва)**

Применение в городах эффективных противогололедных реагентов (ПГР) необходимо для обеспечения безопасности дорожного движения. Между тем в информационной среде и научных статьях существуют достаточно противоречивые сведения о влиянии противогололедных реагентов на эколого-геологические условия города: на почвы и другие грунты, на автотранспорт, обувь, на живые организмы и здоровье жителей [94].

Данная проблема была изучена на геологическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Работа проводилась с

целью определения физико-химических характеристик остатков ПГР на автомобильных дорогах ЮЗАО г. Москвы. Данные, полученные в результате исследования, показали, что дорожные остатки ПГР имеют агрессивные свойства и оказывали неблагоприятное воздействие на городскую экосистему, проникая в почву, а через нее в подземные воды. Негативное воздействие оказывается как в зимний период, так и при таянии снега [95].

Для оценки изменений различных показателей почв пробы отбирались в несколько этапов в зимний, весенний, летний и осенний периоды. Это было необходимо для оценки влияния ПГР почву до сезона, в период и после сезона их применения. Исследования показали, что первичные изменения, происходящие в почве вблизи автодорог, происходят из-за химических композиций, которые входят в состав ПГР. Использование этих веществ приводит к увеличению общей минерализации и концентрации элементов, входящих в состав противогололедных реагентов. В зависимости от степени дисперсности изменяется миграция продуктов ПГР. Так, в средне- крупнодисперсных почвах проникновение компонентов противогололедных реагентов в грунты и грунтовые воды происходит более интенсивно. При таянии снега в весенний период концентрация остатков ПГР в почве увеличивается, а в последствии, в летний период, происходит снижение концентрации за счет подкисления атмосферными осадками.

В результате исследования было выявлено негативное влияние на металлические части подземных инженерных коммуникаций и объектов инженерной инфраструктуры города. Что касается прямого влияния на здоровье человека растворов ПГР, в том числе на дыхательную систему, то в настоящее время исследований в этой области не проводилось из-за отсутствия методик. Использование ранее песка в отличии от противогололедных реагентов наоборот оказывало вредное влияние на заболевание дыхательных путей за счет образования твердых частиц в воздухе в период интенсивного таяния снега [96].

Основной целью геоэкологического мониторинга в городах является выявление источников загрязнения окружающей среды и отслеживание

изменений качества окружающей среды во времени [97, 98]. Эта информация может быть использована для разработки эффективных стратегий управления, направленных на снижение воздействия на экологические кластеры [99].

Например, мониторинг качества воздуха может помочь определить районы города, подверженные высоким уровням загрязнения воздуха, что позволит принять целенаправленные меры по управлению [100]. Мониторинг почвы может помочь выявить районы, требующие восстановления почвы [101]. Такие данные играют важную роль в поддержании экологической устойчивости городской среды и обеспечивают научные основы для разработки более здоровой и устойчивой экосистемы мегаполиса [102].

Противогололедные реагенты широко используются в городе Москве для предотвращения образования льда на дорогах, тротуарах и других поверхностях в холодное время года [103]. Хотя эти реагенты могут помочь обеспечить безопасные условия для транспорта и пешеходов, они также могут оказывать ряд негативных воздействий на окружающую среду, которые следует тщательно учитывать. Как было отмечено ранее, для снижения негативных последствий проводится экологический мониторинг состояния объектов окружающей среды, который позволяет оценить воздействие применяемых ПГР по 4-м важнейшим экологическим кластерам: почвенный покров, водные объекты, зеленые насаждения и атмосферный воздух [104]. Система геоэкологического мониторинга ПГР разрабатывалась на основе информационного CALS-стандарта ISO-10303 STEP (Standard for the Exchange of Product) [94]. В следующем разделе более подробно рассматривается иерархическая структура CALS-системы геоэкологического мониторинга ПГР. Для каждого геообъекта в систему добавлены показатели качества нижнего уровня с соответствующими методами анализа и аналитическим оборудованием. Особое внимание уделяется такому показателю, как «массовая доля примесей в почве и осадке». Для каждого элемента этого уровня в иерархическую структуру добавлены результаты аналитических исследований и сравнительные данные по предельно допустимым концентрациям.

### 3.2 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Массовая доля примесей»

Необходимо отдельно рассматривать воздействие на окружающую среду большого объема основных компонентов ПГР и потенциально опасных примесей [105]. На верхнем уровне CALS-системы приведены конкретные географические объекты Юго-Западного административного округа города Москвы (рисунок 3.1) [94, 106].

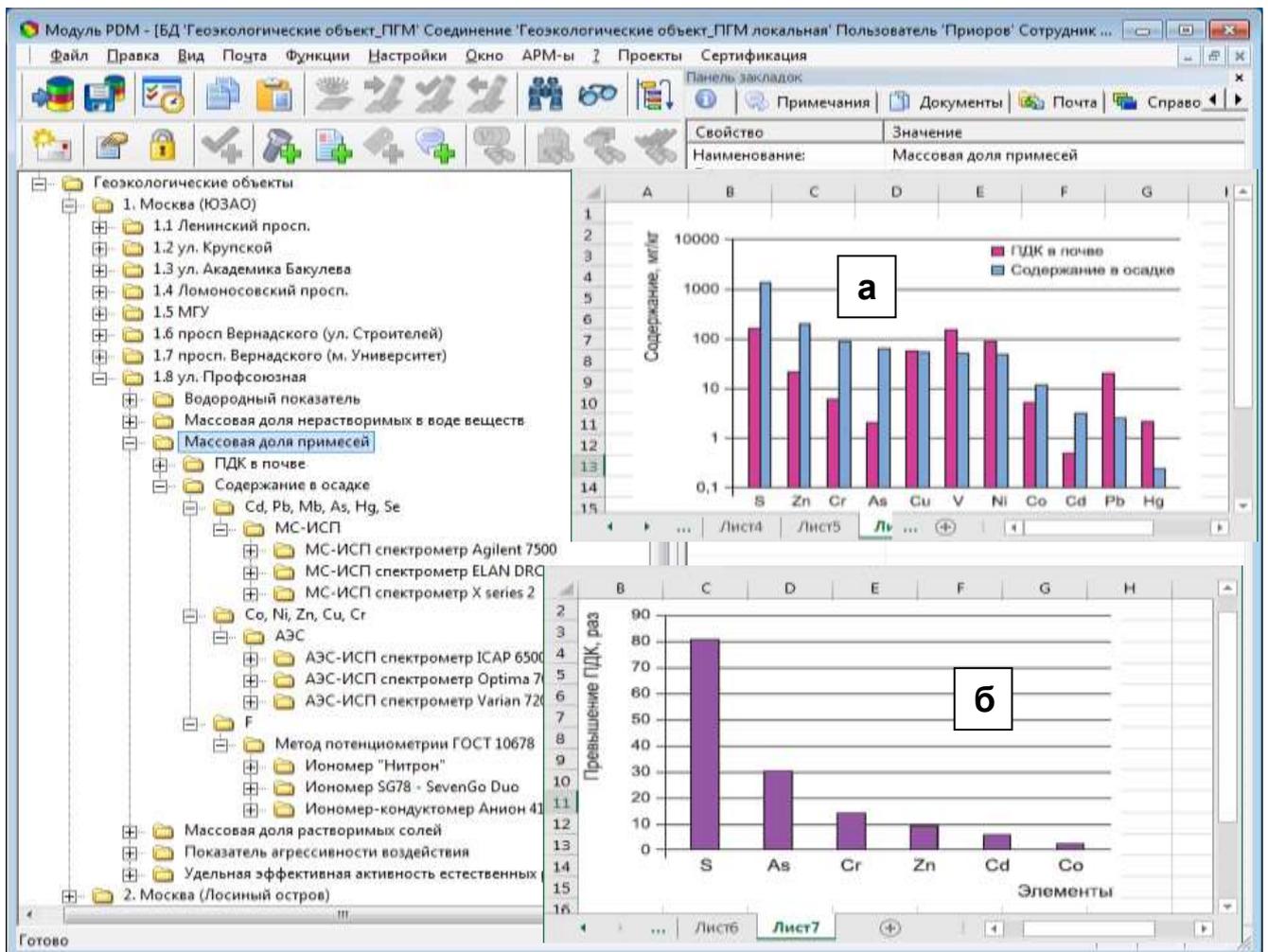


Рисунок 3.1 – CALS-система геоэкологического мониторинга ПГР. Массовая доля примесей (а – концентрация примесей в почве и осадке; б – доля превышения ПДК)

Пробы были взяты на Ленинском проспекте, проспекте Вернадского, Ломоносовском проспекте, на улицах Профсоюзной, Крупской, Академика

Бакулева, Лебедева (на территории Московского Государственного Университета). Взятые пробы помещались в контейнеры из нейтрального материала, герметично закрывались и хранились в холодильнике при температуре +4°C [106].

На втором уровне разработанной CALS-системы рассматриваются основные группы физико-химических показателей ПГР (рисунок 3.1): водородный показатель (величина рН дорожного остатка ПГР), массовая доля нерастворимых в воде веществ, массовая доля примесей, массовая доля растворимых солей, показатель агрессивности воздействия (коррозионная активность по отношению к стали осадков ПГР), удельная эффективная активность естественных радионуклидов.

В CALS-системе геоэкологического мониторинга показатель массовой доли примесей рассматривается в двух подкатегориях (рисунок 3.1): «ПДК в почве» и «Содержание в осадке». Содержание в осадке рассматривается для трех кластеров примесных компонентов: «Cd, Pb, Mg, As, Hg, Se», «Co, Ni, Zn, Cu, Cr» и «F». Для каждого кластера представлены различные методы их определения. Для кластера «Cd» используется метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). В CALS-систему занесены 3 модели спектрометров для данного метода [107]. Для кластера «Co» применяется метод атомно-эмиссионной спектрометрии с использованием индуктивно-связанной плазмы (АЭС-ИСП). В систему добавлено три ИСП-спектрометра. Для кластера «F» и определения массовой доли примесей фтора используется метод потенциометрического титрования. Данный метод основан на измерении потенциала электрода, погруженного в раствор. Величина потенциала зависит от концентрации соответствующих ионов в растворе. При использовании потенциометрического метода используют такие приборы, как иономер или иономер-кондуктометр.

В элементе CALS-проекта системы геоэкологического мониторинга рассматривается геопривязка к конкретным улицам г. Москвы с примером анализа примесей 2-го класса опасности в почве и осадке. Дорожные осадки с остатками ПГР содержат в себе комплекс веществ и элементов, вредных для

человека и животных (рисунок 3.1-а). Спектральный анализ показал, что в них содержится много токсичных элементов и тяжелых металлов [106, 108].

Из элементов 2-го класса опасности в дорожных осадках после применения ПГР содержатся As, Sr, Rb, Co, Cd, Pb, Mo. Концентрация тяжелых металлов и других элементов в них превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) для почв во много раз (рисунок 3.1-б) [92].

Важно отметить, что агрессивность дорожных осадков с остатками ПГР связана не только с их общей высокой минерализацией, но также с повышенным уровнем pH. Определение водородного показателя снежно-ледяных отложений с остатками ПГР является критическим параметром, отображающим их безопасность в использовании на дорогах. В следующем разделе более подробно описывается методология определения этого показателя, которая добавлена в разработанную систему геоэкологического мониторинга ПГР.

### **3.3 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Водородный показатель»**

Для анализа водородного показателя в CALS-систему были занесены 3 метода исследования: индикаторный метод, ионометрический метод и кислотно-основной метод (рисунок 3.2). В систему занесены приборы и аппараты, соответствующие указанному методу. Например, регистрирующий pH/иономер «НІ 2216» используется для индикаторного определения водородного показателя. Для кластера «ионометрический метод» в CALS-систему добавлен pH-метр «НІ-2020», а для кислотно-основного метода – микропроцессорный pH-метр «НІ 991000» [94].

В ходе проведенных исследований было обнаружено, что высокая агрессивность дорожных осадков с остатками противогололедных реагентов связана не только с их общей высокой минерализацией, но также с повышенным уровнем pH (рисунок 3.2), который может достигать значения 8,2 (при исходном pH ПГР равном 8,5) [109]. Большое содержание щелочных соединений в

растворах остатков ПГР обуславливает способность этих растворов растворять органические соединения, включая технические масла и нефтепродукты [110].

Для определения водородного показателя ПГР с использованием мультиметрического метода (рисунок 3.2-а) используется рН-метр «НІ 2020». Данный аналитический прибор также занесен в CALS-систему и относится к соответствующему кластеру [94].

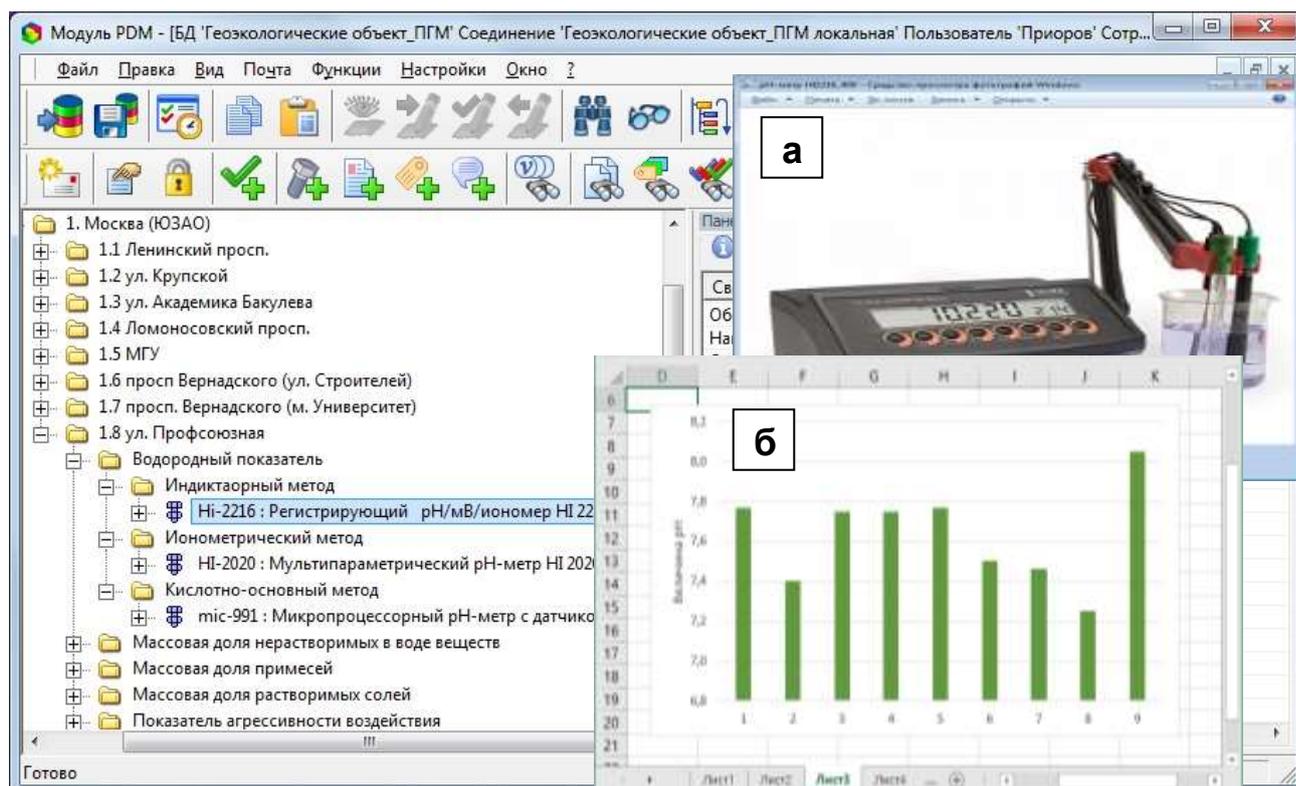


Рисунок 3.2 – Элемент CALS-системы «Водородный показатель». Индикаторный метод (а - прибор «рН / иономер НІ 2216»); б - значение рН для 9 географических объектов Юго-Западного округа)

Ионометрический метод определения рН основывается на измерении мультиметрическим рН-метром. ЭДС гальванической цепи, включающей специальный стеклянный электрод, потенциал которого зависит от концентрации ионов  $H^+$  в окружающем растворе [111]. Способ отличается удобством и высокой точностью, особенно после калибровки индикаторного электрода в избранном диапазоне рН. Он позволяет измерять рН непрозрачных и цветных растворов и

потому широко используется.

Стеклянный электрод представляет собой стеклянную трубку с выдутым на ее конце шариком с очень тонкой стенкой, в которую залита суспензия  $\text{AgCl}$  в растворе  $\text{HCl}$  и погружена серебряная проволока. Таким образом, внутри трубки с шариком находится хлорсеребряный электрод. Для измерения рН стеклянный электрод погружают в испытуемый раствор (тем самым, не внося в него никаких посторонних веществ). В этот же раствор напрямую или через электролитический ключ погружают электрод сравнения. В полученной системе перенос электронов от хлорсеребряного электрода к электроду сравнения, происходящий под действием непосредственно измеряемой разности потенциалов, неизбежно сопровождается переносом эквивалентного количества протонов из внутренней части стеклянного электрода в испытуемый раствор. Если считать концентрацию ионов  $\text{H}^+$  внутри стеклянного электрода постоянной, то измеряемая ЭДС является функцией только активности ионов водорода, т.е. рН исследуемого раствора [94].

Стоит отметить, что кожа человека обладает слабокислой реакцией с рН в пределах 3,8-5,6, что существенно ниже значения рН исходных ПГР или их остатков на дорогах. При контакте кожи с остатками ПГР возможно возникновение "щелочного ожога", поскольку щелочные соединения в растворах могут вызвать раздражение кожи и других тканей [106].

Также немаловажным является то, что домашние животные, такие как собаки и кошки, также подвержены риску раздражения и ожогов при контакте с остатками ПГР на дорогах. Поэтому необходимо обеспечивать бережное обращение с остатками ПГР, а также проводить мониторинг их содержания в дорожных осадках для минимизации рисков для окружающей среды и здоровья людей и животных [95]. Также следует обратить внимание на корректность депонирования отработанных реагентов и остатков, чтобы избежать загрязнения почвы и подземных вод. Регулярный мониторинг содержания ПГР в дорожных осадках и контроль за их использованием на дорогах помогут снизить негативное влияние противогололедных реагентов на окружающую среду и обеспечить безопасность людей и животных [112].

Понимание химического состава применяемых противогололедных реагентов и оставшихся солевых растворов имеет важное значение для дальнейших исследований, направленных на снижение негативных последствий применения ПГР на дорогах. В следующем разделе более подробно рассматривается мониторинг солевого раствора с остатками ПГР по показателю минерализации и содержания основных катионов.

### 3.4 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Массовая доля нерастворимых в воде веществ»

Общая минерализация исходных ПГР, применяемых в г. Москве, составляет 30 г/л. При разбавлении льдом и снегом их минерализация уменьшается, но все же остается высокой, достигая 25–26 г/л. Высокая минерализация обуславливает агрессивность дорожных осадков с остатками ПГР по отношению ко многим материалам, а также к живым организмам. В остающемся на дорогах солевом растворе основными катионами являются  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$  с незначительной примесью ионов  $\text{Mg}^{2+}$  (рисунок 3.3) [94].

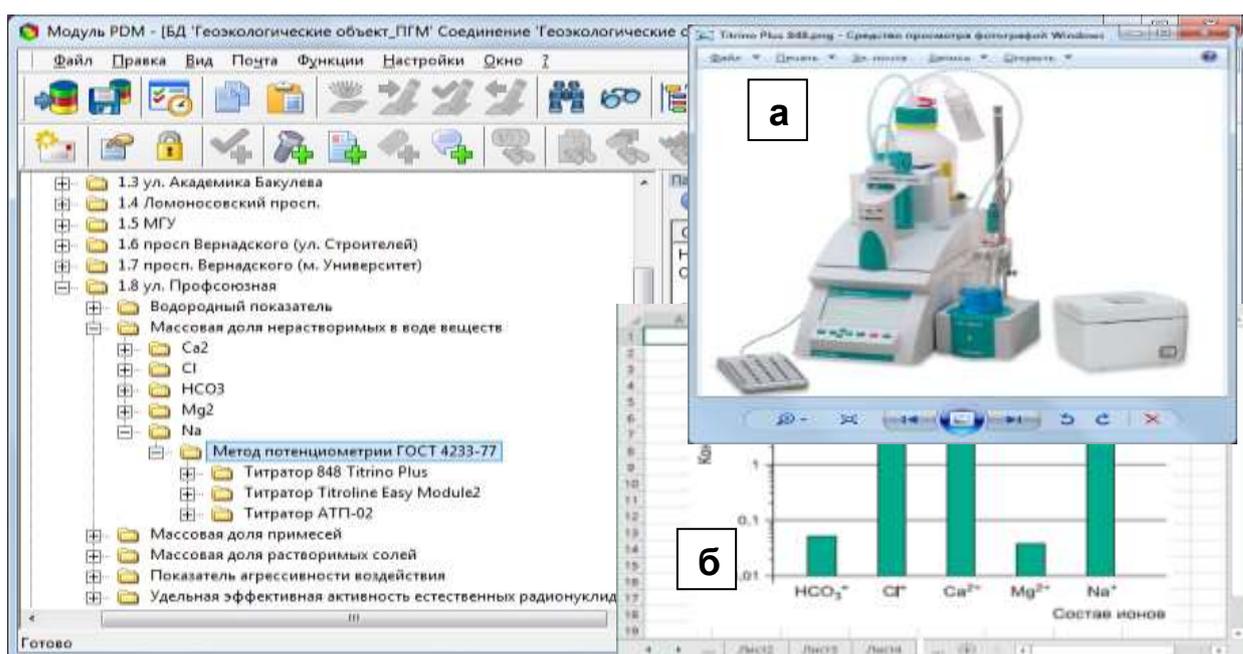


Рисунок 3.3 – Элемент CALS-системы «Метод потенциометрии» (а – автоматический титратор «Titrimo Plus 848»; б - концентрации катионов и анионов)

Для каждой подкатегории анионов и катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) в CALS-систему геоэкологического мониторинга добавлены соответствующие методы и аналитическое оборудование. Одним из самых перспективных методов определения массовой доли считается метод потенциометрии. В основе потенциометрических методов обычно лежит измерение электродвижущей силы гальванического элемента, состоящего из следующих электродов и полуэлементов [113]:

- индикаторного электрода, погруженного в анализируемый раствор; его потенциал зависит от природы анализируемого вещества и от концентрации анализируемого раствора;
- электрода сравнения, характеризующегося постоянным значением потенциала.

Электродвижущая сила такого гальванического элемента зависит от концентрации анализируемого раствора. Если потенциал электрода сравнения относительно стандартного водородного электрода известен, концентрация анализируемого раствора может быть рассчитана по измеренному значению электродвижущей силы. При изменении концентрации анализируемого раствора, например при титровании, электродвижущая сила также будет изменяться таким образом, что момент окончания титрования можно будет определить по графику зависимости потенциала от объема или массы добавленного титранта, или от времени проведения электролиза [113].

Для метода потенциометрии в CALS-проект занесено 3 соответствующих прибора: Titrino 848 Plus, Titroline Easy Module2 и титратор АТП-02. Титратор "Titrimo Plus 848" - это высокоточный и автоматизированный прибор, который используется для определения точных концентраций растворов (титрование) в различных областях, таких как анализ пищевых продуктов, фармацевтических препаратов, воды и других жидких образцов. Он представляет собой мощный инструмент для лабораторного анализа и качественного контроля. Его гибкость, многофункциональность и интуитивный интерфейс делают работу с ним удобной для различных лабораторных требований, а автоматизация процесса ускоряет и

упрощает титрование. Он интегрирует данные, экономит место благодаря компактному дизайну, обеспечивает простоту обслуживания и минимизирует операционные расходы.

Из анионов в солевом растворе преобладает  $\text{Cl}^-$ , а также имеется незначительная примесь  $\text{HCO}_3^-$ . Массовая доля технической соли, применяемой в качестве ПГР, основным компонентом которой является  $\text{NaCl}$ , все еще остается относительно высокой (до 50%), несмотря на отказ городских властей от ее использования в чистом виде [94, 103, 108].

Особенно опасным для многих живых организмов является высокое содержание хлора в дорожных осадках с остатками ПГР (3-й класс опасности). Это связано с тем, что хлор является сильным окислителем и может вызвать ряд негативных последствий для окружающей среды и живых организмов.

Высокое содержание хлора в дорожных осадках может привести к загрязнению почвы и подземных вод [114]. Хлор может реагировать с органическими веществами, образуя токсичные соединения, которые могут проникать в грунт и воду, и таким образом наносить вред здоровью людей и животных, а также повреждать экосистемы [115].

Также хлор может иметь отрицательное влияние на биологическое разнообразие и экосистемы в целом. Высокое содержание хлора в дорожных осадках может приводить к изменению pH в почве и воде, что может приводить к гибели растительности и животных, а также к снижению биологического разнообразия. Поэтому очень важно проводить мониторинг содержания хлора в дорожных осадках и принимать меры для снижения его уровня.

Дорожные осадки, содержащие остатки ПГР, проявляют себя как химически активные и могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Это может приводить к повреждению дорожных покрытий, коррозии металлических элементов и нежелательному влиянию на растения и животных вблизи дорог. В следующем разделе более подробно рассматривается элемент CALS-проекта геоэкологического мониторинга ПГР - показатель агрессивности воздействия.

### 3.5 Элемент CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю качества «Показатель агрессивности воздействия»

Для анализа важнейшего показателя агрессивности воздействия - коррозионной активности на металл (сталь) в CALS-систему (рисунок 3.4) были занесены 3 метода исследования: гравиметрический метод, оптический метод, и электронный метод. Для каждого метода в CALS-систему занесены соответствующие приборы. При использовании гравиметрического метода система предлагает использовать измерительные приборы «Vibra AJ 8200CE» или «Sartorius R200D». В случае с оптическим измерением коррозионной активности применяются такие аппараты, как видеоэндоскоп «Olympus IPLEX FX» и эндоскоп «A99 720P» [94].

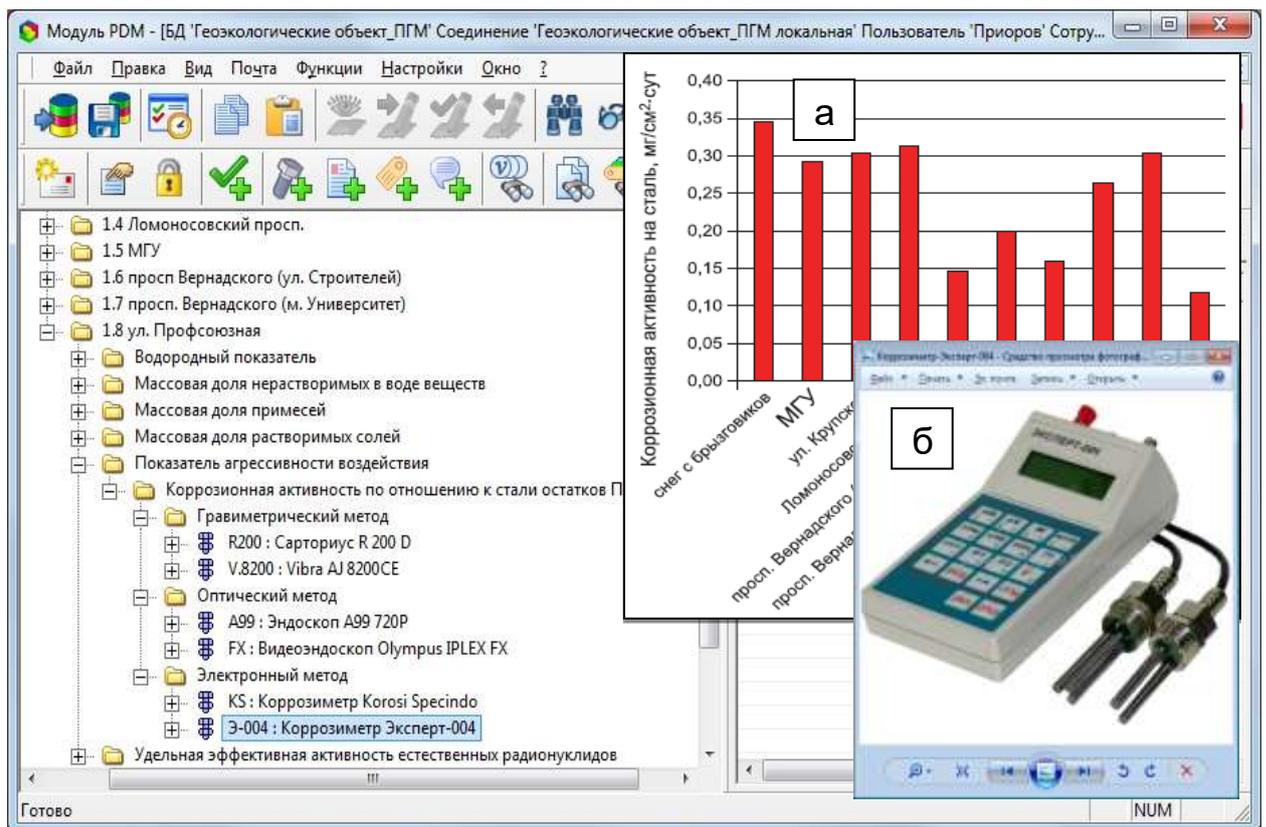


Рисунок 3.4 – Элемент CALS-системы «Коррозионная активность по металлу» (а - Коррозионная активность по отношению к стали остатков ПГР дорогах ЮЗ округа Москвы, б - измеритель коррозии «Эксперт-004»)

Полученные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на применяемые в ПГР антикоррозионные добавки, их коррозионная активность в дорожных осадках высока (рисунок 3.4-а). При этом разбавление ПГР талым снегом и льдом существенного влияния на их коррозионную активность не оказывает.

Если для исходных ПГР коррозионная активность по отношению к стали равна примерно  $0,35 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{сут}$ , то для остатков реагента на дорогах эта величина составляет  $0,2\text{--}0,33 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{сут}$ , т.е. остается довольно высокой (по сравнению с коррозионной активностью талой снеговой воды, для которой она составляет менее  $0,2 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{сут}$ ). Таким образом, комплексное воздействие остатков ПГР на автотранспорт, безусловно, можно считать только отрицательным [116], увеличивающим износ автомобилей и их аварийность, а также материальные затраты на их обслуживание [117].

Для электронного определения коррозионной активности ПГР на металл (сталь) в систему добавлено два аналитических прибора: импортный коррозиметр «Korosi Specindo» и коррозиметр отечественного производства «Эксперт-004» (рисунок 3.4-б). Эксперт-004 – это универсальный коррозиметр, который применяется при лабораторном контроле коррозии, а также для комплексной оценки эффективности защитных антикоррозионных мероприятий. Прибор автоматически определяет показатели общей и питтинговой коррозии, потенциал коррозии металлов, а также их сплавов и покрытий, находящихся в жидких средах [118]. Также прибор определяет параметры процессов травления металлов и защитные свойства анодных, хроматных и других конверсионных покрытий. Коррозиметр применяется на предприятиях энергетики и коммунального хозяйств, в нефтяной, газовой, химической и пищевой промышленности; в машино- и приборостроении; в научных и учебных организациях [119].

В подсистему CALS-проекта геоэкологического мониторинга по индикатору коррозионной активности занесены все 3 метода исследования и все перспективные аналитические приборы. Это позволяет оперативно проводить исследования коррозионной активности для требуемой георпривязки к соответствующим объектам г. Москвы.

### Выводы по главе 3

1. Разработана архитектура CALS-системы геоэкологического мониторинга по 4-м кластерам: почвенный покров, снег и водные объекты, зеленые насаждения и атмосферный воздух. В структуру CALS-системы добавлены основные геообъекты г. Москвы, на которых производился пробоотбор смеси снежной массы или дорожной жижи с остатками ПГР. Так, для Юго-Западного округа Москвы в структуре указаны следующие объекты: Ленинский проспект, проспект Вернадского, Ломоносовский проспект, улицы Профсоюзная, Крупской, Академика Бакулева, Лебедева (на территории МГУ). На втором уровне разработанной CALS-системы рассматриваются основные группы физико-химических показателей ПГР: водородный показатель (величина pH дорожного остатка ПГР), массовая доля нерастворимых в воде веществ, массовая доля примесей, массовая доля растворимых солей, показатель агрессивности воздействия (коррозионная активность по отношению к стали осадков ПГР), удельная эффективная активность естественных радионуклидов. Для каждого анализируемого показателя в архитектуру системы занесены основные применяемые аналитические методы и приборы.

2. На базе информационных CALS-технологий разработан автоматизированный программный комплекс геоэкологического мониторинга влияния противогололедных реагентов на компоненты окружающей среды. Комплекс разработан на базе информационной платформы PDM STEP Suite. PDM Показано, что PDM STEP Suite – это комплексный инструмент, предоставляющий широкий спектр возможностей и функций, которые облегчают пользователям управление данными об изделиях на протяжении всего жизненного цикла продукции.

3. Проведен анализ CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю «массовая доля примесей». По этому показателю в архитектуру системы заложены следующие аналитические методы: масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП), атомно-эмиссионная спектрометрия с

индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП), а также метод потенциометрии по ГОСТ 10678. Для каждого представленного метода в систему добавлены соответствующие приборы. В системе для метода масс-спектрометрии подробно описаны спектрометры: «Agilent 7500», «ELAN DRC» и «XSeries 2».

4. Проведен анализ CALS-системы геоэкологического мониторинга по «водородному показателю». Для этого показателя в архитектуру систему занесены 3 метода исследования: индикаторный, ионометрический и кислотно-основной. В систему занесены приборы и оборудование, соответствующие указанному методу. Регистрирующий рН/иономер «НІ 2216» введен в систему для индикаторного определения водородного показателя. Для кластера «ионометрический метод» в CALS-систему добавлен рН-метр «НІ-2020», а для кислотно-основного метода – микропроцессорный рН-метр «НІ 991000». НІ-2020 – это компактный и портативный рН-метр, предназначенный для быстрого и точного измерения уровня рН в различных жидких образцах. НІ-2216 – это профессиональный рН-метр, предназначенный для точного и высокопроизводительного измерения рН в сложных лабораторных условиях.

5. Проведен анализ CALS-системы геоэкологического мониторинга по показателю «массовой доле нерастворимых в воде веществ». Для каждой подкатегории анионов и катионов в CALS-систему добавлены соответствующие методы и аналитическое оборудование. Для одного из самых перспективных методов анализа «потенциометрии» в CALS-проект занесено 3 соответствующих прибора: Titrino 848 Plus, Titroline Easy Module2 и титратор АТП-02. В системе подробно описан титратор "Titrimo Plus 848" - высокоточный и автоматизированный прибор, который используется для определения точных концентраций растворов (титрование) в различных областях, таких как анализ пищевых продуктов, фармацевтических препаратов, воды и других жидких образцов.

6. Проведен анализ CALS-системы геоэкологического мониторинга по «показателю агрессивности воздействия». В структуру CALS-системы занесены следующие аналитические методы: гравиметрический, оптический и

электронный. Для каждого метода в структуру системы добавлено соответствующее аналитическое оборудование. Для электронного определения коррозионной активности ПГР на металл (сталь) в систему добавлены два аналитических прибора: импортный коррозиметр «Korosi Specindo» и коррозиметр отечественного производства «Эксперт-004». В системе подробно описан Эксперт-004 –универсальный коррозиметр, который применяется при лабораторном контроле коррозии, а также для комплексной оценки эффективности защитных антикоррозионных мероприятий. Прибор автоматически определяет показатели общей и питтинговой коррозии, потенциал коррозии металлов, а также их сплавов и покрытий, находящихся в жидких средах.

7. Показано, что геоэкологический мониторинг ПГР может сыграть решающую роль в содействии устойчивому развитию городов, предоставляя данные для поддержки процессов принятия решений, таких как городское планирование, развитие и управление. Регулярный мониторинг содержания ПГР в дорожных осадках и контроль за их использованием на дорогах помогут снизить негативное влияние противогололедных реагентов на окружающую среду и обеспечить безопасность людей и животных. Применение при геоэкологическом мониторинге перспективной CALS-системы компьютерной поддержки позволяет унифицировать комплексные исследования, направленные на снижение негативного воздействия противогололедных материалов на окружающую среду. Использование CALS-технологии позволяет повысить качество и сократить сроки научно-исследовательских работ.

#### **Глава 4 Разработка автоматизированной CALS-системы компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток**

Важнейшее социально-экономическое значение имеет содержание объектов автодорожного хозяйства в хорошем состоянии. Защита дорожных объектов от проникновения влаги является актуальной задачей. Для решения этой задачи путем обработки гранитных и цементобетонных изделий гидрофобизирующими пропиточными составами необходимо разрабатывать новые эффективные препараты [120, 121].

Гидрофобизирующие пропитки (ГФП) представляют собой инновационное решение, которое совмещает в себе ряд преимуществ, включая защиту от влаги, экологическую безопасность и антисептический эффект. Главной целью применения ГФП является предотвращение негативного воздействия воды на дорожное полотно, что имеет фундаментальное значение для долговечности и устойчивости дорожных покрытий [122, 123]. Поверхности, обработанные таким составом, остаются защищенными от роста плесени и размножения микроорганизмов на протяжении длительного времени. Это особенно важно для автодорожной инфраструктуры, которая подвержена многочисленным водным воздействиям.

Чтобы добиться большей эффективности работ и оптимизировать научные исследования в этой области, была создана система компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих защитных пропиток. Эта система базируется на информационной CALS-технологии и помогает управлять качеством ГФП, что позволяет обеспечить наилучшую защиту дорожного покрытия от воздействия воды и других вредных веществ [48].

Применение гидрофобизирующего состава и использование систем компьютерного менеджмента качества ГФП — это важные шаги в обеспечении долговечности и надежности автодорог, что в конечном итоге приводит к снижению затрат на их обслуживание и ремонт.

#### **4.1 Разработка информационной структуры КМК-системы гидрофобизирующих пропиток (ГФП)**

Гидрофобизирующая жидкость эффективна для обработки широкого диапазона строительных, дорожных и промышленных изделий. В настоящее время эта проблема на практике решается преимущественно путем применения различного рода синтетических гидрофобизаторов [124, 125]. Однако, требуемый результат, как правило, не всегда достигается. В задаче защитной обработки цементно-бетонных и других капиллярно-пористых изделий методом жидкостной гидрофобизации предлагается к использованию новый перспективный препарат, разработанный в НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА [126]. Этот защитный гидрофобизирующий состав экологически безопасен и обладает более устойчивым антисептическим воздействием по сравнению с аналогами на плесень и микроорганизмы при их контакте с обработанной структурой цементно-бетонных и других капиллярно-пористых промышленных изделий. Таким образом, гидрофобная обработка тротуарной плитки обеспечивает; упрочнение и повышение долговечности поверхностного слоя материала; облегчение удаления снежно-ледяных отложений с поверхности покрытия с учетом ряда требований безопасности дорожного движения.

Гидрофобизирующая пропитка укрепляет материал и продлевает гарантийный срок службы цементобетонной плитки, не оказывая при этом значительного влияния на изменение коэффициента сцепления с поверхностью. Кроме того, наличие в составе препарата биоцида предотвращает образование микрофлоры, плесени и развитие грибковых образований для дополнительной защиты цементобетонной дорожной плитки. Препарат обладает высокой проникающей способностью, обеспечивает паропроницаемость и при высыхании на поверхности не образует глянцевой плёнки [126].

Разработка высокоэффективных гидрофобизирующих пропиток характеризуется существенным ростом требований к качеству продукции. При этом значительно увеличилось число параметров, определяющих качество, и

выросли требования к методам анализа. Решение этих задач возможно только с применением современных систем компьютерного менеджмента качества (КМК-систем) [38, 127]. КМК-система (так же, как и LIMS - Laboratory Information Management System) предназначена для автоматизации управления, обработки и хранения информации о работе аналитической лаборатории [48]. Кроме того, компьютерный менеджмент качества перспективных материалов требует использования самых современных систем управления информацией. Наиболее продвинутой системой компьютерной поддержки для этого является технология Continuous Acquisition and Life Cycle Support (CALC), обеспечивающая непрерывную информационную поддержку в течение всего жизненного цикла продукта [56].

В разработанной на основе концепции CALC КМК-системе «Гидрофобизирующие покрытия» рассматриваются два типа составов: для гранитной плитки и для бетонной плитки. Например, в подгруппе «Покрытия для бетонной плитки» рассматриваются 5 гидрофобизирующих составов наиболее известных производителей: Гидрофобизирующая композиция ТПР-01/07 (НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА), «ECOPRAN» (ООО «Проф Лайн»), «Аквастоп-МР» (АО «ГНИИХТЭОС»), пропиточный состав для защиты цементобетонных покрытий «PAVIX CCC100» (ООО «Компания Би Эй Ви»), гидрофобный (противообледенительный) реагент для обработки дорожных покрытий (АО «ОХК» «УРАЛХИМ», АО «Галополимеров»).

Для каждого гидрофобизирующего состава в систему добавлено 6 основных показателей качества (рисунок 4.1):

1. Водопоглощение методом Карстена [128]: этот показатель оценивает количество воды, поглощаемой гранитной плиткой при ее погружении в воду на определенное время. Чем меньше воды поглощает плитка, тем более эффективен гидрофобный состав.

2. Выделение соли на поверхности покрытия. Данный показатель определяет количество солей, выделяющихся на поверхности покрытия после высыхания воды на обработанной поверхности. Чем меньше количество солей,

тем более эффективен гидрофобный состав [48].

3. Капиллярное водонасыщение плитки [129]. Данный показатель определяет способность гидрофобного состава предотвращать проникновение воды в поры гранитной плитки. Чем меньше количество воды, проникающей в поры, тем более эффективен гидрофобный состав.

4. Коэффициент сцепления плитки [130]. Данный показатель определяет силу сцепления между обработанной поверхностью плитки и другими материалами, например, клеевыми составами при укладке плитки. Чем выше коэффициент сцепления, тем более эффективен гидрофобный состав.

5. Краевой угол смачивания на поверхности образца (плитки) [131]. Данный показатель оценивает угол, под которым вода контактирует с поверхностью плитки. Чем больше угол, тем менее вероятно, что вода сможет проникнуть в поры плитки.

6. Прочность на отрыв «примороженного» образца [132]. Данный показатель определяет прочность гранитной плитки после обработки гидрофобным составом и ее длительного нахождения в морозильной камере. Чем выше прочность, тем более эффективен гидрофобный состав в условиях экстремальных температур.

Для всех показателей качества в КМК-систему добавлены основные аналитические методы. Например, для измерения краевого угла смачивания на поверхности плитки в системе предусматривается выбор из 4-х самых распространенных аналитических методик (рисунок 1): метод прямой пластины (Метод Вильгельма), метод наклонной пластины, метод лежащей на поверхности капли и метод измерения скорости капиллярного поднятия. В качестве оборудования для измерения капиллярного водонасыщения методом лежащей на поверхности капли в информационной структуре (рисунок 1) указаны 2 наиболее перспективных лабораторных аппарата: тензиометры DSA-30 и OCA-15Pro [48].



Рисунок 4.1 – Структура информационной модели КМК-системы  
«Гидрофобизирующие пропитки»

Автоматизированный анализ показателей качества ГФП позволяет определить эффективность применяемого состава или выбрать наиболее подходящий аналог. В следующем разделе более подробно рассматривается разработанная КМК-система для аналитического контроля качества ГФП. Для каждого вида пропиток в систему добавлено 6 основных показателей качества с соответствующими методами анализа и приборами.

#### 4.2 Разработка CALS-проекта КМК-системы ГФП

CALS-проект КМК-системы ГФП (рисунок 4.2) был реализован на базе программного продукта PDM Step Suite версии 5.7. PDM STEP Suite – это

передовое программное решение, разработанное для удовлетворения сложных потребностей инженерных и производственных компаний в управлении данными. Этот комплексный инструмент предоставляет широкий спектр возможностей и функций, которые облегчают пользователям управление данными об изделиях на протяжении всего жизненного цикла продукции [133].

PDM STEP Suite разработан для интеграции с другими программными инструментами, используемыми инженерными и производственными компаниями. Такая интеграция обеспечивает беспрепятственный обмен данными и управление ими в различных системах, снижая риск ошибок и дублирования данных [133].

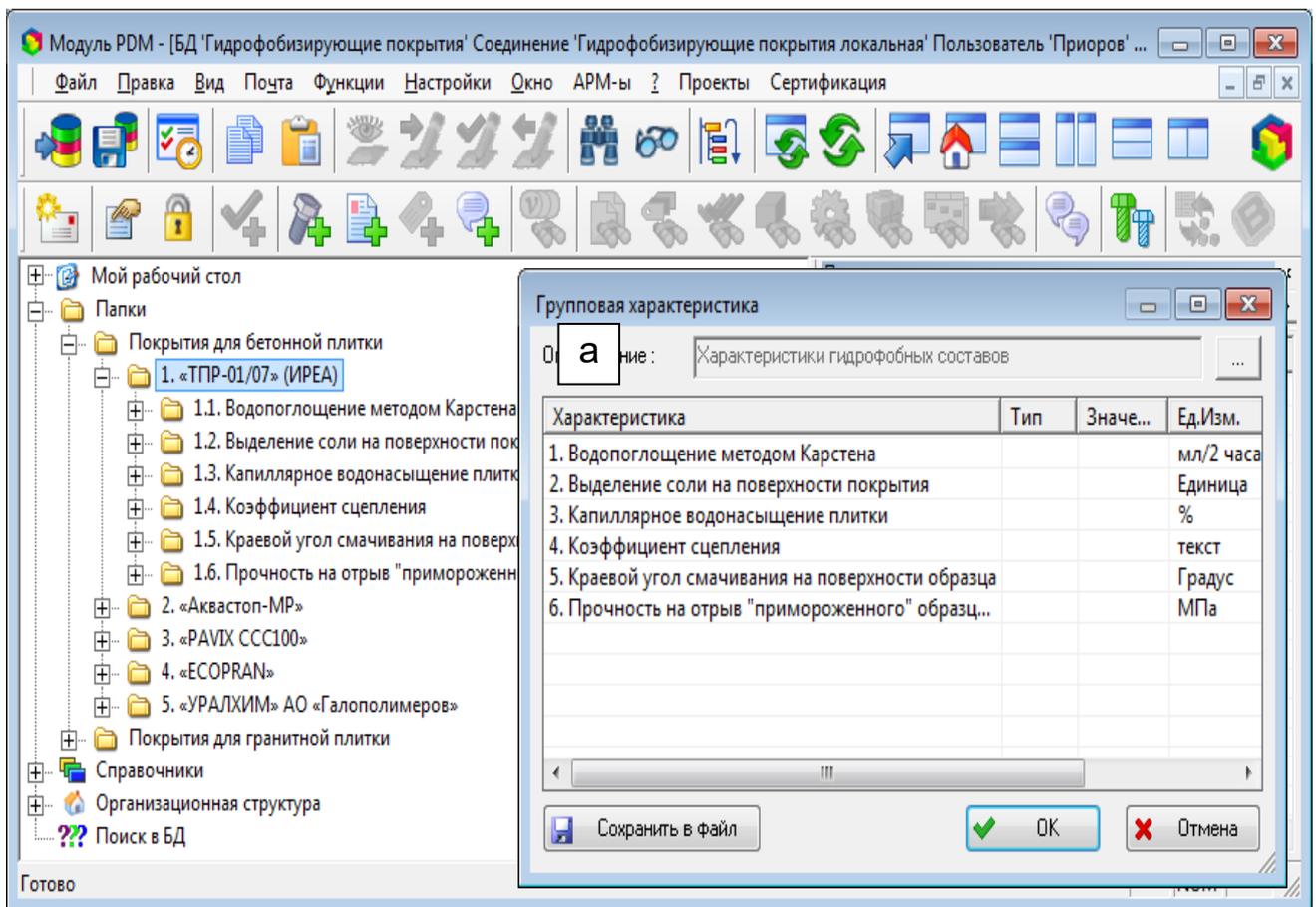


Рисунок 4.2 – Элемент КМК-системы «Гидрофобизирующие покрытия» (а – таблица сгруппированных показателей качества ГФП)

В современной версии программного продукта PDM STEP Suite 5.7 полностью интегрированы технологии CALS и используются

стандартизированные форматы данных, такие как ISO 10303 STEP (Standard for the Exchange of Product model data - стандарт обмена данными модели продукта) и ISO 13584 PLIB (Parts LIBrary – Библиотека деталей), что способствует эффективному обмену данными. Следование отраслевым стандартам обеспечивает бесшовную совместимость с другими системами, упрощая сотрудничество с партнерами, поставщиками и клиентами [134].

Одним из преимуществ данного программного продукта является возможность группировки характеристик и показателей (рисунок 4.2-а) для более удобного управления и организации данных. Группировка позволяет пользователю объединять связанные характеристики и показатели в логические категории или кластеры, что способствует более эффективному анализу, поиску и управлению информацией.

Пользователи могут легко создавать, хранить и совместно использовать такие документы, как спецификации продукции, протоколы испытаний и руководства пользователя. Программный комплекс обеспечивает безопасную платформу для хранения и доступа к этим важным документам, гарантируя, что они всегда доступны, когда это необходимо [50]. Также для каждой характеристики в информационной КМК-системе указаны соответствующие единицы измерения (рисунок 2-а). Это позволяет унифицировать выходные данные и оптимизировать контроль качества продукции. Оценка указанных показателей позволяет определить эффективность гидрофобного состава и выбрать наиболее подходящий состав [48].

В следующем разделе более подробно рассматривается иерархическая структура КМК-системы ГФП для обработки дорожного полотна из бетонных плит. Особое внимание уделяется такому показателю качества, как «капиллярное водонасыщение». На этом уровне в иерархической структуре отмечены перспективные аналитические методы и добавлено соответствующее лабораторное оборудование.

### 4.3 Элемент КМК-системы ГФП «Капиллярное водонасыщение»

Капиллярное водонасыщение плитки – это важный показатель качества для гидрофобизированных составов, который позволяет определить, насколько эффективно защитное покрытие отталкивает воду и предотвращает ее проникновение в материал. Для проведения измерений необходимо выполнить следующие этапы:

1. Подготовка образцов: гранитная плитка обрабатывается гидрофобизирующим составом согласно инструкции производителя. Затем образцы оставляются на воздухе для полного высыхания.

2. Измерение капиллярного водонасыщения после воздействия 3-х циклов попеременного замораживания-оттаивания: образцы помещают в морозильную камеру при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  на 24 часа, затем вынимают и размещают в течение 4 часов при комнатной температуре для оттаивания. После трех циклов замораживания-оттаивания проводится измерение капиллярного водонасыщения с помощью воды, которая наносится на поверхность образца в течение 5 минут.

3. Измерение капиллярного водонасыщения после воздействия УФ-излучения: образцы помещают в камеру УФ-излучения на 24 часа. После этого образцы оставляются на воздухе до полного высыхания. После воздействия УФ-излучения проводится измерение капиллярного водонасыщения с помощью воды, которая наносится на поверхность образца в течение 5 минут.

Каждое измерение проводится три раза для каждого образца. Полученные результаты среднего значения записываются для дальнейшего анализа. Для каждого элемента 2-го подуровня в систему занесены все необходимые данные о методах и приборах (рисунок 4.3).

Методики измерения капиллярного водонасыщения дорожной плитки играют важную роль в определении водопроницаемости и устойчивости плитки к влаге. В КМК-системе представлены различные методы измерения, включая метод весового прироста (гравиметрический метод) и метод капиллярного подъема (рисунок 4.3). Каждый из представленных методов проводится с

использованием специализированных приборов и имеет свои преимущества и ограничения. Выбор метода зависит от конкретных требований и условий исследования [129].

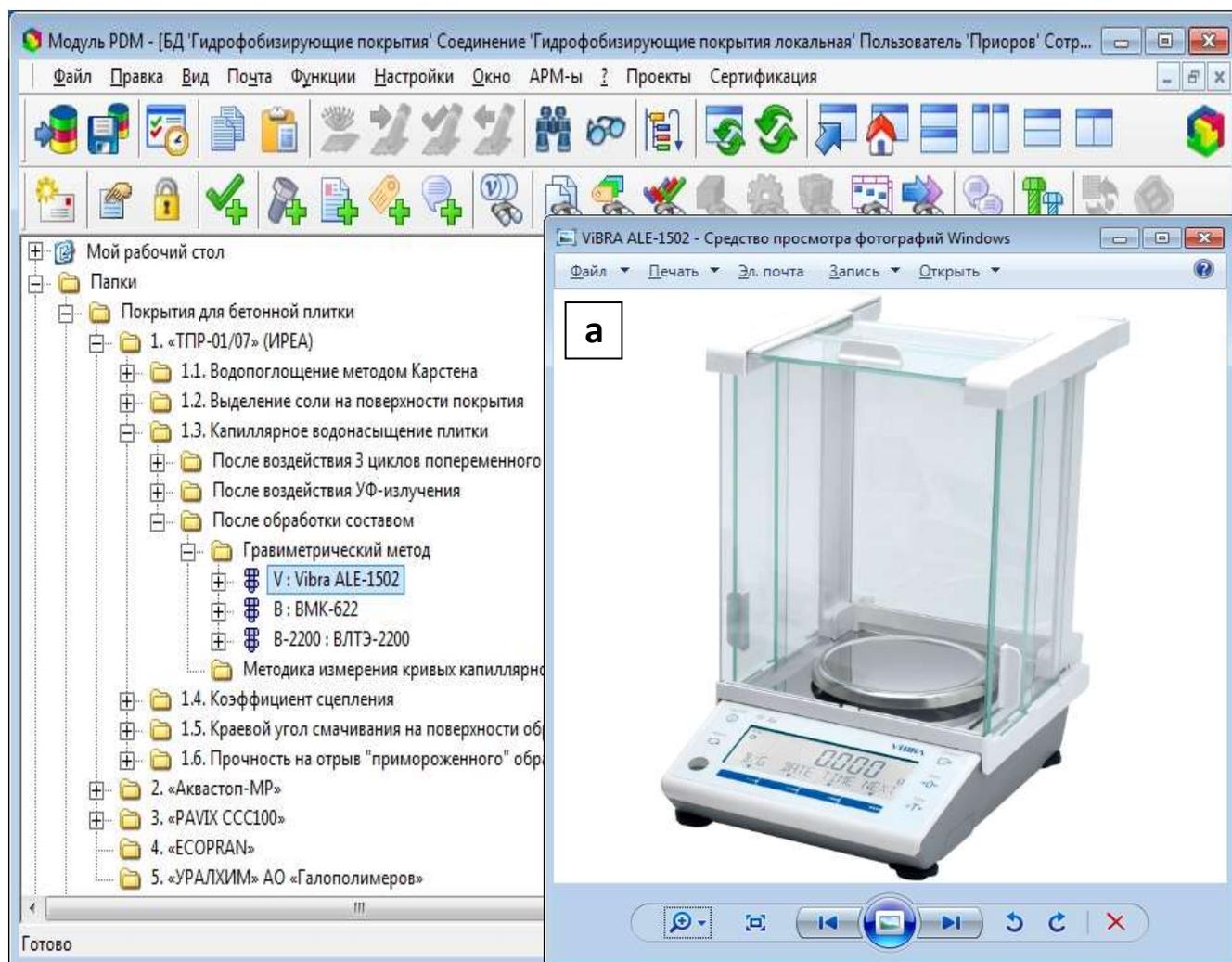


Рисунок 4.3 – Элемент CALS-системы «Капиллярное водонасыщение плитки»  
(а - лабораторные весы Vibra ALE-1502)

Один из наиболее распространенных методов измерения капиллярного водонасыщения - метод весового прироста (гравиметрический метод). В этом методе образец дорожной плитки взвешивается до и после насыщения водой. Разность массы позволяет определить количество воды, которое поглощается материалом. Однако этот метод имеет ограничения, связанные с необходимостью тщательной подготовки образцов и длительным временем измерения.

Метод капиллярного подъема основан на явлении подъема жидкости в

узких капиллярах, которые присутствуют в материале плитки. Этот метод включает погружение конца плитки в емкость с водой и наблюдение за подъемом жидкости внутри капилляров. Измеряется высота подъема, что позволяет определить степень водонасыщения материала. Метод капиллярного подъема является быстрым и относительно простым, но может быть не совсем точным из-за различных факторов, влияющих на капиллярность.

Для измерения показателя качества «капиллярное водонасыщение» в КМК-систему добавлено несколько современных приборов. Для гравиметрического метода используются: лабораторные весы Vibra ALE-1502 (рисунок 3-а), лабораторные весы ВМК-622 и лабораторные весы ВЛТЭ-2300. Также в CALS-проекте предусмотрен учет оборудования на балансе предприятия, его работоспособность и степень износа. При реализации CALS-проекта в программный комплекс PDM STEP Suite 5.7 стало возможным автоматизировать выбор аналогов по заданным характеристикам в случае неисправности или отсутствия требуемого оборудования.

Определение капиллярного водонасыщения с помощью вышеописанных этапов позволяет оценить способность гидрофобного состава защищать гранитную плитку от проникновения влаги в различных условиях воздействия. Влагоперенос в бетоне является сложным и малоизученным процессом. Это обусловлено многими факторами, влияющими на функционирование транспортных механизмов в сочетании с различными типами пор, которые, как правило, пронизывают бетоны [48].

Защита гранитной плитки и бетонных полит от капиллярного водонасыщения и удержания влаги напрямую зависит от показателя краевого угла смачивания на их поверхности. В следующем разделе более подробно описывается элемент КМК-системы «краевой угол смачивания» на поверхности образцов, обработанных рассматриваемыми ГФП.

#### 4.4 Элемент КМК-системы ГФП «Краевой угол смачивания»

Для подкатегории 2.5 «Краевой угол смачивания на поверхности образца» (рисунок 4.3) в CALS-систему компьютерного менеджмента качества ГФП добавлены перспективные аналитические методы: метод изменения скорости капиллярного поднятия, метод наклонной пластины и метод и метод прямой пластины (метод Вильгельма).

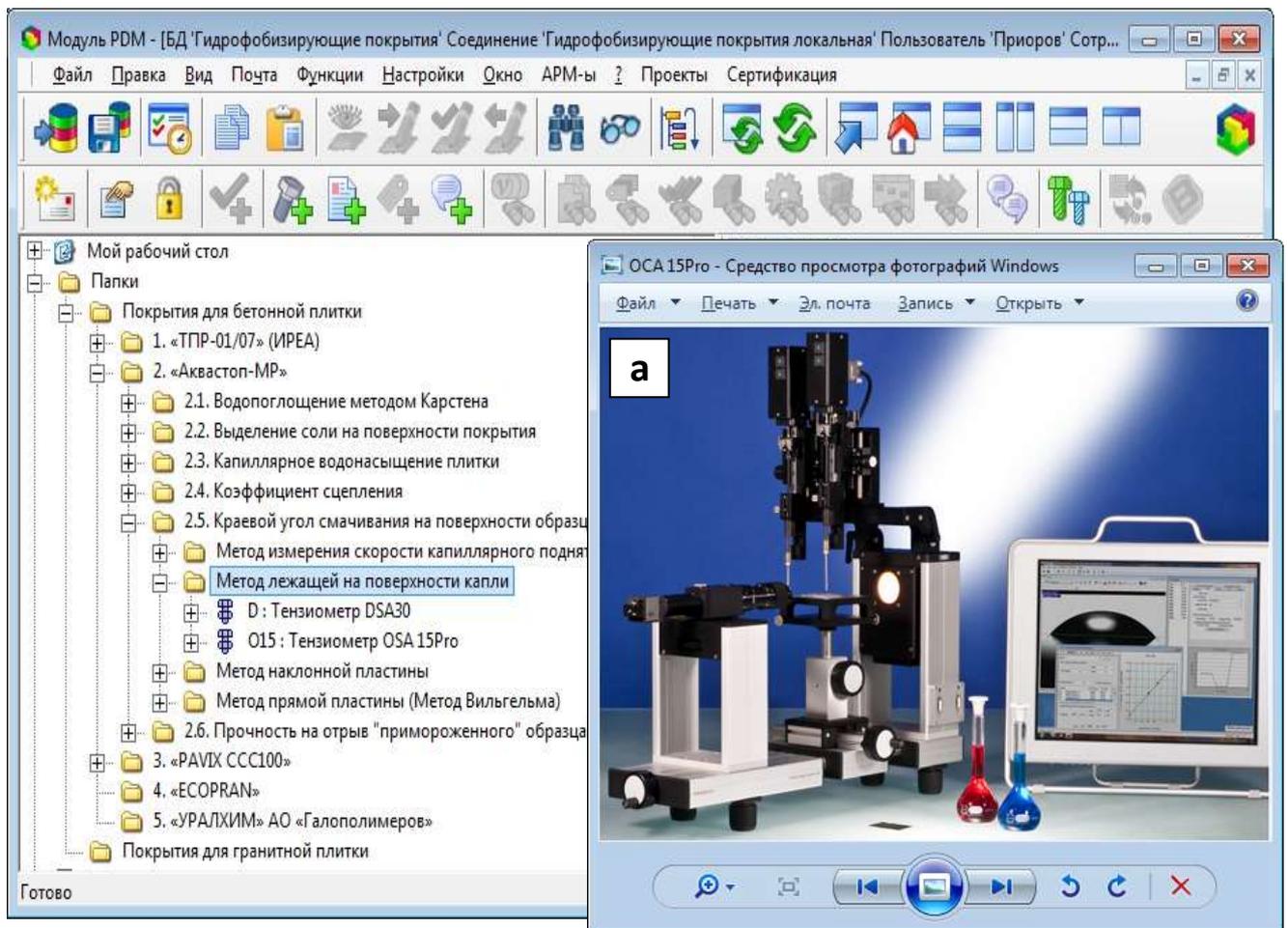


Рисунок 4.3 – Элемент CALS-системы «Краевой угол смачивания»

(а - тензиометр OCA 15-Pro)

В работе более подробно показано определение краевого угла смачивания методом анализа фотоизображения лежащей на поверхности капли (рисунок 4.3). В начале испытаний каплю воды помещают на горизонтальную твердую поверхность, фотографируют, а затем по её профилю определяют краевой угол.

Стоит отметить, что полученные таким образом статические углы не являются, строго говоря, углами оттекания или натекания воды.

Для определения краевого угла по профилю капли, на нижнем уровне КМК-системе добавлены перспективные аналитические приборы: тензиометр DSA-30 и тензиометр OCA 15-Pro (рисунок 4.3-а) [48].

Процедура измерения состоит из нескольких шагов:

1. Подготовка образца: поверхность образца должна быть чистой, сухой и без загрязнений. Это обеспечивает правильное взаимодействие между жидкостью и поверхностью образца.

2. Нанесение капли жидкости: на поверхность образца наносится капля жидкости с помощью микропипетки. Капля должна быть достаточно мала, чтобы не покрывать всю поверхность образца, но достаточно большой, чтобы был виден контактный угол.

3. Измерение контактного угла: тензиометр снимает изображение капли жидкости на поверхности образца и автоматически измеряет угол между поверхностью образца и поверхностью капли жидкости. Это значение и является контактным углом.

4. Повторение измерений: для повышения точности измерений, измерения проводят несколько раз на разных участках поверхности образца.

После обработки гранитной плитки гидрофобизирующим составом, измерение краевого угла смачивания позволяет определить, насколько хорошо состав защитил поверхность плитки от проникновения влаги.

При измерении требуемых показателей в системе предусмотрен учет версий измерений и опытных испытаний, а также их логическая ассоциация с конкретной характеристикой. Таким образом, работнику предоставляется возможность отслеживания в режиме реального времени, какое используется оборудование и какие с помощью него получены выходные данные для каждого образца.

Если контактный угол больше 90 градусов, это свидетельствует о хорошей гидрофобизации поверхности и высокой степени защиты от воды. Если же контактный угол меньше 90 градусов, это может указывать на недостаточную

эффективность гидрофобизирующего состава или на неправильную подготовку поверхности плитки перед обработкой составом.

В случае, когда подвесная капля окружена второй жидкостью, а не воздухом, межфазное натяжение между двумя жидкостями может быть выведено из формы капли. Для оптического анализа наружная жидкость должна быть прозрачной. В зависимости от относительной плотности, внутренняя жидкость может дозироваться либо в виде подвесной капли, либо вверх, через изогнутую иглу [48].

В следующем разделе более подробно рассматривается показатель качества ГФП «прочность на отрыв». Показатель прочности на отрыв отражает степень промерзания верхнего слоя дорожного полотна и определяет устойчивость к механическим нагрузкам. Проведение измерений прочности на отрыв «примороженных образцов» гранитной плитки и бетонных плит представляет собой важный этап контроля качества гидрофобизирующих составов.

#### **4.5 Элемент КМК-системы ГФП «Прочность на отрыв»**

Показатель прочности на отрыв является одним из основных показателей качества дорожной гранитной плитки, так как он определяет ее способность выдерживать механические нагрузки. Когда гранитная плитка обрабатывается гидрофобным составом, ее прочность на отрыв может изменяться в зависимости от свойств используемого состава. Важно выбирать гидрофобный состав, который не только уменьшает влагопоглощение плитки, но и не снижает ее прочность на отрыв.

Высокая прочность на отрыв обеспечивает дорожной гранитной плитке длительный срок службы и повышает ее устойчивость к нагрузкам. Низкая же прочность на отрыв может привести к разрушению покрытия и повреждению плитки в результате даже незначительных нагрузок. Поэтому, чтобы обеспечить высокое качество дорожной гранитной плитки, необходимо проводить регулярный контроль показателя прочности на отрыв "примороженного образца"

после обработки плитки гидрофобным составом [48].

В КМК-систему ГФП были добавлены два аналитических метода позволяющих определять прочность на отрыв «примороженного образца»: адгезионный метод и метод отрыва со скалыванием согласно требованиям ГОСТ 22690-2015 (рисунок 4.4). Эти методы широко используется для оценки адгезионных свойств материалов и соединений в промышленности и научных исследованиях [135].

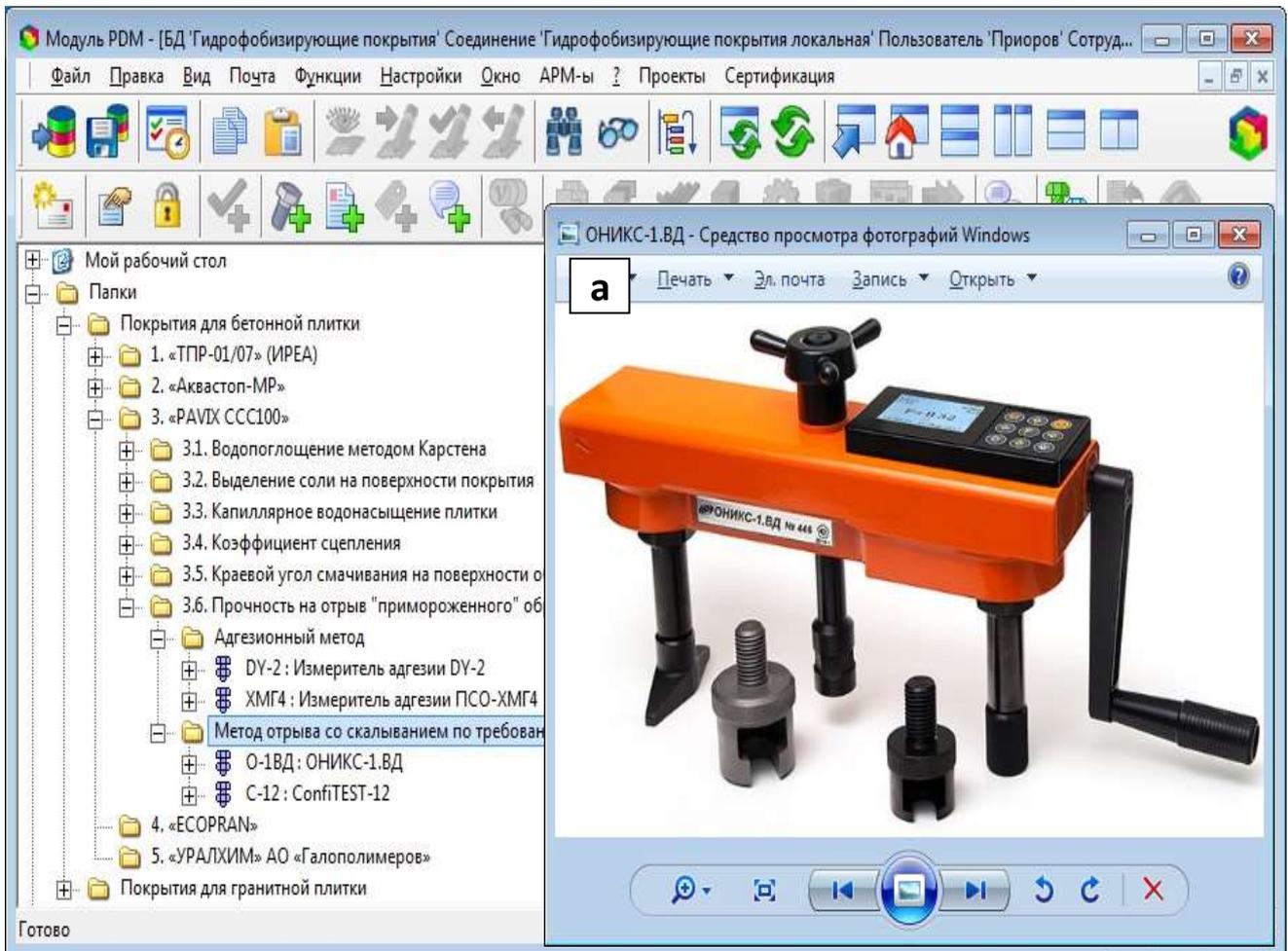


Рисунок 4.4 – Элемент СALS-системы «Прочность на отрыв»

(а - измеритель усилия вырыва ОНИКС-1.ВД)

Однако следует отметить, что адгезионный метод обычно используется для оценки адгезии между поверхностями и адгезивным материалом, тогда как метод отрыва со скалыванием более специфичен и оценивает прочность в условиях

скалывания и разделения материалов. Для определения данного показателя качества в информационную модель КМК-системы добавлено несколько приборов: тестер прочности сцепления ConfiTest 12 и измеритель усилия вырыва ОНИКС-1.ВД. Данные приборы имеют широкий спектр применения: они могут применяться для определения поверхностной прочности на растяжение, для определения адгезионной прочности на растяжение, а также для исследования прочности на отрыв гранитной плитки и бетонных плит.

Измерение прочности на отрыв "примороженного образца" методом отрыва со скалыванием проводится с помощью прибора ОНИКС-1.ВД (рисунок 4.4-а) и представляет собой важный этап контроля качества дорожной плитки.

Методика измерения прочности на отрыв "примороженного образца" гранитной плитки, обработанной гидрофобным составом, включает следующие этапы:

1. Подготовка образцов: из обработанной гидрофобным составом плитки вырезаются прямоугольные образцы размером около 10x10 см. Образцы помещаются в пакеты и замораживаются при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  в течение 24 часов.

2. Испытания на прочность: после замораживания образцы вынимаются из пакетов и примеряются к термостатированной среде при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ . После этого на поверхность образца наносится груз массой 1 кг, прикрепленный к прибору ОНИКС-1.ВД. Груз поднимается на заданную высоту, а затем быстро опускается, вызывая разрыв образца. Прибор фиксирует значение прочности на отрыв.

3. Обработка результатов: после проведения испытаний на прочность, значения прочности на отрыв регистрируются и усредняются для каждого типа образцов. Результаты заносятся в протокол испытаний.

Принцип работы прибора для измерения прочности «примороженного образца» на отрыв основан на измерении усилия, при котором происходит срыв установленного образца с места. В процессе нагружения пресса усилие растет до экстремального значения, превышение которого приводит к первоначальному

кратковременному срыву образца бетона, сопровождающимся хлопком или щелчком, и резкому падению величины усилия вырыва [136].

С помощью датчика перемещения, одновременно с усилием, возникающим при нагружении бетонного блока, измеряется смещение крепежного элемента от его первоначального положения. Встроенный электронный блок автоматически отслеживает весь процесс нагружения и запоминает его экстремальные точки. После снятия нагрузки на дисплее прибора будет отображено максимальное значение усилия, при котором закрепленный блок начал движение, и значение перемещения. Кроме экстремальных значений прибор может построить график зависимости усилия вырыва бетонного блока от его смещения [48].

В подсистему CALS-проекта компьютерного менеджмента качества ГПФ по показателю прочности на отрыв «примороженного образца» занесены все 2 метода исследования и все перспективные аналитические приборы. Каждый метод имеет ряд преимуществ, таких как точность, стандартизированные процедуры, возможность оценки адгезии и релевантность результатов для реальных условий эксплуатации. Это позволяет оперативно проводить исследования адгезионных свойств дорожного полотна из гранитной плитки и бетонных плит, а также является важным инструментом для обеспечения качества и надежности дорог.

#### **Выводы по главе 4**

1. Разработана архитектура CALS-системы компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток (ГФП) для дорожного полотна по 2-м типам составов: для гранитной плитки и для бетонных плит. В информационную модель для категории «Покрытия для бетонных плит» занесены 5 гидрофобизирующих составов наиболее известных производителей: Гидрофобизирующая композиция ТПР-01/07 (НИЦ «Курчатовский институт» - ИРЕА); «ECOPRAN» (ООО «Проф Лайн»); «Аквастоп-МР» (АО «ГНИИХТЭОС»); пропиточный состав для защиты покрытий из

цементобетонных плит «PAVIX CCC100» (ООО «Компания Би Эй Ви»); гидрофобный (противообледенительный) реагент для обработки дорожных покрытий (АО «ОХК» «УРАЛХИМ», АО «Галополимеров»). Для каждого вида пропиток в архитектуру системы добавлено 6 основных показателей качества: водопоглощение методом Карстена, выделение соли на поверхности покрытия, капиллярное водонасыщение плитки, коэффициент сцепления, краевой угол смачивания, а также прочность на отрыв «примороженного» образца. Оценка указанных показателей позволяет определить эффективность гидрофобного состава и выбрать наиболее подходящий состав. Также по всем показателям в информационную модель введены соответствующие методы анализа и приборы.

2. На базе информационных CALS-технологий разработана система компьютерного менеджмента качества (КМК-система) гидрофобизирующих пропиток для гранитной плитки и бетонных плит. КМК-система разработана на базе информационной платформы PDM STEP Suite. Показано, что разработанная КМК-система позволяет улучшить аналитический контроль качества ГФП, гарантирует оперативное предоставление заказчику корректной лабораторной информации и интегрированных данных, повышает эффективность использования ресурсов лаборатории (персонала, приборов, и реагентов), сокращает время выполнения аналитических исследований, автоматизируя расчет методик измерения, формирование отчетности и составление документов о качестве.

3. Проведен анализ КМК-системы ГФП по показателю «капиллярное водонасыщение». По этому показателю в архитектуру системы заложены следующие аналитические методы: метод весового прироста (гравиметрический метод) и метод капиллярного подъема. Для каждого представленного метода в систему добавлены соответствующие приборы. В системе для гравиметрического метода описаны приборы лабораторные весы «Vibra ALE-1502», лабораторные весы «ВМК-622» и лабораторные весы «ВЛТЭ-2300».

4. Проведен анализ КМК-системы ГФП по показателю «краевой угол смачивания». Для этого показателя в архитектуру систему занесены 4 самые

распространенные методики: метод прямой пластины (Метод Вильгельма), метод наклонной пластины, метод лежащей на поверхности капли и метод измерения скорости капиллярного поднятия. В систему занесены приборы и оборудование, соответствующие указанному методу. В качестве оборудования для измерения методом лежащей на поверхности капли в информационной структуре указаны 2 наиболее перспективных лабораторных аппарата, применяемых при анализе фотоизображений профиля краевого угла: тензиометры DSA-30 и OCA-15Pro.

5. Проведен анализ КМК-системы ГФП по показателю «прочность на отрыв». Для каждого анализируемого пропиточного состава в CALS-систему добавлены аналитические методы: адгезионный метод и метод отрыва со скалыванием согласно требованиям ГОСТ 22690-2015. Для определения прочности на отрыв «примороженного образца» гранитной плитки в КМК-систему занесено несколько приборов: тестер прочности сцепления ConfiTest 12 и измеритель усилия вырыва ОНИКС-1.ВД. Данные приборы имеют широкий спектр применения: они могут применяться для определения поверхностной прочности на растяжение, для определения адгезионной прочности на растяжение, а также для исследования прочности на отрыв гранитной плитки и бетонных плит.

6. Показано, что компьютерный менеджмент качества ГФП может сыграть решающую роль в процессах улучшения качества дорожных покрытий и снижения износа полотна. Применение ГФП для защиты гранитной плитки и бетонных плит не только улучшает качество дорожного полотна, но и повышает безопасность движения, а также способствует более эффективному использованию ресурсов при дорожном строительстве и обслуживании. Применение в менеджменте качества ГФП перспективной CALS-системы компьютерной поддержки позволяет унифицировать комплексные исследования, направленные на выбор наиболее эффективного состава для защитной обработки дорожного полотна. Использование CALS-технологии позволяет повысить качество и сократить сроки научно-исследовательских работ.

## **Глава 5 Модернизация автоматизированной CALS-системы компьютерного менеджмента качества дорожных пропиток**

Одной из ключевых задач технологии содержания автомобильных дорог является сохранение высокого качества асфальтобетонного покрытия, что способствует его целостности и обеспечивает сцепление колеса с дорожным покрытием [137]. Для эффективного решения этих проблем созданы и применяются дорожными службами искусственные химические композиции – дорожные пропитки [138].

Пропиточная композиция служит для защиты поверхности асфальтобетонных дорог от различных негативных воздействий [139]. Она поддерживает низкое водонасыщение поверхностного слоя асфальтобетонного дорожного покрытия, а также восстанавливает поверхностный слой вяжущего компонента, используемого при строительстве, ремонте и модернизации автодорог [140, 141].

Для выбора компонентов дорожных пропиточных композиций, обладающих необходимой совокупностью свойств, созданы соответствующие муниципальные системы компьютерного менеджмента качества, осуществляющие системный анализ и подбор оптимальных составов [142]. Программное обеспечение этих систем основано на информационных CALS-технологиях [27].

### **5.1 Литературный анализ КМК-системы дорожных пропиток, разработанной на основе PDM Step Suite 1.7**

Продолжая работу над КМК-системой дорожных пропиток, было решено провести модернизацию системы на основе новой версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7. Однако, чтобы эффективно использовать новые возможности, необходимо более глубокое понимание информационной структуры, используемой при разработке данной системы.

### **5.1.1 Литературный анализ архитектуры разработанной КМК системы дорожных пропиток**

Архитектура КМК-системы дорожных пропиток на основе информационных CALS-технологий и международного стандарта ISO 10303 STEP была предложена в работах Глушко А.Н., Бессарабова А.М., Лобановой А.В. и др. [57; 142; 143]. Цель этого нормативного документа – «регламентировать логическую структуру базы данных, номенклатуру информационных объектов, хранимых в базе, их связи и атрибуты. Типичные информационные объекты, такие как «технологический регламент», «технические условия» и др., независимо от характера описания продукта, называются в стандарте «интегрированными ресурсами». Именно на их основе построена схема базы данных об изделии для конкретной предметной области – дорожные пропитки» [144].

В рамках CALS-проекта была разработана система компьютерного менеджмента качества пропиточных составов для дорожных покрытий [145]. На верхнем уровне разработанной системы пропиточные составы классифицированы по назначению (рисунок 5.1). Было выделено две основные категории: восстанавливающие (омолаживающие) составы и составы для защиты асфальтобетонных покрытий. В обеих рассмотренных группах пропиточные составы объединены по виду их основы. Различают восстанавливающие составы на основе: нефтяного битума, глины и промышленных нефтяных масел.

Для восстанавливающих составов были выделены три подкатегории в зависимости от типа их основы; на основе нефтяного битума; на основе глины; на основе промышленных нефтяных масел. Для защитных составов также были выделены три подкатегории в зависимости от типа их основы: нефтяной битум; полимерные материалы; прочие (рисунок 5.1).

Однако, материалы из второй группы пропиток, как правило, не влияют на структуру асфальта, только создавая поверх него защитный слой, в том числе для декоративных целей. Так, в диссертационной работе Глушко А.Н. [28]

проанализированы составы защитных пропиток и выявлено, что большинство таких композиций составлено на основе полимерных материалов [146].



Рисунок 5.1 – Структура КМК-системы дорожных пропиток.

Литературный анализ показал, что наибольшей эффективностью обладают пропитки на основе нефтяного битума [28; 147-150]. Эти соединения являются продуктами переработки нефти и могут принимать твердую, вязкопластичную или жидкую форму. Химический состав битумов включает в себя «сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных, таких как азот, кислород и сера» [149]. Они характеризуются полной растворимостью в сероуглероде. Кроме того, битумы классифицируются в соответствии с его основными углеводородными группами, которые отражают их соответствующие

свойства. Эти группы включают масла, смолы, асфальт, асфальтогенные кислоты и их ангидриды [148-150].

Вязкость, пластичность, температуры и хрупкость являются физическими свойствами битумов, которые необходимы для определения их качества. Кроме того, следует отметить, что битумы обладают сильной способностью к адгезии, что позволяет им связывать минеральные зерна заполнителей в монолит [151]. Кроме того, битумы обладают способностью придавать гидрофобные свойства обработанным им материалам.

### **5.1.2 Анализ CALS-проекта КМК-системы дорожных пропиток, разработанной на основе PDM Step Suite 1.7**

Проведенный анализ каждой пропитки в КМК-системе позволяет поставить в соответствие несколько групп показателей качества (рисунок 5.2): органолептические (подкатегория № 1), физико-химические (подкатегория № 2), физико-механические (подкатегория № 3), технологические (подкатегория № 4), экологические (подкатегория № 5) и эксплуатационные (подкатегория № 6). В каждой группе выделено несколько основных индикаторов качества, определяемых в соответствии с ГОСТ или другими нормативными документами для каждой пропитки.

Так, например, в подкатегории № 1 «Органолептические показатели» объединены такие индикаторы качества, как внешний вид, цвет и запах (подкатегории №№ 1.1, 1.2 и 1.3, соответственно).

В подкатегории № 2 «Физико-химические показатели» было выделено 5 позиций. Эти позиции включают: условную вязкость; содержание вяжущего в эмульгаторе; массовую долю нелетучих веществ; температуру хрупкости; температуру вспышки. Для каждого показателя в КМК-систему занесены данные о методе определения и используемом оборудовании.

В подкатегории № 3 «Физико-механические показатели» представлены наиболее важные контролируемые показатели качества дорожных пропиток. Эти

показатели включают температуру размягчения по кольцу и шару, растяжимость, однородность. Для определения показателя размягчения по кольцу и шару в КМК-систему занесены как отечественные, так и зарубежные приборы: РК-1, РКА-5, КИШ-20 и Линтел КИШ-20М4. Методика определения температуры размягчения по кольцу и шару (подкатегория № 3.1) описана в ГОСТ 11506-73 и ОДМ 218.7.004-2008 [140].

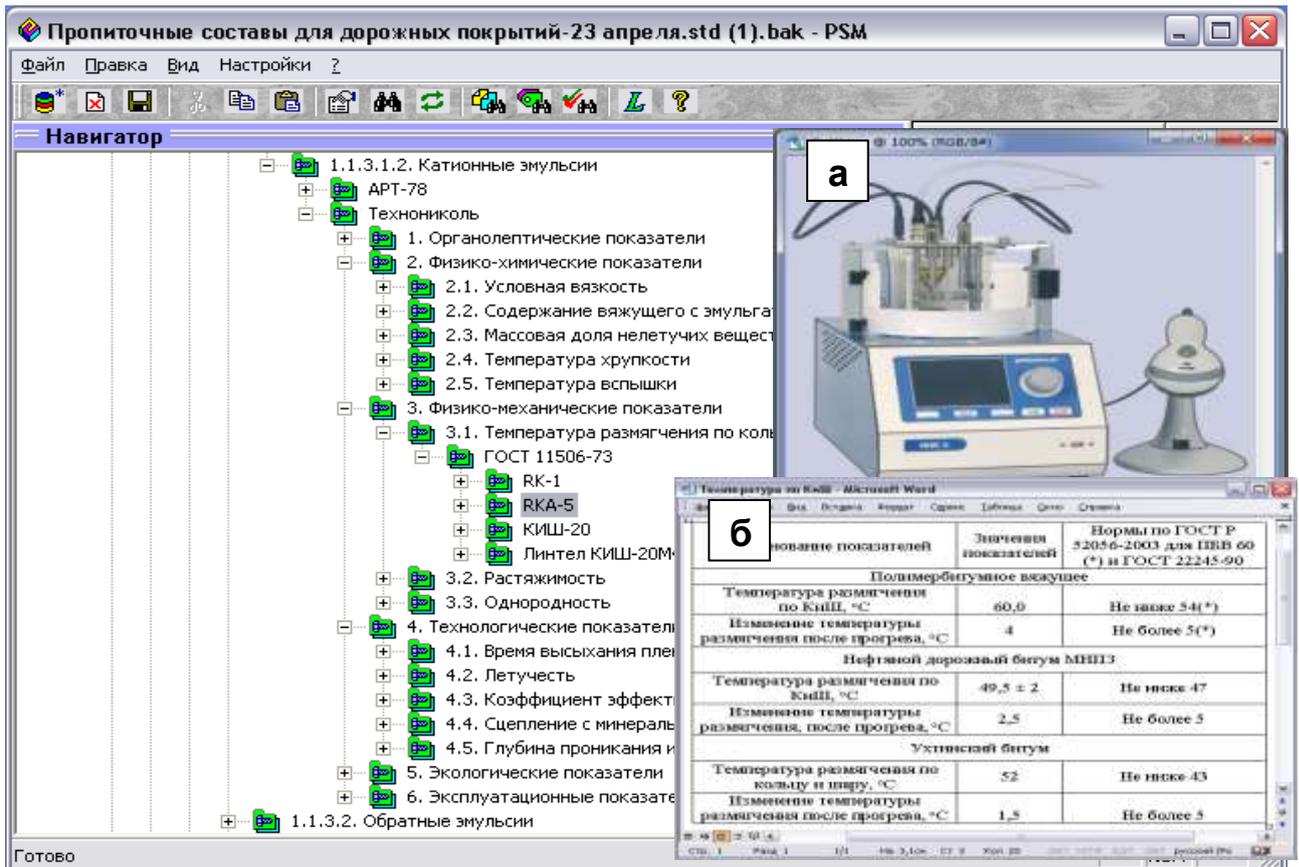


Рисунок 5.2 – CALS-проект «Пропиточные составы». Катионные эмульсии – «Технониколь» – Физико-химические показатели – Температура размягчения по кольцу и шару (а – аппарат РКА-5; б – температуры размягчения битумов).

Используемый для испытания аппарат (рисунок 5.2-а) состоит из стакана (бани) термостойкого стекла; латунных ступенчатых колец; пластинок металлических (верхняя пластинка имеет три отверстия: два для помещения колец и третье – для термометра); штатива, поддерживающего пластинки; направляющей металлической накладкой для концентрического размещения

шариков (допускается проводить определение без направляющей накладки); шарики стальные по ГОСТ 3722-81 каждый и термометра ртутного типа ТН-3 и ТН-7 по ГОСТ 400-80. Требования к применяемым приборам и нормы по ГОСТ для дорожных полимерно-битумных вяжущих материалов занесены в соответствующие подкатегории КМК-системы (рисунок 5.2-б).

В подкатегории № 4 «Технологические показатели» представлены основные индикаторы качества, характеризующие взаимодействие пропитки с дорожным покрытием: время высыхания пленки на поверхности, летучесть, коэффициент эффективности, сцепление с минеральными материалами и глубина проникания иглы [140].

Однако, для эффективного использования приведенной выше КМК-системы необходима модернизация, обладающая инструментами для структурирования показателей качества. Также необходима разработка автоматизированной справочной системы, которая отсутствовала в старой версии. В связи с этим, в следующем разделе мы рассмотрим обновленный функционал КМК-системы дорожных пропиток в новой версии PDM STEP Suite 5.7, включающий в себя электронный документооборот и группировку характеристик, для более эффективной оценки и контроля качества дорожных пропиток.

## **5.2. Обновленный функционал КМК-системы дорожных пропиток в версии PDM STEP Suite 5.7**

Основным отличием новой модернизированной КМК-системы от программного продукта PDM STEP версии 1.7 является использование обновленного функционала актуальной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7 для размещения всей необходимой документации по каждому пропиточному составу, включая нормативную документацию, сопровождающую и технологическую. Для анализа импортных образцов важен учет двух типов сопровождаемой документации – «TDS» и «SDS». TDS (Technical Data Sheet) и SDS (Safety Data Sheet) – это два разных типа документации, которая

предоставляется в описании продукта и связана с его характеристиками и безопасностью. Оба эти документа важны при выборе и использовании товаров, особенно если они связаны с химическими или техническими характеристиками. TDS помогает понять, как правильно использовать продукт, а SDS предостерегает от потенциальных опасностей и дает рекомендации по обеспечению безопасности при работе с ним [145].

Электронный документооборот в новой версии PDM Step Suite 5.7 позволяет пользователям легко создавать, обмениваться и управлять документами и данными в режиме реального времени. Эта функциональность имеет следующие преимущества:

- Быстрота и эффективность. Электронный документооборот ускоряет процессы обмена информацией и утверждения документов. Документы могут быть отправлены и получены мгновенно, без необходимости физической передачи бумажных копий.
- Улучшенная доступность. Пользователи могут получать доступ к документам и данным из любой точки, где есть интернет-соединение. Это делает работу более гибкой и позволяет эффективно сотрудничать удаленно.
- Централизованное хранилище. Электронные документы и данные хранятся в централизованной системе, что упрощает их поиск, организацию и архивирование. Это снижает риск утери или недоступности важных документов.
- Система уведомлений и контроля. Пользователи могут настраивать уведомления и контролировать процессы согласования и утверждения. Это помогает избегать задержек и обеспечивает более точное выполнение задач.
- Интеграция с другими системами. Новая версия PDM Step Suite может интегрироваться с другими программами и системами, что обеспечивает более плавный обмен данными и более широкий функционал.

Таким образом, электронный документооборот в PDM Step Suite версии 5.7 повышает производительность, упрощает управление документацией и усиливает совместную работу, что делает его более современным и адаптированным к современным требованиям в области компьютерного менеджмента качества

дорожных пропиток.

Например, рассмотрим реализацию электронного документооборота для восстанавливающих пропиточных составов на основе нефтяного битума (рисунок 5.3). В этой категории дорожные пропитки, полученные путем эмульгирования битума (подкатегория 1.1.1), представляют особый интерес. Существует два типа эмульсий: прямые эмульсии и обратные эмульсии, которые соответствуют подкатегориям №№ 1.1.1.1 и 1.1.1.2. Битумные эмульсии могут быть анионными или катионными в зависимости от используемого эмульгатора [67, с. 19].

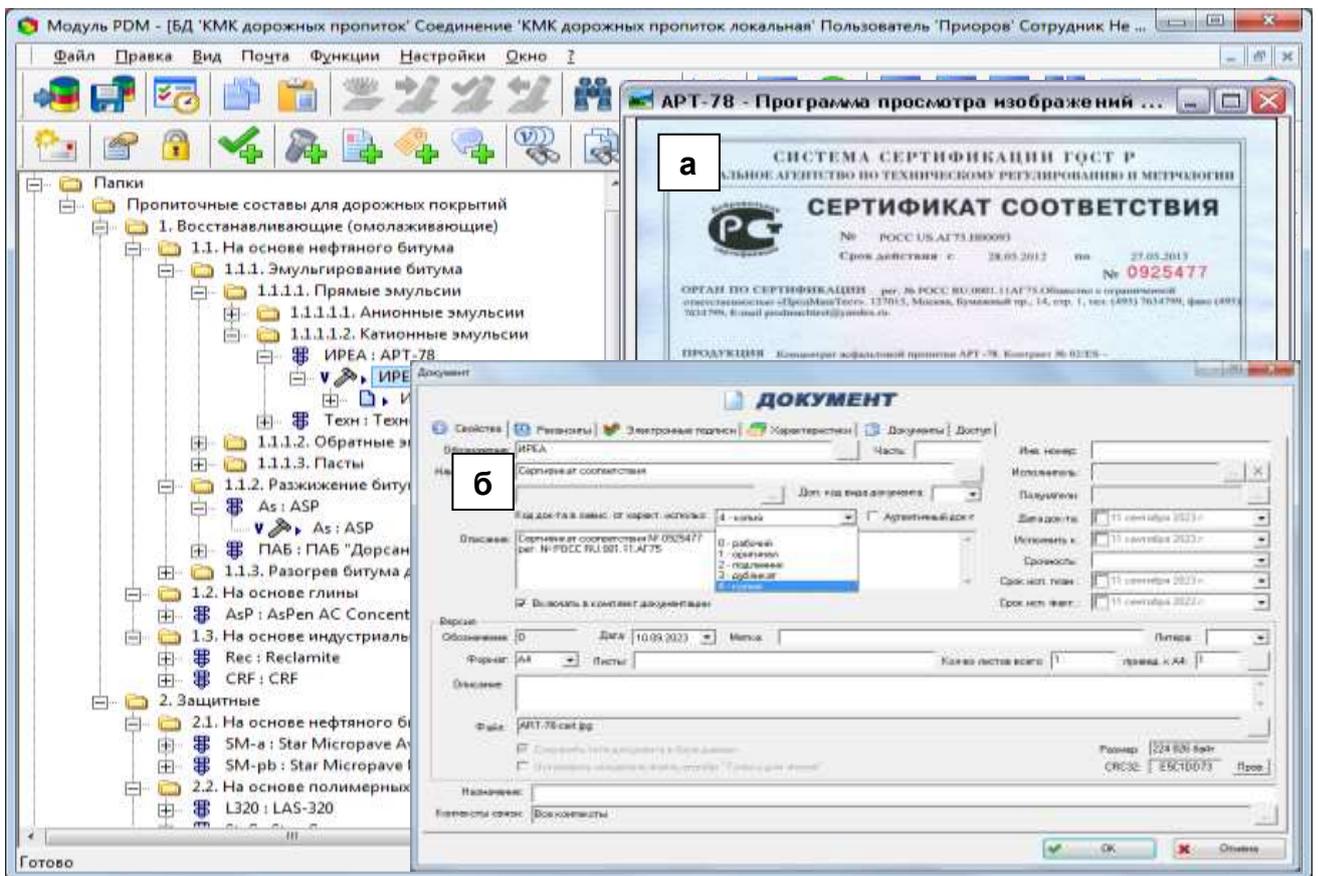


Рисунок 5.3 – Элемент CALS-проекта модернизированной КМК-системы «Пропиточные составы». (а - сертификат соответствия АРТ-78, б – окно редактирования электронных документов).

В модернизированную КМК-систему занесен ассортимент восстанавливающих и защитных дорожных пропиток, в том числе и не содержащих битумы. Например, дорожная пропитка LAS-320 является новой

разработкой корпорации Enviroseal. Этот продукт рекомендован для обработки поверхности асфальта и не является составом на основе нефти. LAS-320 прошел всесторонние испытания под воздействием внешней среды, включая тесты по замораживанию и оттаиванию. Также, в модернизированную КМК-систему дорожных пропиток были занесены защитные составы: на основе щелочей (StreetBond150); на основе рафинированных смол (Star Aviator); на каменноугольной основе (Star Micropave Supreme); содержащие битум (Star Micropave Aviator, Star Micropave ProBlend) (рисунок 5.3) [142 с. 33].

Из существующих на рынке импортных и наиболее популярных пропиток «можно выделить материал ASP, производимый американской фирмой «ChemCrete». Данная пропитка является пропитывающим, герметизирующим и гидрофобизирующим составом на органическом растворителе для существующих асфальтовых покрытий» [131, с. 8]. Тем не менее, из-за высокой стоимости материала ASP была проведена работа по изучению и разработке отечественных композиций для защиты дорожного покрытия применительно к российским условиям эксплуатации дорог.

Новый пропиточный состав АРТ-78, представленный на рисунке 5.3-а, разработан в НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА [147, 148]. Он предназначен для сохранения, восстановления и модификации важных свойств асфальта. Он обеспечивает повторное связывание и стабилизацию покрытия, уплотняет и восстанавливает связующие компоненты асфальтобетона, при этом улучшая внешний вид асфальта.

Для этого пропиточного состава в модернизированную КМК систему добавлена вся необходимая документация, в том числе и сертификат соответствия (рисунок 5.3-а), который подтверждают безопасность продукции, и ее согласованность со стандартами, установленными техническими регламентами или ГОСТом.

Стоит отметить, что в модернизированной КМК-системе, помимо возможности загрузки и просмотра документов, доступен выбор типа передаваемых файлов, например: оригинал, копия, дубликат и т.д. В данном

случае для загруженного сертификата соответствия установлен тип «копия» (рисунок 5.3-б).

Новая версия программы PDM STEP Suite 5.7 позволяет пользователям создавать и изменять параметры и словаря, и характеристик каждого введенного объекта, и сгруппировать их для облегчения использования (рисунок 5.4). Это позволяет настроить программу для конкретных условий и требований, что увеличивает скорость обработки информации.

В модернизированную КМК-систему дорожных пропиток были импортированы «шесть групп показателей качества из старой версии CALS-проекта (PDM STEP Suite 1.7): органолептические, физико-химические, физико-механические, технологические, экологические и эксплуатационные» [140]. Для каждой группы соответствующие характеристики добавляются в систему с указанием их параметров и единиц измерения (рисунок 5.4-а).

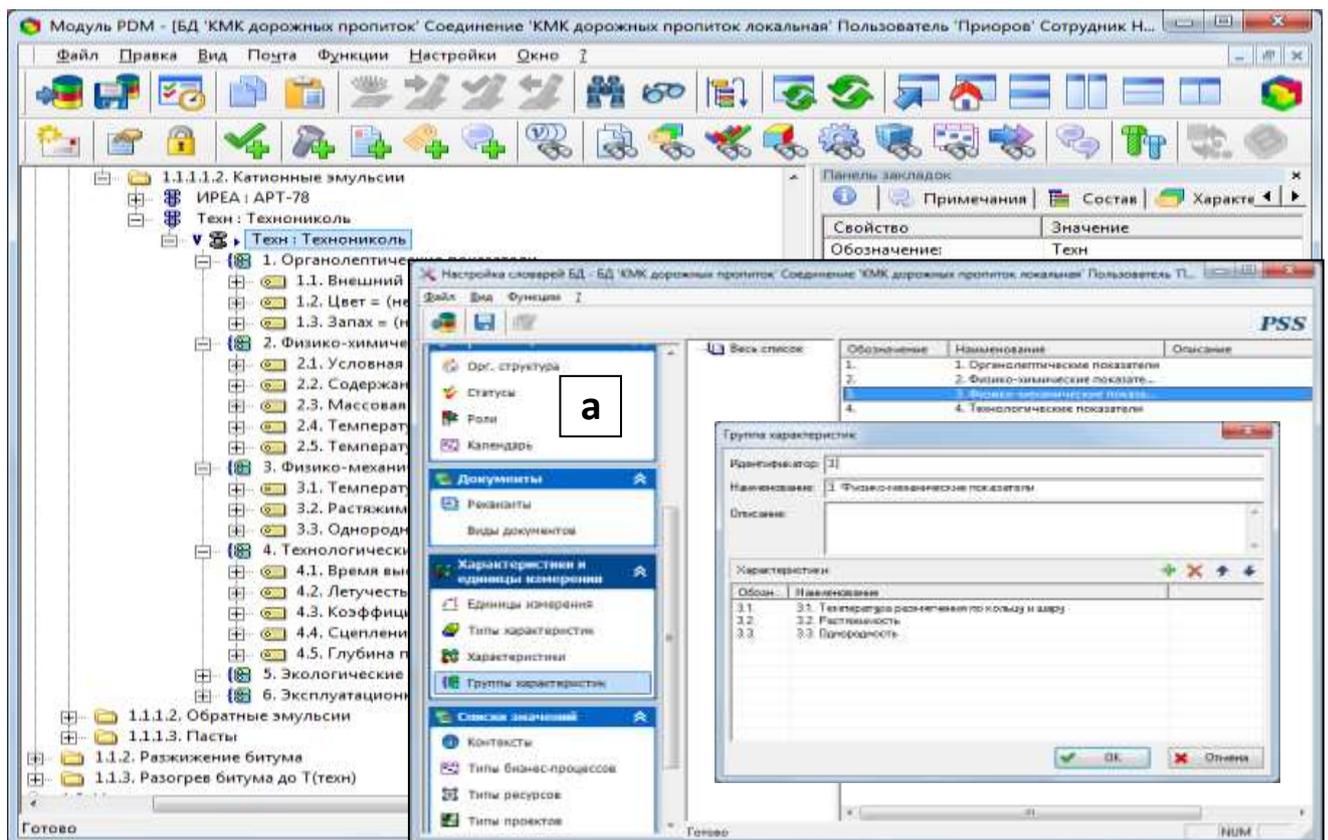


Рисунок 5.4 – Элемент CALS-проекта модернизированной КМК-системы «физико-механические показатели» дорожных пропиток (а – редактирование группы характеристик «Физико-химические показатели»).

Таким образом, группировка характеристик позволяет организовать информацию в логические категории или подразделы, которые могут быть легко сравниваемы и анализируемы. Это делает процесс хранения и поиска данных более удобным и эффективным для пользователей модернизированной КМК-системы. Также это позволило подготовить и структурировать всю необходимую сопровождающую документацию, что особенно важно для управления качеством. Отчеты, сертификаты, технические спецификации и другие документы могут быть легко организованы и ассоциированы с соответствующими характеристиками и показателями качества дорожных пропиток.

### **Выводы по главе 5**

1. Литературный анализ показал, что система компьютерного менеджмента качества дорожных пропиток предлагает автоматизированный подход к оценке и контролю качества защитных и восстанавливающих составов. Использование такой системы позволяет упростить процесс мониторинга качества дорожных пропиток, сократить время на анализ и уменьшить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

2. При анализе КМК-системы дорожных пропиток, в версии PDM STEP Suite 1.7 был выявлен ряд ограничений в функционале старой версии программного обеспечения. На момент разработки, PDM STEP Suite 1.7 не позволял реализовать электронный документооборот между пользователями. Поэтому КМК-система дорожных пропиток не может обеспечить эффективное управление сопровождающей документацией, что требует модернизации и совершенствования системы.

3. При модернизации, разработанной под руководством к.т.н. Глушко А.Н., КМК-системы дорожных пропиток рассмотрены новые возможности в современной версии программного комплекса PDM STEP Suite (версия 5), а также продемонстрированы инновации и усовершенствования, которые превратили PDM STEP Suite в ведущее решение для управления

данными об изделии.

4. Показано, что ключевым отличием новой, модернизированной КМК-системы дорожных пропиток является использование обновленного функционала актуальной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7 для группировки показателей качества в соответствующем словаре. Таким образом, в новом CALS-проекте для каждой группы показателей качества была создана отдельная группа характеристик. Это делает процесс хранения и поиска данных в системе более удобным и эффективным.

5. Модернизированные системы компьютерного менеджмента дорожных пропиток являются крайне важным инструментом для обеспечения безопасности на автомобильных дорогах. Они предоставляют возможность оценить качество и соответствие дорожных пропиток установленным нормам и требованиям, а также подготовить и структурировать всю необходимую сопровождающую документацию, что особенно важно при управлении качеством, что в конечном итоге способствует снижению аварийности и повышению безопасности на дорогах.

## **Глава 6 Разработка автоматизированного CALS-проекта модульной опытно-промышленной установки производства дорожных пропиток**

Ключевой задачей технологии содержания автомобильных дорог является поддержание высокого качества асфальтобетонного покрытия. Для эффективного решения этой проблемы применяются дорожные пропиточные композиции (дорожные пропитки) [153].

Была создана опытно-промышленная установка, предназначенная для получения защитных композиций заданного состава в количествах, достаточных для проведения расширенных испытаний в реальной обстановке на выделенных участках автомобильных дорог [154]. Разработка установки проводилась с помощью информационных CALS-технологий [146].

Работы проводились по двум направлениям: разработка CALS-проекта технологического регламента опытно-промышленной установки и разработка CALS-проектов объектных и понятийных справочников [155], связанных с ремонтом, эксплуатацией и другими этапами жизненного цикла [156, 157]. Эти направления представляют наибольшую значимость для автоматизации разработки производства дорожных пропиток на основе концепции CALS [158].

### **6.1 Разработка CALS-проекта технологического регламента опытно-промышленной установки**

При проектировании CALS-системы опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиток были разработаны базы данных, в которые заложены основные типы нормативно-технической документации: технические условия, технологический и лабораторный регламент, исходные данные на проектирование. Наибольшее внимание в данной работе уделено разработке технологического регламента, в основе информационной структуры которого лежит «Положение о технологических регламентах производства продукции на предприятиях химического комплекса». В структуру CALS-системы

автоматизированного проектирования заложены все этапы разработки технологического регламента модульного производства дорожных пропиток [27].

Разработка CALS-проекта технологического регламента не только структурирует производственные процессы, но и способствует улучшению мониторинга и контроля за критическими параметрами. В следующем разделе более подробно рассматривается этап проектирования модульной опытно-промышленной установки для получения пропиточных композиций.

### **6.1.1 Анализ опытно-промышленной установки производства дорожных пропиток**

Опытно-промышленная установка была разработана в НИЦ «Курчатовский институт» - ИРЕА, в соответствии с проектом Минобрнауки России № 14.579.21.0025 по теме «Создание технологии производства пропиточных композиций, защищающих дорожные асфальтобетонные покрытия от негативных воздействий природного и техногенного характера для снижения ресурсоемкости их эксплуатации» [159, с. 74].

Разработанная модульная установка (рисунок 6.1) соответствует требованиям технического задания и обладает следующими характеристиками: производительность по пропиточной композиции не менее 20 кг/час; узел нагрева битума обеспечивает нагрев битума до 150 °С за время не более 2 часов; термостатирование реакционной емкости обеспечивает заданную температуру от 180 до 220 °С в пределах 10 °С; модуль нагрева обеспечивает нагрев подаваемого битума в реакционную ёмкость до 200 °С и выше; модуль охлаждения вяжущего компонента обеспечивает охлаждение массы до температуры не выше 130 °С [159, с. 75].

Кроме основных требований технического задания установка удовлетворяет следующим дополнительным требованиям, повышающим ее технологичность:

1. Узел нагрева битума включает узел нагрева нефтеполимерной смолы (НПС).

2. Конструкция реакционного узла обеспечивает полную выгрузку модифицированного битума.

3. Температура массы после смешения с растворителем не бывает меньше 100°C.

4. Смешение является двухступенчатым: пассивное, на основе сужения-расширения потока и деления-соединения (первичная гомогенизация); активное, на основе перемешивания механической мешалкой для окончательной гомогенизации (вторичная гомогенизация).

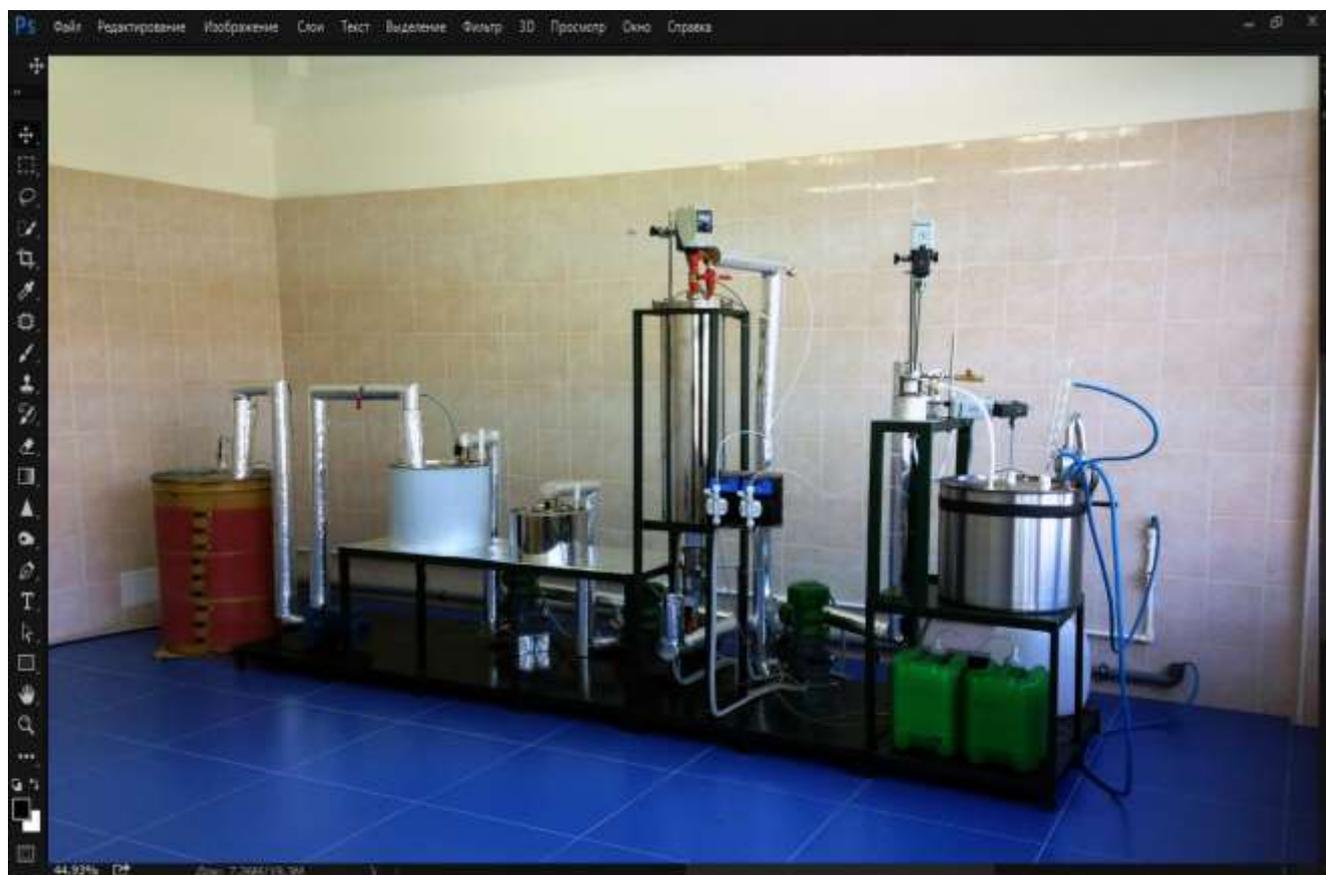


Рисунок 6.1 – Электронный документ: «Общий вид опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиток»

Опытно-промышленная установка для получения защитной пропиточной композиции основана на процессе модификации битума в условиях непрерывного реактора идеального смешения. Данный режим модификации наиболее легко масштабируем, не требует повышенной мощности электронагревательного

оборудования и легко контролируется [159, с. 76].

Проведенные экспериментальные исследования на модели проточного реактора выявили два основных варианта непрерывного процесса, при которых получается вязущий компонент, с требуемыми свойствами: уменьшение количества нефтеполимерной смолы до 10% или снижение температуры модификации до 175°C. Оба варианта получения вязущего компонента могут быть реализованы на опытно-промышленной установке. Установка состоит из четырех основных аппаратурных модулей (узлов): узел загрузки битума; узел нагрева битума и нефтеполимерной смолы (НПС); узел приготовления вязущего компонента; узел приготовления пропиточной композиции. Два узла установки (загрузки битума и нагрева битума и НПС) независимы. Узел приготовления вязущего компонента и узел приготовления пропиточной композиции зависимы друг от друга, имеют общее оборудование и оснащены системой управления, которая контролирует включение/выключение узла приготовления пропиточной композиции в зависимости от состояния технологического процесса в узле приготовления вязущего компонента.

Процесс загрузки битума состоит из следующих стадий: разогрев битума в бочке и подача битума в соответствующую емкость. Разогрев битума в бочке осуществляется с помощью трех бочковых силиконовых нагревателей с нерегулируемым нагревом и защитой от перегрева поверхности нагревателя. Подача битума из бочки осуществляется с помощью центробежного насоса, позволяющего перекачивать жидкости, имеющие температуру до 200°C [159, с. 76].

В следующем разделе более подробно рассматривается разработанная типовая структура опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиточных композиций. Также подробно рассматриваются основные этапы компьютерного описания жизненного цикла (ЖЦ) изделия в концепции CALS. Основное внимание при рассмотрении этапов ЖЦ (маркетинг, разработка-проектирование, производство, эксплуатация-ремонт, реализация) было уделено таким процессам как разработка и проектирование.

## 6.1.2 Разработка структуры CALS-проекта технологического регламента опытно-промышленной установки

В разработанной структуре CALS-проекта технологического регламента производства дорожных пропиток выделены следующие 14 подкатегорий (рисунок 6.2): общая характеристика производств; характеристика производимой продукции; характеристика исходного сырья, материалов, полупродуктов энергоресурсов; описание технологического процесса и схемы; материальный баланс; нормы расхода основных видов сырья, материалов и энергоресурсов; нормы образования отходов производства; контроль производства и управление технологическим процессом; возможные неполадки в работе и способы их ликвидации; охрана окружающей среды; безопасная эксплуатация производства; перечень обязательных инструкций; чертеж технологической схемы производства; спецификация основного технологического оборудования и технических устройств, включая оборудование общего назначения [159, с. 77].

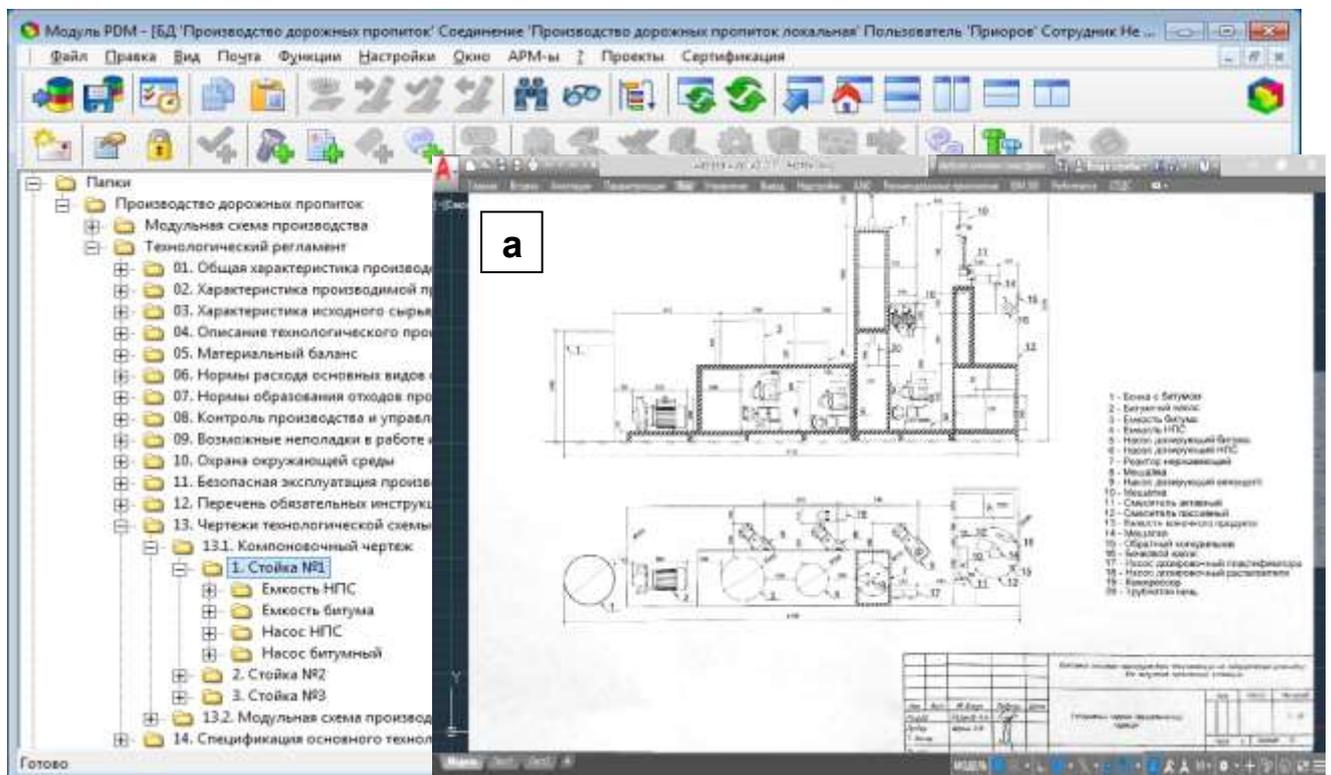


Рисунок 6.2 – CALS-проект технологического регламента опытно-промышленной установки (а – компоновочный чертеж технологической схемы)

В приведенном элементе информационного CALS-проекта рассматривается 13-я подкатегория технологического регламента – чертежи технологической схемы производства. Первый конструкторский документ этой подкатегории – компоновочный чертеж технологической схемы (рисунок 6.2-а).

Компоновка опытно-промышленной установки выполнена на трех стойках из металлического профиля. На первой стойке располагается следующее технологическое оборудование: емкости битума и НПС; дозировочный насос битума; дозировочный насос НПС. Стойка для оборудования двухуровневая. На нижнем уровне располагаются насосы, на верхнем уровне емкости. При этом нижний уровень расположен рядом с верхним. Такое расположение предлагается в связи с необходимостью настройки и калибровки дозирующих насосов, их периодическому обслуживанию. Расположение емкостей на верхнем уровне обусловлено необходимостью визуального контроля уровня битума и НПС при заполнении емкостей.

На второй стойке расположено следующее оборудование: реакционная емкость с перемешивающим устройством; дозирующий насос вяжущего компонента; дозирующий насос пластификатора; дозирующий насос нефтяного растворителя; нагреватель смеси битума и НПС; компрессор. Под реакционной емкостью предусмотрено место для расположения подъемного столика и емкости для калибровки насосов.

На третьей стойке располагаются емкости растворителя и пластификатора, емкость готового продукта с перемешивающим устройством, смеситель пассивный и смеситель активный с мешалкой. Стойки расположены на расстоянии 60 см от стены помещения для обеспечения доступа к насосам, емкостям с растворителем и пластификатором [1].

### **6.1.3 Разработка CALS-проектов аппаратурно-технологических модулей опытно-промышленной установки**

Подкатегория CALS-проекта «13.2. Модульная схема производства»

разбита на четыре блока (рисунок 6.3). Подготовка исходных компонентов осуществляется в двух узлах (блоках): узле загрузки битума; узле нагрева битума и НПС [159, с. 79].

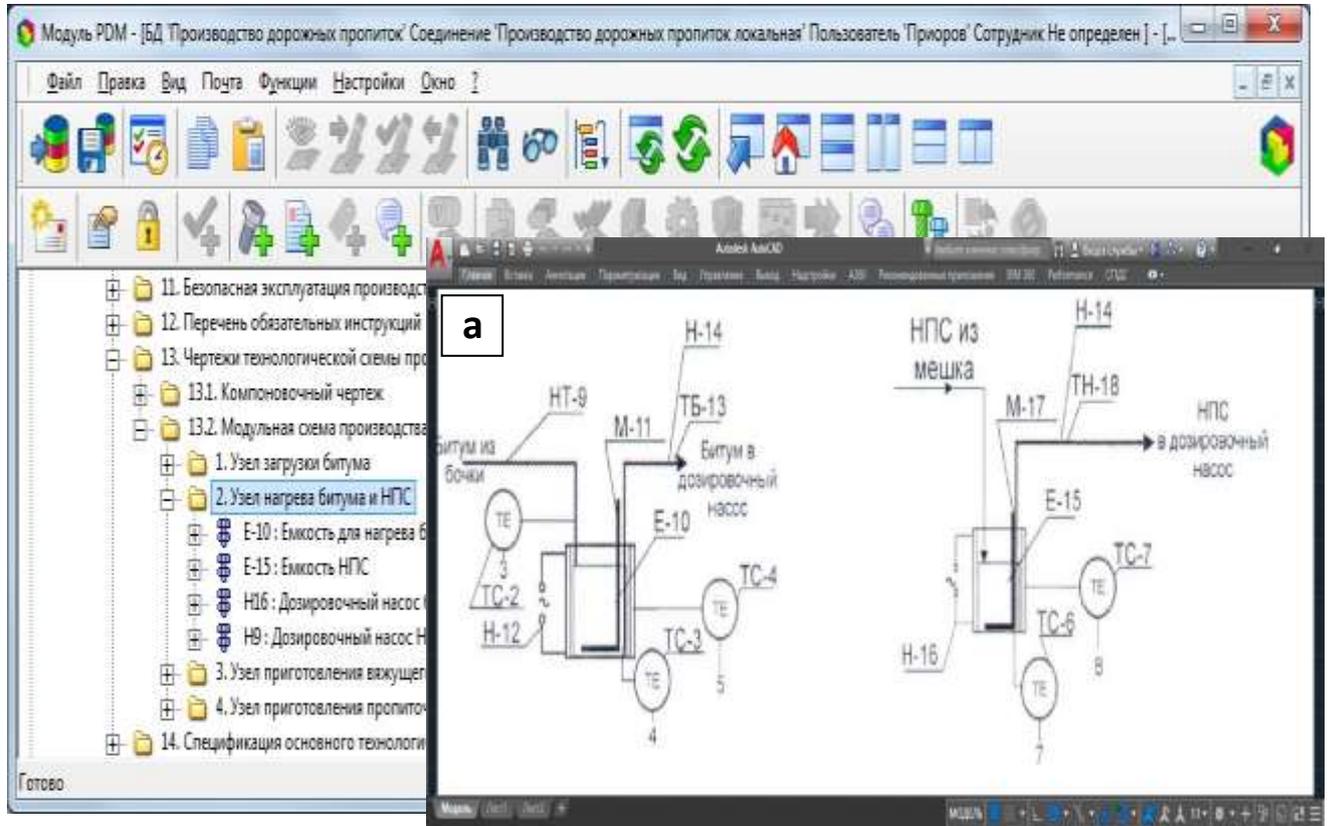


Рисунок 6.3 – Элемент CALS-проекта технологического регламента (а - узел нагрева битума и НПС)

Приготовление пропиточной композиции происходит в узле приготовления пропиточной композиции. Узел загрузки битума предназначен для подачи битума в емкость битума из потребительской тары – бочки. Разогрев битума в бочке планируется заранее, поскольку перекачка битума возможна только через несколько часов.

В основной технологический процесс время на разогрев не входит. При непрерывной ежедневной работе установки в 1-2 смены, нагрев бочки осуществляется постоянно, а загрузка битума в предназначенную для него емкость – периодически. При работе с новой бочкой, после размягчения битума в бочку погружают гибкую металлическую трубу и закрепляют ее на жестком

трубопроводе битума. По достижении температуры битума в бочке заданного значения, включают битумный насос и открывают кран для заполнения емкости битума (визуальный контроль).

Узел нагрева битума и НПС (рисунок 6.3-а) является подготовительным, поскольку в нем происходит нагрев битума и НПС до температуры дозирования этих компонентов. Нагрев битума и НПС осуществляется в емкостях Е-10 и Е-15 соответственно. Емкости оснащены нагревателями Н-12 и Н-16 соответственно, которые обеспечивают нагрев битума и НПС до температуры дозирования. Для оценки равномерности прогрева слоя, близкого к точке забора битума и НПС, емкости оборудованы ручными перемешивающими устройствами (рис. 3-а, поз. М-11 и М-17 соответственно), позволяющими вертикально перемешивать слой битума или НПС рядом с точкой забора. Нагрев осуществляется с автоматическим контролем температуры битума и НПС, контролем перегрева нагревательного элемента.

Основной процесс – модификации битума проводится в узле приготовления вяжущего компонента (рисунок 6.4). Битум и НПС поступают по обогреваемым трубопроводам (рис. 4-а, поз. ТБ-13 и ТБ-18 соответственно) в дозировочные насосы (поз. НД-19 и НД-20).

Дозировочные насосы оборудованы нагревательной рубашкой и защищены от включения при температуре ниже 130°C. При достижении битумом и НПС заданной температуры, насосы НД-19 и НД-20 включаются вручную и начинается подача битума и НПС в реакционную емкость Р-25. Подающие линии битума и НПС соединяются и по трубопроводу ТН-22 через трубчатую печь поступают в реакционную емкость Р-25. Трубчатая печь (рисунок 6.4-а, поз. ТП-24) служит для быстрого разогрева смеси битума и НПС до температуры модификации, которая обычно лежит в пределах 175-180°C [1, с. 97].

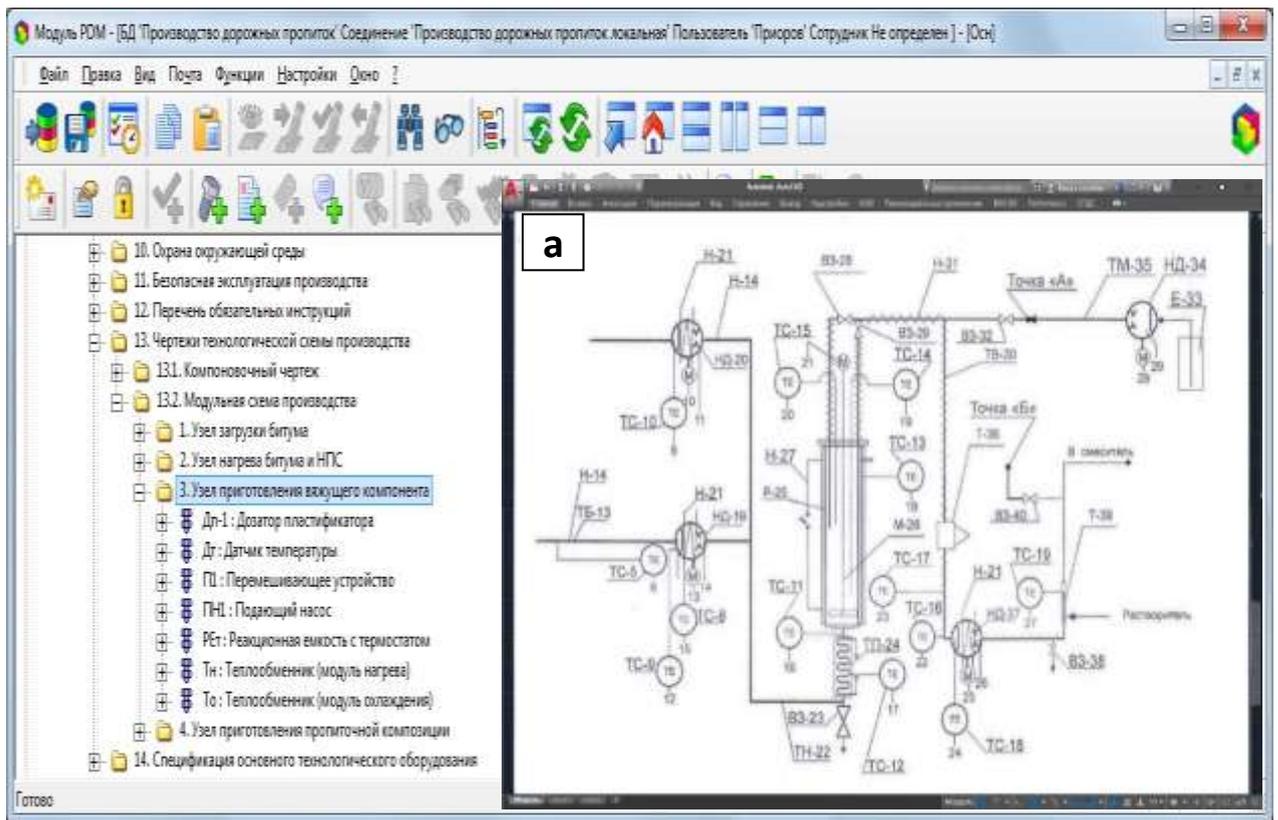


Рисунок 6.4 – Элемент CALS-проекта технологического регламента (а - узел приготовления вяжущего компонента)

Реакционная емкость представляет из себя вертикальный проточный реактор, работающий в режиме идеального смешения. Реактор оснащен перемешивающим устройством – пропеллерной мешалкой. Заданная температура поддерживается автоматически при помощи нагревательной рубашки и термометра сопротивления ТС-14. Выгрузка модифицированного битума осуществляется принудительно дозировочным насосом по трубопроводу, погруженному в реакционную емкость через ее крышку. Изменяя длину погруженной части трубопровода, можно менять рабочий объем реактора.

Остаточное количество модифицированного битума, при завершении процесса, перекачивается путем переключения запорной арматуры в положение «закрыто» или «открыто». При этом отбор модифицированного битума начинает осуществляться с нижней части реакционной емкости. На выходе из реакционной емкости установлен ввод в трубопровод вяжущего компонента с запорным краном для подачи пластификатора при помощи дозирующего насоса вяжущего

компонента из емкости пластификатора. Включение дозирующего насоса пластификатора происходит автоматически при поступлении вязущего компонента в насос. Для снижения температуры вязущего компонента, поступающего в насос предусмотрено дополнительное воздушное охлаждение трубопровода.

Из дозирующего насоса вязущий компонент поступает в теплообменник. Дозирующий насос и теплообменник являются общими для двух узлов. Для узла вязущего компонента насос выполняет функцию отбора вязущего компонента, а для узла получения пропиточной композиции – дозирующего в смеситель. Для узла вязущего компонента теплообменник выполняет функцию охлаждения вязущего компонента до 130°C, а для узла получения пропиточной композиции – предварительного смесителя. Такая схема применена для безаварийной работы узла приготовления пропиточной композиции, поскольку без интенсивного перемешивания холодного нефтяного растворителя с горячим вязущим компонентом происходит выпадение смолистых продуктов.

Затем вязущий компонент дозируется из реакционной емкости насосом в теплообменник (рисунок 6.5). Охлаждение вязущего компонента происходит за счет подачи нефтяного растворителя дозирующим насосом из емкости нефтяного растворителя во внешнюю трубу теплообменника.

На выходе охлажденный вязущий компонент и нагретый нефтяной растворитель смешиваются и поступают в пассивный смеситель (рисунок 6.54-а), действие которого основано на делении/соединении потоков для предварительной гомогенизации. Из смесителя пропиточная композиция поступает в активный смеситель (рисунок 6.5-б), оснащенный механической мешалкой. Гомогенизированная пропиточная композиция из смесителя поступает в емкость готовой пропиточной композиции, оснащенную механической мешалкой и змеевиковым теплообменником – охладителем готовой композиции. Для предотвращения выброса паров нефтяного растворителя в атмосферу, на крышке емкости установлен обратный холодильник [1, 159].

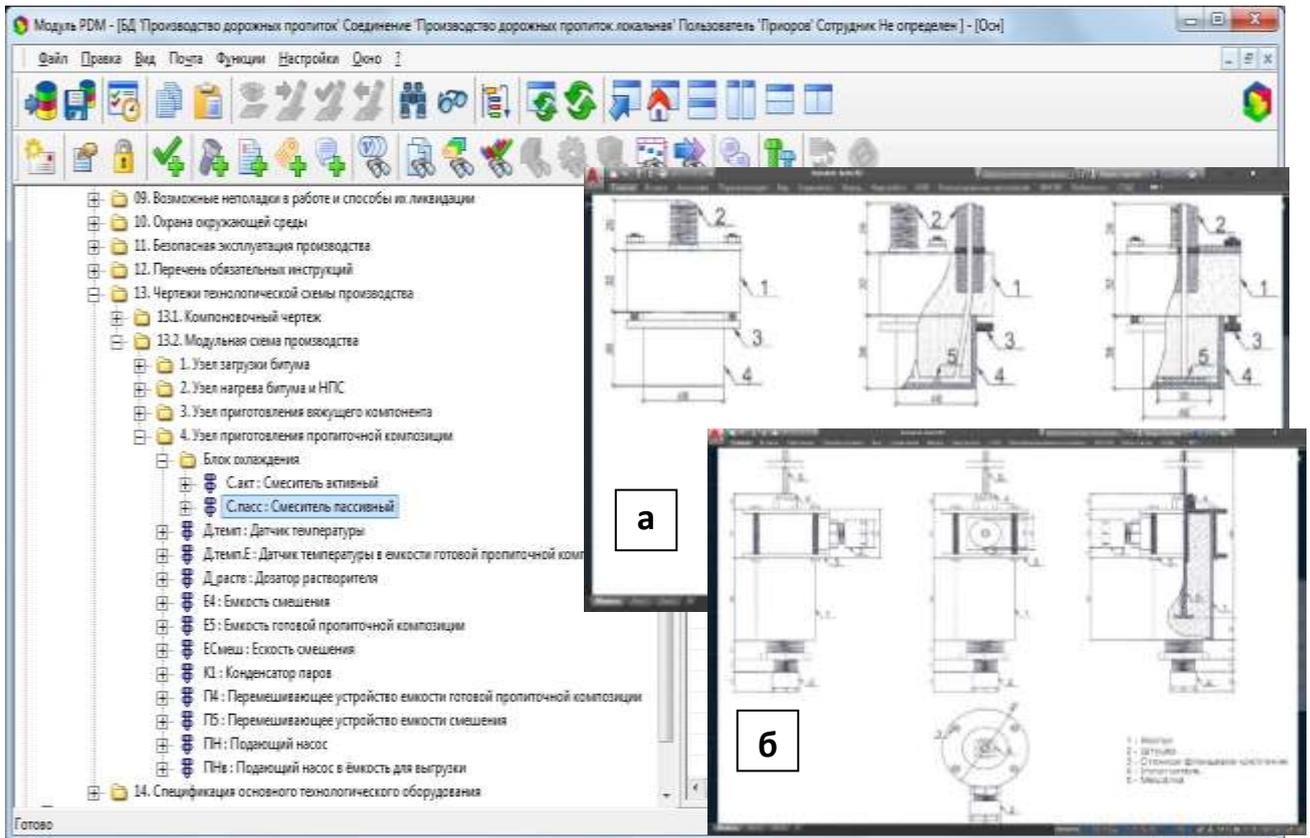


Рисунок 6.5 – Элемент CALS-проекта технологического регламента «Узел приготовления пропиточной композиции» (а – смеситель активный; б - смеситель пассивный).

Для информационной поддержки управления опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиточных композиций была разработана CALS-система. В неё занесена вся необходимая справочная информация. В информационной системе предусматривается создание справочников двух типов: справочник понятий (понятийный справочник или «словарь») и справочник понятий и объектов (объектный справочник). В следующем разделе более подробно рассматривается разработка таких справочников.

## 6.2 Разработка объектных и понятийных справочников для CALS-проекта опытно-промышленной установки

Для каждого узла установки в информационную справочную систему занесены все необходимые параметры и характеристики. Таким образом, на этапе

разработки опытно-промышленной установки становится возможным автоматизированный как расчет базовых параметров проектируемой установки (мощность, габариты, объемы емкостей, производительность установки и др.), так и параметры для каждого из 4-х узлов и их основных элементов (реакторы, насосы, реакционные емкости и др.) [155, с. 76].

Для одного из самых высокоэффективных узлов установки – узла приготовления вяжущего компонента, и входящего в него реактора, в информационной CALS-системе был создан объектный справочник. Справочник по реакторному оборудованию играет важную роль в автоматизации и улучшении эффективности процесса приготовления дорожной пропитки. Он обеспечивает единое и надежное хранилище данных, которое упрощает мониторинг и управление оборудованием, повышая при этом качество и надежность производства. В следующем разделе более подробно рассмотрен элемент разработанного CALS-проекта объектного справочника для этого узла.

### **6.2.1 Разработка объектного справочника по реакторному оборудованию**

Для узла приготовления вяжущего компонента в справочник CALS-проекта опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиток добавлена как технологическая схема (рисунок 6.6), так и все составные части реакторного узла: нагреватели, термометры сопротивления, дозировочные насосы битума и нефтеполимерной смолы, реакционные сосуды, устройства для смешения композиции, трубчатая печь, краны, вентили, элементы теплообменной системы и системы трубопровода (рисунок 6.6-а) [155, с. 78].

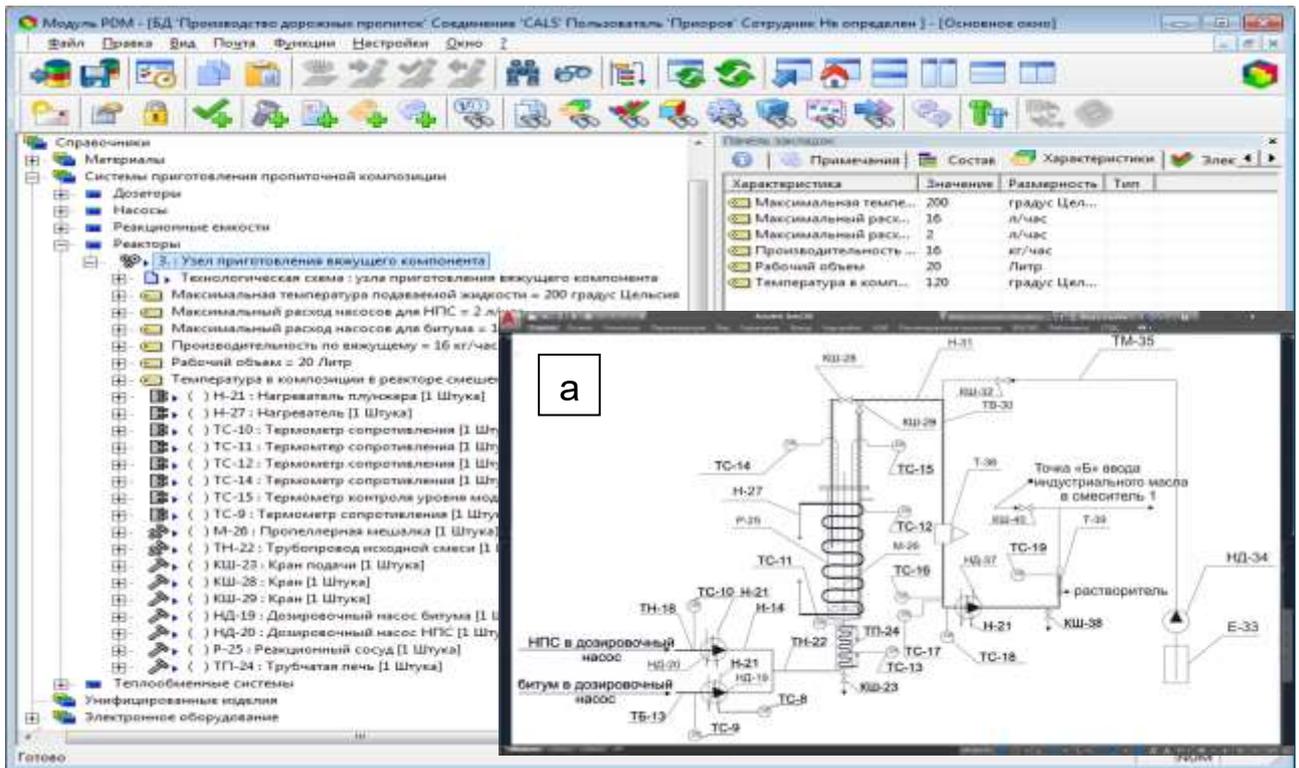


Рисунок 6.6 – Объектный справочник по реакторному оборудованию  
(а- узел приготовления вяжущего компонента)

При разработке справочника понятий не предусматривается возможность связи элементов структуры справочника с объектами CALS-системы. Соответственно, пользователь не может обратиться к объектам системы и их характеристикам. Справочник понятий может быть использован только как словарь, источник информации. В следующем разделе более подробно описывается пример такого типа справочника по ремонту технологического оборудования опытной установки.

## 6.2.2 Разработка понятийного справочника по ремонту технологического оборудования

При разработке понятийного справочника по ремонту оборудования опытно-промышленной установки в информационную CALS-систему были добавлены все возможные неисправности, которые были выявлены в процессе испытаний (рисунок 6.7). Они были разделены на две основные подгруппы –

критические аварии и неисправности отдельных элементов системы. В каждую подкатегорию входит как перечень всех выявляемых неисправностей, так и возможные причины их появления.

В отличие от справочника объектов, при разработке справочника понятий не предусматривается возможность связи элементов структуры справочника с объектами CALS-системы. Соответственно, пользователь не может обратиться к объектам системы и их характеристикам [155, с. 79].

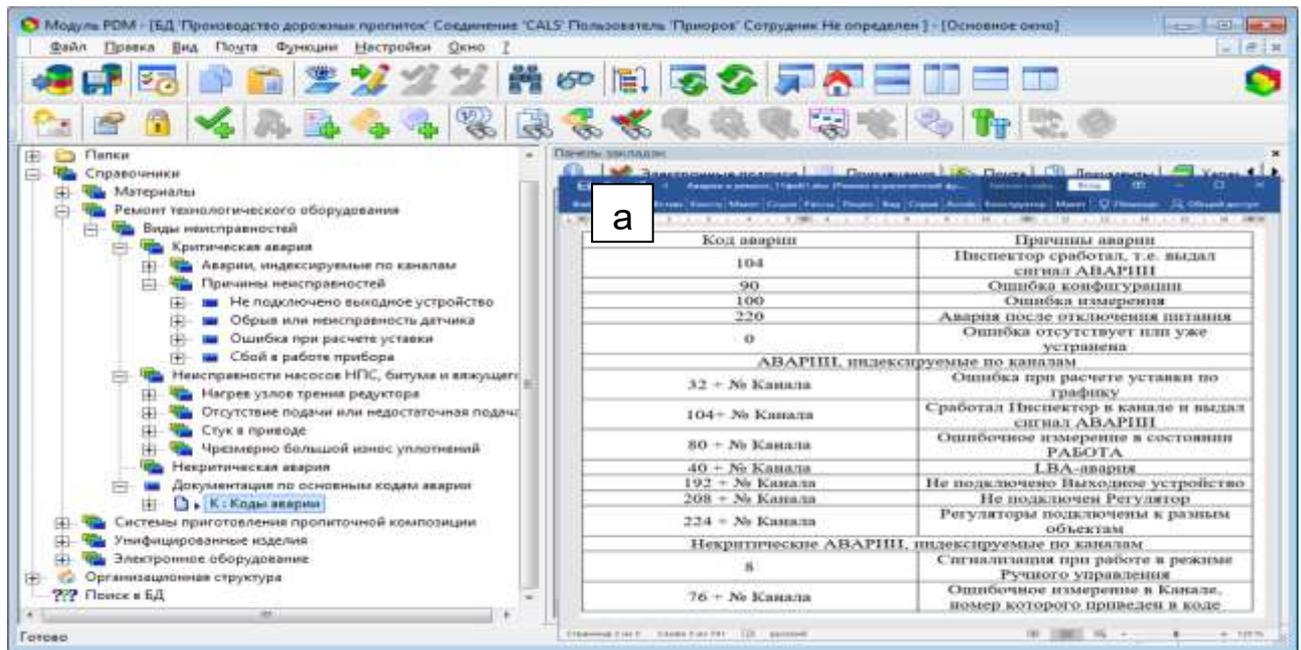


Рисунок 6.7 – Элемент CALS-проекта справочника по ремонту технологического оборудования (а – перечень кодов аварий и их возможные причины)

Справочник понятий может быть использован только как словарь, источник информации. В следующем разделе более подробно рассматривается такой элемент CALS-проекта опытно-промышленной установки - понятийный справочник по ремонту оборудования.

При разработке понятийного справочника по ремонту оборудования опытно-промышленной установки в информационную CALS-систему были добавлены все возможные неисправности, которые были выявлены в процессе испытаний (рисунок 6.7). Они были разделены на две основные подгруппы – критические аварии и неисправности отдельных элементов системы. В каждую

подкатегорию входит как перечень всех выявляемых неисправностей, так и возможные причины их появления.

В CALS-системе предусмотрен учет электронного контроля за работой опытной установки. При автоматическом обнаружении неисправности на экран пульта управления выводится код ошибки (аварии). Критическая авария подразумевает невозможность дальнейшей работы прибора без вмешательства персонала. Причиной возникновения критической аварии могут быть: обрыв или неисправность датчика; сбой в работе прибора; отсутствие подключения выходного устройства.

О критической аварии сигнализируют: сообщение «FAIL» на цифровом экране, непрерывное свечение или мигание аварийного светодиода. При некритической аварии пульт управления продолжает функционировать. Система выдает предупреждение и у оператора есть возможность оперативно устранить неисправность до того момента, пока авария не станет критической. Выяснение причины любой аварии и её типа (критической или некритической) возможно через разработанный понятийный справочник. В CALS-систему добавлена техническая документация, в которой указаны все возможные коды аварий и соответствующие им причины возникновения (рисунок 6.7-а). Это упрощает процесс управления оборудованием и его техническое обслуживание [155, с. 79].

Применение CALS-технологий для разработки современного промышленного производства имеет неоспоримые преимущества. В настоящее время выпуск конкурентоспособной продукции невозможен без информационной поддержки на базе компьютерных CALS-технологий, то есть с использованием единого стандартизированного информационного пространства на всех этапах жизненного цикла продукции – от проектирования до эксплуатации. Внедрение информационных CALS-технологий при разработке принципиальной конструкции модульного производства дорожных пропиток позволяет не только повысить качество исследовательских и конструкторских работ, но и обеспечить полное компьютерное сопровождение, включающее всю необходимую документацию в электронном виде [1].

## Выводы по главе 6

1. Разработана архитектура CALS-проекта технологического регламента опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиток. В основе информационной структуры CALS-проекта лежит «Положение о технологических регламентах производства продукции на предприятиях химического комплекса».

2. Разработан программный комплекс CALS-проекта технологического регламента опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиток. Комплекс разработан на базе информационной платформы PDM STEP Suite. В CALS-проект занесены данные по 14 категориям (разделам) технологического регламента. Максимальный объем информации занесен в категорию №13 - чертежи технологической схемы производства.

3. Проведен аппаратурно-технологический анализ модульной опытно-промышленной установки для получения дорожных пропиток, разработанной в НИЦ «Курчатовский институт» - ИРЕА, в соответствии с проектом Минобрнауки России № 14.579.21.0025 «Создание технологии производства пропиточных композиций, защищающих дорожные асфальтобетонные покрытия от негативных воздействий природного и техногенного характера для снижения ресурсоемкости их эксплуатации».

4. Рассмотрена подкатегория CALS-проекта «компоновочный чертеж технологической схемы». В информационную модель занесены узлы установки, расположенные на трех стойках. Показано, что такое расположение предлагается в связи с необходимостью настройки и калибровки отдельных модулей и их периодического обслуживания.

5. В информационную модель CALS-проекта технологического регламента для узлов «загрузки битума» и «нагрева битума и НПС» занесены все составные элементы. В архитектуру узла «нагрева битума и НПС» входят: две реакционные емкости (Е-10 и Е-15), нагревательные элементы (Н-12 и Н-16), ручные перемешивающие устройства (М-11 и М-17) и терморегуляторы (ТС-4, ТС-7 и др.).

6. В информационную модель CALS-проекта технологического

регламента по узлу «приготовления вязущего компонента» занесены все задействованные элементы: дозировочные насосы (НД-19 и НД-20), реакционная емкость (Р-25), трубчатая печь (ТП-24), термометры сопротивления (ТС-8, ТС-9, ТС-14, и др.), перемешивающее устройство (М-26), два теплообменника (модуль нагрева и модуль охлаждения) и др.

7. В информационную модель CALS-проекта технологического регламента по узлу «приготовления пропиточной композиции» занесены все задействованные элементы: датчики температуры, емкости смешения, дозатор растворителя, емкость готовой пропиточной композиции, конденсатор паров, перемешивающие устройства и подающие насосы. Одной из составных частей этого узла является блок охлаждения готовой композиции, который состоит из пассивного и активного смесителя. Для каждого смесителя CALS-проект добавлены соответствующие чертежи.

8. Разработан CALS-проект объектного справочника по узлу «приготовления вязущего компонента». В него занесена технологическая схема и все составные части реакторного узла: нагреватели, термометры сопротивления, дозировочные насосы битума и нефтеполимерной смолы, реакционные сосуды, устройства для смешения композиции, трубчатая печь, краны, вентили, элементы теплообменной системы и системы трубопровода.

9. Разработан CALS-проект понятийного справочника по ремонту оборудования на опытно-промышленной установке. В информационную модель были добавлены все виды неисправностей, которые выявлены в процессе испытаний. Они были разделены на две основные подгруппы – критические аварии и неисправности отдельных элементов системы. В каждую подкатегорию входит перечень выявляемых неисправностей и возможные причины их появления. В разработанном CALS-проекте предусмотрен учет электронного контроля за работой опытной установки. При автоматическом обнаружении неисправности на экран пульта управления выводится код ошибки (аварии). В CALS-систему добавлена техническая документация, в которой указаны все возможные коды аварий и соответствующие причины их возникновения.

## **Глава 7 Разработка CALS-проекта автоматизированной системы контроля и управления опытно-промышленной установкой производства дорожных пропиток**

Разработка системы автоматизации модульного производства защитных пропиточных композиций проводится с помощью информационных CALS-технологий [27]. В архитектуре CALS-проекта системы контроля и управления опытно-промышленным производством рассматриваются основные компоненты автоматизации и принципы их работы. В подкатегорию по автоматизации информационного CALS-проекта занесены общие данные обо всех датчиках, регуляторах и локальных подсистемах автоматизированного управления отдельными узлами производства [154]. CALS-проект системы автоматизированного контроля и управления производством обеспечивает возможность мониторинга и анализа технологических показателей, что позволяет оптимизировать производственные процессы и выявлять потенциальные проблемы [160].

### **7.1 Анализ структуры автоматизированной системы контроля и управления опытно-промышленной установкой**

В разработанной модульной схеме производства (рисунок 7.1-а) два узла (загрузки битума и нагрева битума и НПС) независимы [1]. Узел приготовления вяжущего компонента и узел приготовления пропиточной композиции зависимы друг от друга, имеют общее оборудование и оснащены системой управления, которая контролирует включение/выключение узла приготовления пропиточной композиции в зависимости от состояния технологического процесса в узле приготовления вяжущего компонента.

Информация по системе управления (рисунок 7.1) рассматривается в 8-й подкатегории CALS-проекта технологического регламента (контроль производства и управление технологическим процессом). В данном разделе

регламента приводят перечень точек производства, контроль которых обеспечивает надежное соблюдение установленного режима технологического процесса [27].

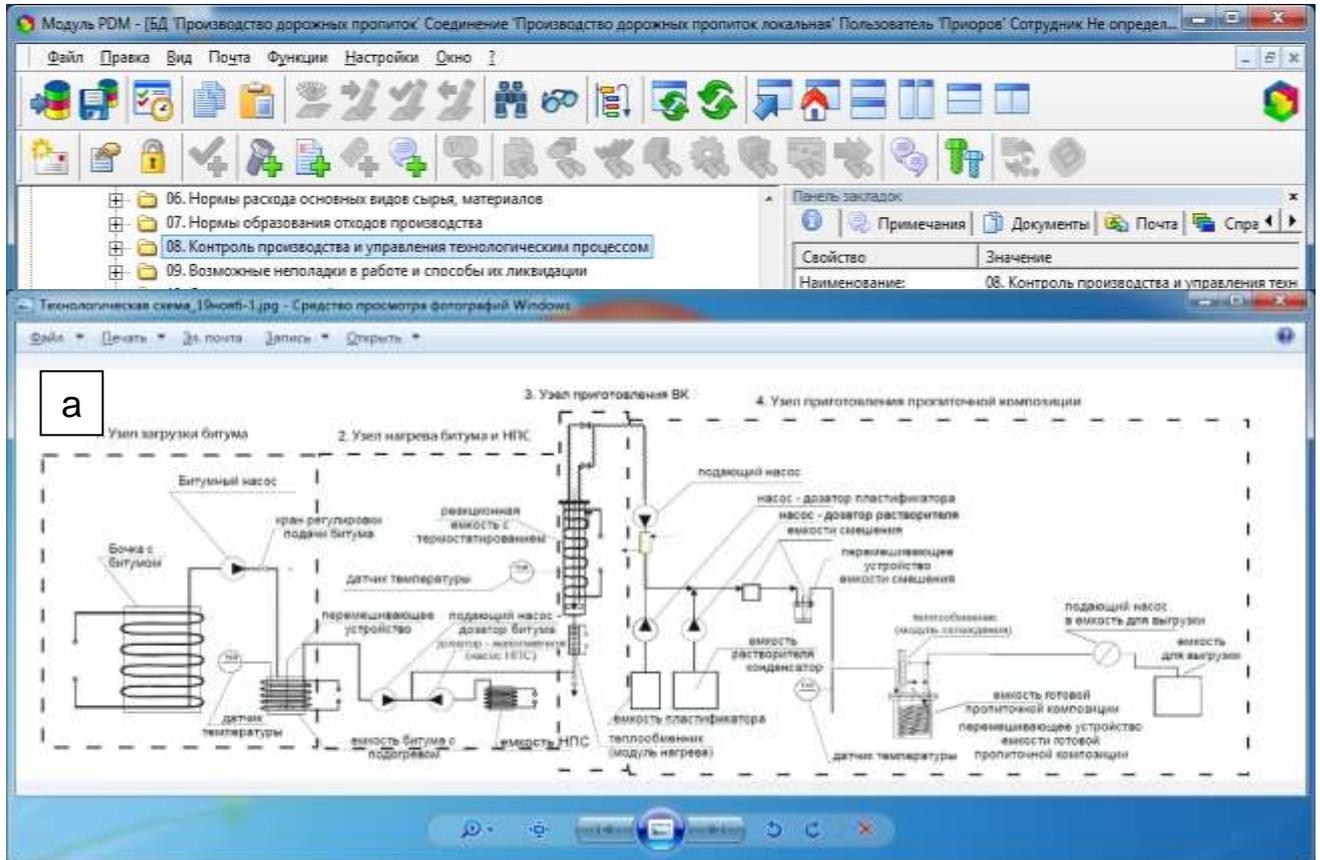


Рисунок 7.1 – CALS-проект системы контроля и управления опытно-промышленного производства (а – схема контроля и управления производством)

В понятие контрольной точки включают место (шифр стадии или операции технологического процесса), объект контроля, наименование определяемого параметра и его норматив, методы и средства контроля. В перечень контрольных точек включают только точки, которые необходимы для обеспечения правильного и безопасного ведения технологического процесса и изменение показателей которых оформляют как изменение технологического регламента [27].

При разработке системы автоматизации опытно-промышленного производства были исследованы возможности работы с управляющим прибором РМТ-59. При работе на исследовательской ячейке реактора рассмотрены

возможности работы с многоканальным управляющим прибором ТРМ-148 [161], измерителем-регулятором РМА-94, а также цифровым контроллером температуры Овен РМА-94 [27].

Регулятор ТРМ-148 широко используется в различных областях, включая промышленные процессы и автоматизированные системы управления. Он обеспечивает стабильное и точное управление, а его параметры настраиваются под конкретные требования системы. Это позволяет использовать ТРМ-48 для поддержания оптимальных условий в разнообразных системах автоматического управления.

Многоканальный регистратор РМТ-59 представляет собой устройство, предназначенное для одновременной записи данных с различных датчиков и источников [162]. Он обеспечивает высокую частоту дискретизации и поддерживает разные типы сенсоров, такие как термометры, давление, влажность и другие. РМТ-59 предоставляет возможность хранения данных во встроенной памяти или на внешних носителях. Это устройство обладает программными настройками, что позволяет пользователю гибко настраивать его в соответствии с заявленными требованиями.

Цифровой контроллер температуры Овен РМА-94 представляет собой высокоточное устройство для автоматизации и контроля температурных режимов в различных промышленных и лабораторных процессах [163]. Этот контроллер обеспечивает стабильное управление температурой, имеет цифровой дисплей, поддерживает пользовательские настройки и программные профили. Он также может быть подключен к компьютерам или сетям для удаленного управления и мониторинга. Контроллер РМА-94 является важным инструментом для обеспечения автоматизации и контроля в термальных процессах и повышения качества выпускаемой продукции.

Опыт использования данных приборов показал, что управление тепловыми процессами значительно удобнее осуществлять с помощью ТРМ-148, а общее управление технологическим процессом – с помощью РМТ-59. В тоже время связка приборов РМА-94 и ТРМ-148 по управляемости технологическим

процессом аналогичны РМТ-59, а по тепловым процессам значительно удобнее РМТ-59. Поэтому управление было разработано на основе контроллера температуры РМА-94 и регулятора ТРМ-148. В следующем разделе более подробно рассматривается управление опытно-промышленным производством при использовании таких регуляторов [27].

## 7.2 Элемент CALS-проекта системы автоматизации «Центральный пульт управления»

Все основные элементы управления опытно-промышленным производством скомпонованы в единый щит управления (рисунок 7.2-а). Помимо аналоговых переключателей и индикаторов состояния в щит управления входят: 2 универсальных регулятора ТРМ-148, 4 контроллера температуры РМА-94 и 3 частотных регулятора Danfoss micro drive FC-51 [27].

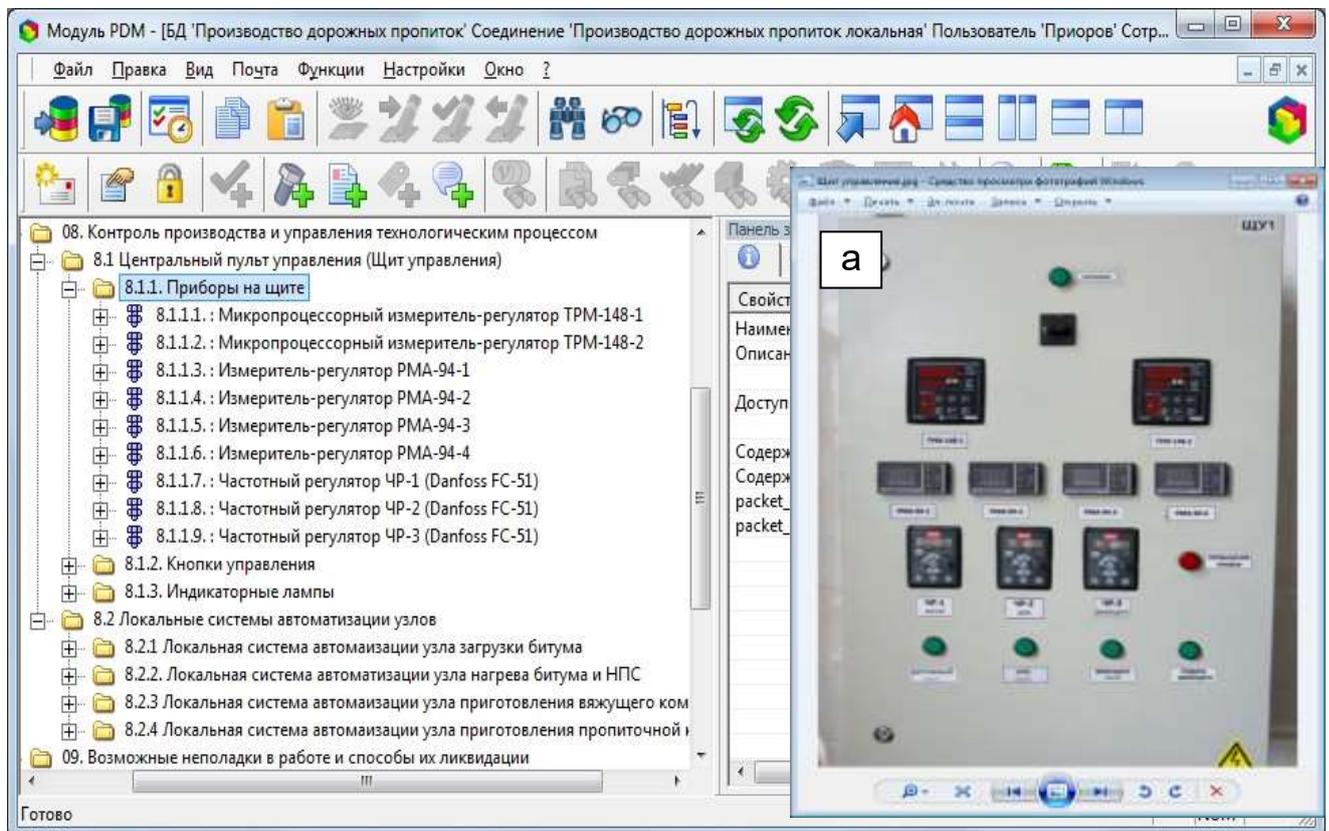


Рисунок 7.2 – Элемент CALS-проекта центрального пульта управления  
(а – щит управления)

Для обеспечения информационной поддержки процессов контроля производства дорожно-пропиточной композиции и управления технологическим процессом в информационную архитектуру СALS-проекта (рисунок 7.2) добавлены 2 основные директории: «8.1. Центральный щит управления» и «8.2. Локальные системы автоматизации узлов». В подкатегорию «8.1.1. Приборы на щите» входят все электронные регуляторы, которые имеют функцию удаленной настройки или калибровки, а также передают данных в режиме реального времени на компьютер оператора. К ним относятся: микропроцессорные измерители-регуляторы ТРМ-148, измерители-регуляторы РМА-94 и частотные регуляторы Danfoss FC-51.

В подкатегорию «8.2. Локальные системы автоматизации узлов» входят все 4 узла опытно-промышленной установки. Для каждого узла в информационную систему добавлены все используемые в нем регуляторы, термодатчики, и датчики давления.

Обеспечение безопасной работы насосов осуществляется с помощью магнитных реле, которые включают питание частотных регуляторов. Они управляются тремя контроллерами температуры: РМА94-1 (для НПС), РМА94-2 (для битума) и РМА94-3 (для вяжущего). Эти приборы предназначены для страховки от включения дозирующих насосов НПС, битума и вяжущего в холодном состоянии. Питание приборов РМА94-1, РМА94-2 и РМА94-3 осуществляется параллельно от фазы и нуля через клеммы приборов.

Для программирования приборов РМА-94 необходимо после включения питания приборов в течение 6 секунд удерживать кнопку «Прог». Однократным нажатием кнопки «Прог» переходят к различным параметрам регулятора, пока не высветится параметр «сигнализация 2». При помощи кнопок меняется значение параметра температуры (при помощи кнопки возможно перемещаться в разрядах величины параметра), по достижению которой срабатывают магнитные пускатели и загорается световой индикатор.

Точная настройка величины подачи насосов в установке осуществляется благодаря регулировке частоты тока при помощи частотных регуляторов Danfoss

micro drive FC-51, которые обозначены на щите управления как ЧР-1, ЧР-2 и ЧР-3 (рис. 7.2-а) для НПС, битума и вяжущего насоса соответственно.

Прибор ТРМ-148(1) регулирует нагреватель трубопровода на входе в емкость нагреватель рубашки емкости битума и нагреватель насосов; ТРМ-148(2) регулирует нагреватель трубчатой печи, нагреватель рубашки реактора, включение насосов масла и растворителя, сигнализацию «Подача вяжущего» и нагреватель трубопровода. Коммутация между объектами регулирования и регулирующим устройством ТРМ-148 осуществляется через исполнительные устройства – твердотельные реле Maxwell MS-1DA4840.

Рабочее окно программы (рисунок 7.3) содержит корневой каталог «Конфигурация ТРМ148», который включает в себя три директории – вложенные каталоги, имеющие иерархическую структуру: параметры прибора; опрос оперативных параметров; параметры компьютера [27].

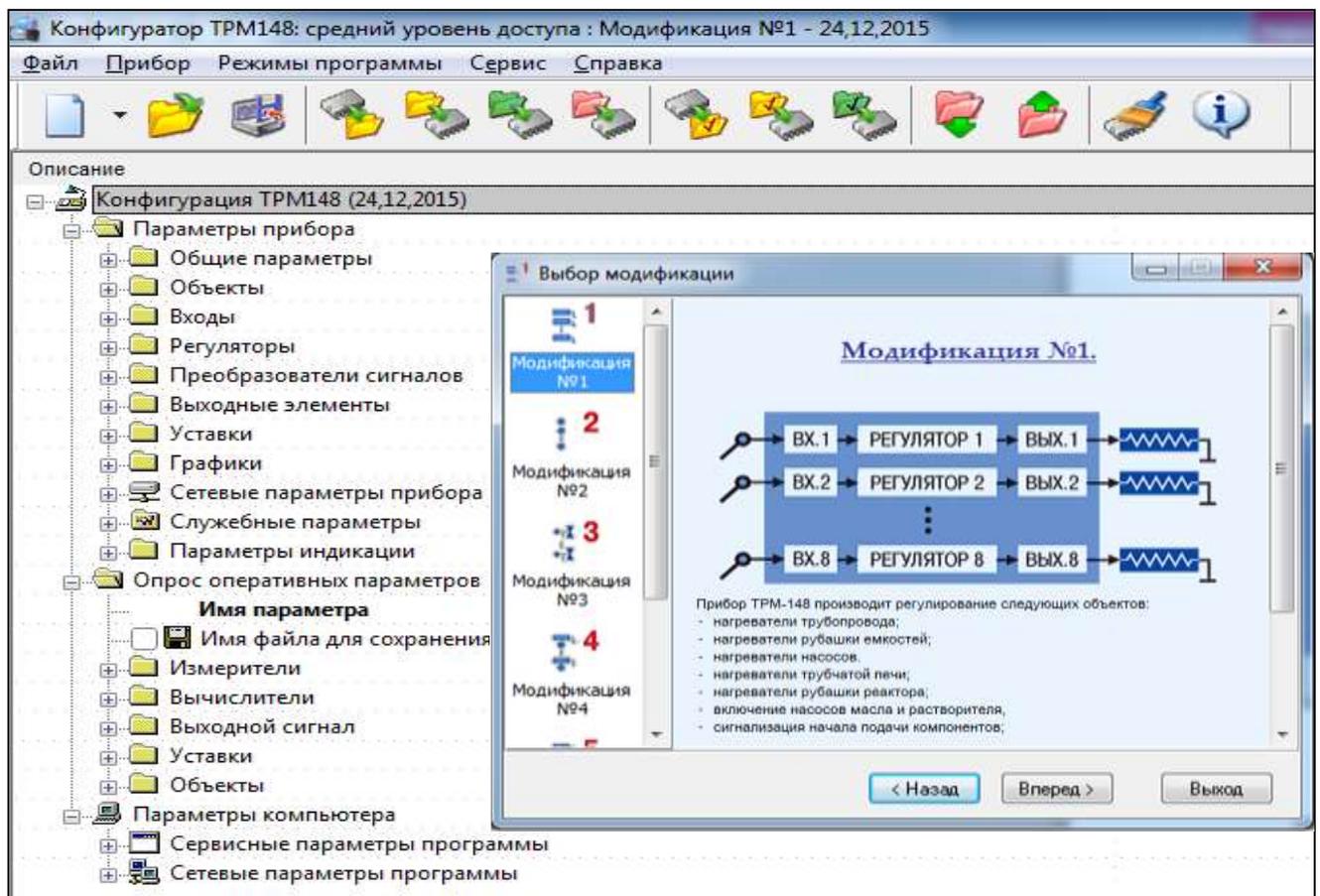


Рисунок 7.3 – Элемент CALS-проекта управления модификациями для регулятора ТРМ-148

Директория «Параметры прибора» содержит полный набор параметров для определения конфигурации прибора. Параметры прибора сгруппированы в папки, внутри которых идет дробление по логическим единицам (устройствам, модулям и др.). Список параметров данной ветви, который появляется на экране, зависит от уровня доступа пользователя.

Директория «Опрос оперативных параметров» позволяет просматривать и сохранять параметры текущего состояния прибора (оперативные параметры): измеряемые величины, значения выходной мощности Регуляторов, состояние прибора (РАБОТА, СТОП и т. д.) и др.

Директория «Параметры компьютера» содержит 2 папки (рис. 4): сервисные параметры программы информационного характера (версия программы «Конфигуратор ТРМ148» и версия операционной системы); сетевые параметры программ [164].

При подключении регулятора ТРМ-148 в программе конфигураторе предлагается несколько модификаций его настройки и работы в зависимости от входящих и выходящих подключенных элементов. Также пользователь может редактировать уже имеющиеся модификации либо добавлять собственные. В следующем разделе более подробно рассматривается автоматизация узла приготовления вяжущего компонента при помощи регулятора ТРМ-148.

### **7.3 CALS-проект локальной системы автоматизации узла приготовления вяжущего компонента**

Для информационной поддержки автоматизированного управления производством дорожно-пропиточной композиции в CALS-проект добавлены все элементы автоматики для каждого узла опытно-промышленной установки. Это необходимо как для продления срока безаварийной работы установки, так и для её дальнейшей модернизации. Так, для локальной системы автоматизации узла приготовления вяжущего компонента (рисунок 7.4, подкатегория 8.2.3) в информационную систему занесены дозировочные насосы НД-19 и НД-20, с

помощью которых битум и НПС поступают из узла нагрева вязущего и НПС. Дозировочные насосы обеспечены нагревателем плунжера Н-21, представляющего из себя среднетемпературный кабель, намотанный на цилиндрическую часть, в которой находится плунжер, закрытый теплозащитным кожухом. При температуре ниже заданной, которая измеряется термометрами сопротивления ТС-9 и ТС-10 (рисунок 7.4-а), включение насосов невозможно. На подготовительном этапе, до начала дозировки, термометры сопротивления измеряют температуру металлических частей насоса, при дозировке – температуру подаваемой среды. Перед первым запуском проводится калибровка насосов, а затем открывается кран КШ-23 (рисунок 7.4). Включается один из насосов и выставляется заданный расход, затем калибруется второй насос. В качестве контрольного опыта проверяется расход смеси при включенных двух насосах. Калибровка должна проверяться в начале эксплуатации не менее 1 раза в неделю, через месяц эксплуатации не менее 1 раза в 2 недели [27].

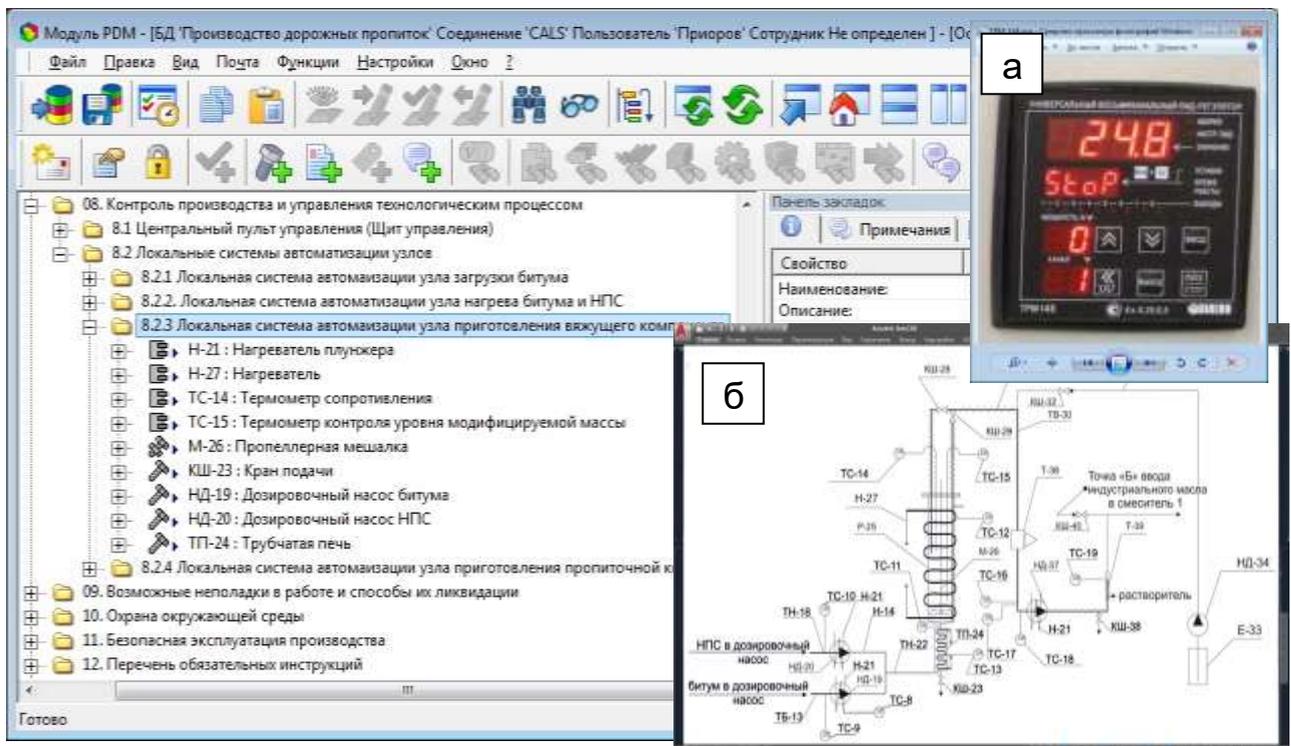


Рисунок 7.4 – CALS-проект локальной системы автоматизации узла приготовления вязущего компонента

(а – панель управления регулятором TRM-148, б – схема автоматизации узла)

При достижении в емкостях битума и НПС заданной температуры подачи, включаются дозировочные насосы НД-19 и НД-20, начинается подача. Потoki битума и НПС смешиваются и поступают в трубопровод исходной смеси ТН-22. На входе в реактор исходная смесь догревается до температуры проведения модификации (контроль осуществляется с помощью термометра сопротивления ТС-11) в трубчатой печи ТП-24 и поступает в реакционный сосуд Р-25, оснащенный пропеллерной мешалкой М-26. Установка скорости перемешивания осуществляется регулятором скорости перемешивающего устройства и дополнительно проверяется тахометром. В крышке реакционного сосуда установлено 4 штуцера: 2 - для забора модифицированной массы, 2 - для контроля температуры. Поддержание заданной температуры в емкости, осуществляется с помощью нагревателя Н-27 при помощи термометра сопротивления ТС-12. Контроль температуры модифицируемой массы в реакционном сосуде осуществляется при помощи термометра сопротивления ТС-14, находящегося в гильзе чуть выше уровня мешалки. Термометр сопротивления ТС-15 служит для контроля уровня модифицируемой массы и расположен чуть выше уровня отбора вязущего компонента.

При режиме модификации битума кран КШ-28 открыт, кран КШ-29 закрыт. Отбор происходит с заданной высоты реактора и определяется длиной трубы вязущего, погруженной в реактор. Изменяя длину этой трубы, можно менять время модификации без регулировки дозирующих насосов. По окончании дозирования битума и НПС, в реакторе остается большое количество вязущего компонента, для его смешения с пластификатором и органическим растворителем кран КШ-28 переводят в закрытое состояние, а кран КШ-29 в открытое. При этом происходит забор вязущего компонента со дна реактора. Отбор из реакционной емкости ведется при помощи дозировочного насоса НД-37, который одновременно является подающим в узле смешения. Тонкая настройка подачи насосом НД-37 производится частотным регулятором вручную. Превышение заданного уровня контролируется термометром сопротивления ТС-15. На выходе из реакционного сосуда модифицируемая масса смешивается с индустриальным

маслом (пластификатор), поступающим из емкости Е-33 при помощи дозировочного насоса НД-34 по гибкому трубопроводу ТМ-35. Краны КШ-32 и КШ-40 предназначены для присоединения трубопровода подачи пластификатора. Модифицируемая масса после смешения с пластификатором охлаждается до 150-160 °С в трубопроводе ТВ-30 и поступает в дозирующий насос НД-37, обогреваемый нагревателем Н-21. Контроль температуры вяжущего осуществляется при помощи термометра сопротивления ТС-16.

Дальнейшее охлаждение вяжущего происходит в теплообменнике Т-39 – предварительном смесителе вяжущего и растворителя. Теплообменник-смеситель представляет собой прямоточный аппарат типа «труба в трубе». С одной стороны, в трубы поступают вяжущий и растворитель. При охлаждении вяжущего ниже 130 °С происходит смешение потоков, поскольку их выходы объединены в один. Далее масса поступает в следующий модуль - узел приготовления пропиточной композиции [27, 165].

Внедрение информационных CALS-технологий при разработке автоматизированной системы управления производством дорожных пропиток позволяет не только повысить качество исследовательских и конструкторских работ, но и обеспечить полное компьютерное сопровождение, включающее всю необходимую документацию в электронном виде.

### **Выводы по главе 7**

1. Разработана архитектура системы автоматизации модульной опытно-промышленной установки для получения защитных пропиточных композиций. В архитектуру заложены основные элементы контроля и управления, с учетом их иерархической взаимосвязи.

2. Разработан программный комплекс CALS-проекта автоматизированной системы контроля и управления установкой. В программу занесены данные обо всех локальных подсистемах автоматизированного управления отдельными узлами установки, с входящими в них элементами (датчики, регуляторы и др.).

Комплекс разработан на базе информационной платформы PDM STEP Suite 5.7.

3. Для подкатегории №8 CALS-проекта технологического регламента (контроль производства и управление технологическим процессом) разработана информационная архитектура CALS-проекта по двум основным директориям: «8.1. Центральный щит управления» и «8.2. Локальные системы автоматизации узлов».

4. Разработан элемент CALS-проекта для подкатегории «8.1. Центральный пульт управления». В подкатегию «8.1.1. Приборы на щите» входят все электронные регуляторы, которые имеют функцию удаленной настройки или калибровки. К ним относятся: микропроцессорные измерители-регуляторы ТРМ-148, измерители-регуляторы РМА-94 и частотные регуляторы Danfoss FC-51.

5. Разработан элемент CALS-проекта для подкатегории «8.2. Локальные системы автоматизации узлов». В эту подкатегию входят все 4 узла опытно-промышленной установки. Для каждого узла в информационную систему добавлены все используемые в нем регуляторы, термодатчики и датчики давления.

6. Разработан элемент CALS-проекта для подсистемы удаленного управления конфигурациями регулятора ТРМ-148. В подсистему включена директория «Параметры прибора», содержащая полный набор параметров для выбора конфигурации регулятора. Параметры сгруппированы в папки, внутри которых идет дробление по логическим единицам (датчики, индикаторы и др.).

7. Разработан элемент CALS-проекта локальной системы автоматизации узла «Приготовления вязущего компонента». В информационную систему занесены все элементы автоматики: дозировочные насосы НД-19 и НД-20, нагреватели Н-21 и Н-27, электронные термометры ТС-14 и ТС-15, пропеллерная мешалка М-26 и другие.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен системный анализ целей и задач развития России, позволивший разработать иерархическую архитектуру для определения уровня транспортной инфраструктуры, в которую входит и автодорожная. Выделены ключевые факторы, влияющие на качество автодорожной инфраструктуры. С помощью диаграммы IDEF0 показаны закономерности их взаимодействия на различных уровнях иерархии. Показаны место и роль материалов дорожной химии в иерархической системе. Обоснована актуальность аналитического мониторинга этих материалов с помощью автоматизированных систем компьютерного менеджмента качества (КМК-систем).

2. При модернизации CALS-проекта КМК-системы ПГР было показано, что современная версия PDM STEP Suite 5.7 предоставляет более широкие функциональные возможности, лучшую производительность, безопасность и совместимость с различными форматами файлов. Это делает ее более эффективным инструментом управления жизненным циклом продукции по сравнению с разработанной ранее КМК-системой в версии 1.7.

3. В модернизированной КМК-системе ПГР были реализованы функционалы группировки характеристик и управления процессами аналитического мониторинга. С помощью этих функционалов были модернизированы подсистема по форматовым ПГР и элемент системы для определения показателя качества «Плавающая способность».

4. При модернизации CALS-системы экологического мониторинга ПГР в информационную модель системы введены 5 новых базовых показателя, указанных в действующем СанПиН-2021: регистрационный номер CAS, формула, величина ПДК, лимитирующий показатель, класс опасности вещества. Для показателя радиационной активности создана подсистема экологического мониторинга содержания естественных радионуклидов в объектах окружающей среды с соответствующими методами анализа и приборами.

5. Разработана архитектура и программный комплекс автоматизированной CALS-системы геоэкологического мониторинга по 4-м

объектам окружающей среды: почвенный покров, снег и водные объекты, зеленые насаждения, атмосферный воздух. В структуру КМК-системы добавлены геообъекты по Юго-Западному округу г. Москвы.

6. Создана автоматизированная CALS-система компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих защитных пропиток. Система структурирована по двум объектам применения: гранитной плитка и бетонные плиты. По каждому объекту в систему добавлено 6 показателей качества: водопоглощение по методу Карстена, выделение соли на поверхности покрытия, капиллярное водонасыщение, коэффициент сцепления, краевой угол смачивания, а также прочность на отрыв «примороженного» образца. Для каждого показателя в архитектуру заложены основные методы анализа и специализированное аналитическое оборудование.

7. Проведена модернизация разработанной ранее КМК-системы дорожных пропиток (защитных и восстанавливающих) в современной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7. Показано, что ключевым отличием модернизированной КМК-системы является использование обновленного функционала для группировки показателей качества, что позволяет организовать информацию в логические категории, которые легко сравнивать и анализировать. Это делает процесс хранения и поиска данных более удобным и эффективным.

8. Создан CALS-проект для автоматизированной разработки модульной опытно-промышленной установки производства дорожных пропиток. В архитектуру CALS-проекта заложены все этапы разработки технологического регламента. Конструкторская структурирована на трех уровнях: общая (компоновочный чертеж); аппаратурные модули (загрузка битума; нагрев битума и нефтеполимерной смолы, приготовления вяжущего компонента, приготовления пропиточной композиции): элементы модулей (активный, пассивный смесители).

9. Разработаны CALS-проекты объектного справочника по узлу «приготовления вяжущего компонента» и понятийного справочника по ремонту технологического оборудования опытно-промышленной установки.

10. Разработан CALS-проект автоматизированной системы контроля и

управления опытно-промышленной установкой производства дорожных пропиток. Информация структурирована по щиту управления и всем локальным подсистемам автоматизации узлов установки, с входящими в них элементами КИПиА (контроллеры, регуляторы, датчики, и др.).

По данной диссертационной работе рекомендации и перспективы дальнейшей разработки связаны с тем, что полученные результаты представляют собой элементы для будущего развития теории и практики использования автоматизированных CALS-систем компьютерного менеджмента качества в наиболее перспективных секторах науки и техники. Разработанные в работе методологические основы могут использоваться при создании автоматизированных КМК-системы аналитического мониторинга для других классов материалов, таких как материалы для фармацевтической промышленности, геосинтетические материалы и др. Методологические и теоретические обобщения позволяют быстро разрабатывать документацию на материалы дорожной химии, а также уменьшить влияние «человеческого фактора» во время оценки результатов аналитического мониторинга. Теоретические подходы автоматизации компьютерного менеджмента качества и разработки материалов дорожной химии могут использоваться для обучения студентов в следующих областях: автоматизированные системы управления, нанотехнологии, информационные технологии, экологический мониторинг и др.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Разинов А. Л. Разработка информационной CALS-технологии модульного производства дорожных пропиток / А. Л. Разинов, А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 14. – С. 94-98.
2. Транспорт в России: статистический сборник. – М.: Росстат, – 2022. – 101 с.
3. Сосенкина И. М. Международный опыт в области обслуживания дорожно-транспортной инфраструктуры / И. М. Сосенкина, В. С. Тихонов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2020. – Т. 10, № 11-1. – С. 230-239.
4. СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.2.1.02-2014. Требования к качеству содержания автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения Московской области. – М.: ГУП МО «Лабораторно-исследовательский центр», – 2013. – 144 с.
5. Индекс глобальной конкурентоспособности. Информация об исследовании и его результаты // Гуманитарный портал (Humanities Portal): Интернет-издание «Центра гуманитарных технологий» – URL <https://gtmarket.ru/ratings/global-competitiveness-index/info> (дата обращения: 20.07.2023).
6. The Global Competitiveness Report 2016-2017 – URL: [http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017\\_FINAL.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GCR2016-2017/05FullReport/TheGlobalCompetitivenessReport2016-2017_FINAL.pdf) (дата обращения: 19.07.2023).
7. Гасанов М. А. Влияние транспортно-дорожной инфраструктуры на развитие экономики региона / М. А. Гасанов, А. Г. Магомедов // Вопросы структуризации экономики. – 2011. – №4. – С.12-20.
8. Царенкова И. М. Разработка научно-теоретических положений по уточнению понятия автодорожной инфраструктуры в сфере дорожного хозяйства // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2021. – № 10 (204). – С. 52-61.

9. Указ Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства РФ, 27.07.2020. – № 30. – ст. 4884. Официальный интернет-портал правовой информации. –

URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/view/0001202007210012> (дата обращения: 21.07.2023).

10. Ваганов А. Г. Национальные цели 2030 года и как мы собираемся их достигать // Энергия: экономика, техника, экология. – 2020. – № 10. – С. 2-7.

11. Сирина Н. Ф. Транспортная инфраструктура мультимодальных перевозок в России / Н. Ф. Сирина, С. С. Юшкова // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2019. – № 2 (19). – С. 11-21.

12. О рейтинге глобальной конкурентоспособности Всемирного экономического форума // Министерство иностранных дел Российской Федерации: офиц. сайт. Москва. – 24.10.2016 –

URL: [https://www.mid.ru/ru/foreign\\_policy/economic\\_diplomacy/1536864/](https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/economic_diplomacy/1536864/) (дата обращения: 21.07.2023)

13. Швелидзе Д. А. Развитие опорной сети магистралей и скоростных автомобильных дорог как фактор экономического развития России // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2018. – № 5. – С. – 201-210.

14. Киселев В. А. Оптимизация транспортной инфраструктуры городов / В. А. Киселев, А. В. Шемякин, С. Д. Полищук [и др.] // Транспортное дело России. – 2018. – № 5. – С. 138-140.

15. Хилавиева Г. Р. Перспективы технологии устройства цементобетонных покрытий автомобильных дорог / Г. Р. Хилавиева, А. Р. Хамитов, Р. Р. Богданов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2017. – № 8. – С. 363-366.

16. Семина И. А. Транспорт республики Мордовия: факторы, проблемы и перспективы развития // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25. – № 4. – С. 103-112.

17. Лясковская Е. А. Циркулярная экономика и экосбалансированные методы строительства в управлении устойчивым развитием региона / Е. А. Лясковская, Г. Р. Халилова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2022. – Т. 16. – № 2. – С. 43-54.
18. Шумаев В. А. Инновационные подходы к развитию транспорта // Транспортное дело России. – 2017. – № 2. – С. 8-10.
19. Грибакина Н. М. Эконометрическое моделирование и прогнозирование социально-экономических процессов / Н. М. Грибакина, Е. В. Бураева // Экономика и социум. – 2015. – № 2-1 (15). – С. 1412-1418.
20. РД IDEF0 – 2000. Методология функционального моделирования IDEF0: Руководящий документ. – М.: Госстандарт России, 2000. – 74 с.
21. Зотов С. Р. Анализ нотаций моделирования бизнес-процессов / С. Р. Зотов, Л. Н. Корюкина // Modern Science. – 2021. – № 3-2. – С. 78-81.
22. Богомолов Б. Б. Организационно-экономическое моделирование: моделирование бизнес-процессов: учебное пособие: [для подготовки студентов по специальности «Менеджмент высоких технологий»] / Б. Б. Богомолов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. – Москва: РХТУ им. Д.И.Менделеева Москва, 2011. – 96 с. – ISBN: 978-5-7237-0936-2.
23. Богомолов Б. Б. Организационно-технологическое моделирование химико-технологических систем / Б. Б. Богомолов, Е. Д. Быков, В. В. Меньшиков [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2017. – Т. 51, № 2, С. 221-229.
24. Скрипко Л. Е. Мышление сквозь призму рисков. связь менеджмента рисков, качественного менеджмента и общего управления организацией // Методы менеджмента качества. – 2017. – № 6. – С. 26-33.
25. Усков А. А. Подход к оценке сложности диаграмм SADT (IDEF0) / А. А. Усков, А. Г. Жукова // Программные продукты и системы. – 2015. – № 1. – С. 34-37.

26. Нотация IDEF0 // Business Studio — система бизнес-моделирования для создания эффективной организации – URL: <https://prabiz.by/business-studio/functionality/notations#:~:text=Нотация%20IDEF0&text=Блоки%20обозначают%20функции%20или%20процессы,образом%2C%20строить%20иерархические%20модели%20деятельности> (дата обращения: 16.07.2023).

27. Приоров Г. Г. CALS-проект автоматизированной системы управления производством дорожных пропиток / Г. Г. Приоров, А. М. Бессарабов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 12. – С. 3-11.

28. Глушко А. Н. Проблемно-ориентированные CALS-системы компьютерного менеджмента качества химических противогололедных материалов и дорожных пропиток // диссертация ... к.т.н.: 05.13.01 / Глушко Андрей Николаевич. – Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, – 2013. – 149 с.

29. Филатова А. В. Природные факторы, учитываемые при реконструкции автодорог / А. В. Филатова, А. С. Чуприн, А. П. Ворожеев // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5 (77). – С. 661-669.

30. Варятченко А. П. Методы эффективного управления затратами на ремонт автодорог на основе диагностики дорожной одежды // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 6 (131). – С. 1155-1157.

31. Максимов В. А. Обоснование технологии содержания цементобетонных покрытий автомобильных дорог для повышения срока их службы / В. А. Максимов, В. В. Ушаков // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022. – № 2 (32). – С. 64-70.

32. Глушко А. Н. Участие прикладной химической науки в мероприятиях по зимнему содержанию автодорог как важнейшей части транспортной инфраструктуры страны и жизнеобеспечения г. Москвы / А. Н. Глушко, Е. А. Лосева, Л. С. Кислякова [и др.] // Российский химический журнал. – 2014. – Т. 58, № 1. – С. 31-39.

33. О порядке допуска к применению противогололедных реагентов для зимней уборки объектов дорожного хозяйства и дворовых территорий в г.

Москве: Постановление Правительства г. Москвы № 242-ПП от 10 апреля 2007 г (с изменениями от 24 декабря 2014 г) – URL: <https://www.mos.ru/authority/documents/doc/14973220/>. (дата обращения: 19.07.2023).

34. Об утверждении Регламента выполнения работ по комплексному содержанию объектов дорожного хозяйства в городе Москве и технологических карт комплексного содержания объектов дорожного хозяйства г. Москвы в зимний и летний периоды: Распоряжение Департамента ЖКХ г. Москвы 01-01-14-505/19 от 21 ноября 2019 г. – URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/9125/Reglament505211119.pdf>. (дата обращения: 23.07.2023).

35. Методика испытаний противогололедных материалов. / Министерство транспорта Российской Федерации, Гос. служба дорожного хозяйства (Росавтодор). – М., 2003. – 23 с.

36. Булатицкий К. К. Применение современных аналитических методов для оценки экологического влияния противогололедных реагентов на объекты окружающей среды / К. К. Булатицкий, Р. А. Санду, А. Н. Глушко [и др.] // Российский химический журнал. – 2014. – Т. 58, № 1. – С. 65-72.

37. Медников Д. А. CALS-технологии и их реализация на этапах жизненного цикла изделия / Д. А. Медников, Е. В. Абызова, О. В. Медникова // Вестник Академии знаний. – 2018. – № 27(4). – С. 155-157.

38. Горин Д. С. Научно-методические основы управления качеством продукции на основе CALS-технологий / Д. С. Горин, С. С. Долженков // Вестник Академии права и управления. – 2021. – № 3 (64). – С. 55-60.

39. Поспелова Е. А. Применение CALS-технологий в управлении качеством / Е. А. Поспелова, В. А. Здесенко // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2015. – № 1 (10). – С. 76-80.

40. Глушко А. Н. Компьютерный менеджмент качества по микропримесям в противогололедных материалах / А. Н. Глушко, Г. Г. Приоров, А. М. Бессарабов // Высокочистые вещества и материалы получение, анализ, применение : сборник

тезисов XVI Всероссийской конференции и IX Школы молодых ученых, посвященные 100-летию академика Г.Г. Девярых, Нижний Новгород, 28–31 мая 2018 года. – Нижний Новгород: Б. и., 2018. – С. 147.

41. Приоров Г. Г. Экологический мониторинг химических противогололедных материалов по основным компонентам окружающей среды / Г. Г. Приоров, А. Н. Глушко, А. В. Воронин [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31, № 8(189). – С. 7-9.

42. Бессарабов А. М. Аналитический мониторинг химических противогололедных материалов на основе концепции CALS / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 1, № 2(64). – С. 225-229.

43. Bessarabov A. CALS-based computer-aided support in the chemical industry / A. Bessarabov, T. Stepanova, G. Zarembo, E. Poluboiarinova // Chemical Engineering Transactions. – 2016. – V. 52. – P. 97-102. – DOI: 10.3303/CET1652017.

44. Bessarabov A. Development of the CALS-technology of drying-agglomeration process in production of biologically active additives of the new generation / A. Bessarabov, A. Kvasyuk, T. Stepanova [et al.] // Chemical Engineering Transactions. – 2015. – V. 43. – P. 145-150. – DOI: 10.3303/CET1543025.

45. Bessarabov A. CALS-model of innovative technology for plasmachemical synthesis of nanopowders / A. Bessarabov, A. Kvasyuk, M. Ivanov [et al.] // Computer Aided Chemical Engineering. – 2010. – Vol. 28. – P. 757-761. – DOI: 10.1016/S1570-7946(10)28127-0.

46. Бессарабов А. М. Разработка компьютерных систем для поддержания оптимального состояния муниципальной автодорожной инфраструктуры / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 10. – С. 293-299.

47. Бессарабов А. М. Компьютерный экологический мониторинг химических противогололедных реагентов / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 20. – С. 280-283.

48. Бессарабов А. М. CALS-система компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток для автодорожной инфраструктуры / А. М. Бессарабов, Г. Г. Приоров, В. Е. Трохин [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2023. – № 8. – С. 28-38.

49. PDM STEP Suite v.5.0. Техническое описание – Текст: электронный // cal.ru – Прикладная логистика: сайт. – 2023. – URL: [https://cal.ru/sites/default/files/downloads/docs/pss/00\\_PSS\\_TechDiscript.pdf](https://cal.ru/sites/default/files/downloads/docs/pss/00_PSS_TechDiscript.pdf) (дата обращения: 17.03.2023).

50. Документация | Прикладная логистика – Текст: электронный // cal.ru – Прикладная логистика: сайт. – 2023. – URL: <https://cal.ru/products/docs#pss> (дата обращения: 17.03.2023).

51. Козлова О. А. Автоматизация управления жизненным циклом продукции посредством создания хранилища электронной технической документации предприятия / О. А. Козлова, А. О. Харитонов // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31, № 5(186). – С. 22-24.

52. PDM STEP Suite | Прикладная логистика – Текст: электронный // cal.ru – Прикладная логистика: сайт. – 2023. – URL: <https://cal.ru/products/pss> (дата обращения: 17.03.2023).

53. Скворцов А. В. BIM для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. № 1 (2). – С. 8-11.

54. Циркунова Н. А. Создание шаблона процесса (оказание услуг в области метрологии) с помощью программы PDM STEP SUITE (PSS) / Н. А. Циркунова, Л. В. Полякова // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31. – №5 (186). – С. 31-33.

55. Грязнова О. А. Размещение программного обеспечения в электронной структуре изделия в базе данных системы PDM STEP Suite / О. А. Грязнова, Н. И. Наумова // Вопросы радиоэлектроники. – 2011. – Т. 1. – № 3. – С. 121-127.

56. Гродзенский С. Я. CALS-технологии в интегрированной информационной среде / С. Я. Гродзенский, С. А. Овчинников, Е. А. Калачева // Стандарты и качество. – 2014. – № 3. – С. 38-41.

57. Глушко А. Н. Проблемно-ориентированные CALS-системы компьютерного менеджмента качества химических противогололедных материалов и дорожных пропиток: автореферат дис. ... к.т.н.: 05.13.01. / Глушко Андрей Николаевич. – Иваново, 2022. – 16 с.

58. Вартамян А. А. Архитектура комплексной информационной системы управления промышленным предприятием в эпоху цифровой трансформации / А. А. Вартамян, Р. С. Голов // Экономика и управление в машиностроении. – 2022. – № 1. – С. 12-17.

59. Егоров А. Ф. Интегрированные автоматизированные системы управления химическими производствами и предприятиями : учебник для вузов / А. Ф. Егоров. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 248 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-13871-9.

60. Костандян А. В. Интеллектуальная система мониторинга измерений в системах управления технологическими процессами / А. В. Костандян, С. С. Горбунов, А. Ф. Егоров [и др.] // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 1. – С. 21-25.

61. Егоров А. Ф. Современное состояние в области анализа, синтеза и оптимального функционирования многоассортиментных цифровых химических производств: аналитический обзор / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, П. Г. Михайлова // Теоретические основы химической технологии. – 2021. – Т. 55, № 2. – С. 154-187.

62. Бессарабов А. М. Компьютерный менеджмент качества противогололедных материалов для автомобильных дорог / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Известия МГТУ МАМИ. – 2012. – Т. 4, № 2(14). – С. 121-125.

63. Бессарабов А. М. Модернизация систем компьютерного менеджмента качества автодорожных покрытий на основе CALS-технологий / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2013. – № 9. – С. 23-31.

64. Бессарабов А. М. Разработка компьютерных систем для поддержания оптимального состояния муниципальной автодорожной инфраструктуры / А. М. Бессарабов, А. Н. Глушко, Т. И. Степанова [и др.] // Энциклопедия инженера-химика. – 2013. – № 7. – С. 51-58.

65. Бессарабов А. М. CALS-системы компьютерного менеджмента качества противогололедных реагентов для экологического мониторинга содержания радионуклидов / А. М. Бессарабов, Г. Г. Приоров, А. С. Нартов [и др.] // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23, № 7. – С. 85-90.

66. Приоров Г. Г. Автоматизированные CALS-системы компьютерного менеджмента качества материалов дорожной химии / Г. Г. Приоров, А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32, № 11(207). – С. 18-20.

67. Бессарабов А. М. Объектные и понятийные справочники информационных CALS-проектов ректификационного оборудования / А. М. Бессарабов, В. Е. Трохин, А. А. Казаков [и др.] // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2019. – Т. 7. – С. 11-13.

68. Danilov V.P. Granulated anti-icing reagent on the basis of dehydrated magnesium and calcium nitrates / V.P. Danilov, D.F. Kondakov, E.A. Frolova [et al.] // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2019. – V. 53. No. 4. – P. 609-611. – DOI: 10.1134/S0040579519040031.

69. Степанова Т. И. Автоматизированная разработка технологических регламентов производства веществ особой чистоты на основе информационных CALS-технологий / Т. И. Степанова, А. М. Бессарабов, М. А. Гришин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 14. – С. 218-225.

70. Порсев К. И. Система управления знаниями и инновациями как элемент CALS-технологий // Качество. Инновации. Образование. – 2020. – № 6 (170). – С. 118-122.

71. Журов Ю. В. Инструменты повышения качества информационного обеспечения управления в условиях цифровизации // Вестник Российского

экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2022. – Т. 19. – № 2 (122). – С. 82-92.

72. Малкина И. В. CALS/ИПИ-технологии в формировании компьютерной системы качества изделий автомобилестроения // Технология машиностроения и материаловедение. – 2017. – № 1. – С. 9-12.

73. Назаренко М. А., Круглова Ю. В. Актуальные вопросы управления качеством с применением CALS-технологий для создания производственной модели индустрии 4.0 // Технология машиностроения. – 2022. – № 10. – С. 54-60.

74. Глушко А. Н. Разработка CALS-технологии компьютерного менеджмента качества химических противогололедных материалов и дорожных пропиток на основе методов системного анализа / А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов, Т. И. Степанова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – Т. 14, № 3. – С. 74-80.

75. Приоров Г. Г. Автоматизированные CALS-системы компьютерного менеджмента качества материалов дорожной химии / Г. Г. Приоров, А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32, № 11(207). – С. 18-20.

76. Glushko A. N. Contribution of applied chemistry to maintaining Russian highway infrastructure in winter / A. N. Glushko, E. A. Loseva, L. S. Kislyakova [et al.] // Russian Journal of General Chemistry. – 2015. – V. 85, – № 10. – P. 2449–2457.

77. Pribylev T. M. Actor-oriented approach for business-process management of analytical system development / T. M. Pribylev, M. N. Zaytsev, O. L. Vikentyeva // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – 2022. – V. 34. – No. 2. – P. 57-66.

78. Козлова А. В. Разработка порядка проверки пригодности процесса измерения для реализации эффективной системы аналитического управления технологическими процессами // Вестник МГТУ «Станкин». – 2021. – № 1 (56). – С. 51-58.

79. Кравченко Л. Н. Аналитическое обеспечение процесса управления финансовым состоянием предприятия как базисом его устойчивого

функционирования / Л. Н. Кравченко, М. В. Шевченко // Проблемы современной экономики. – 2020. – № 3 (75). – С. 89-91.

80. Норенков И. П. Информационная поддержка наукоёмких изделий. CALS-технологии : [монография] / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик // М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, – 2002. – 319 с. – ISBN 5-7038-1962-8.

81. Глушко А. Н. Системные исследования плавающей способности противогололедных реагентов / А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов, Г. А. Заремба [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 1. – С. 119-122.

82. Aryee S. A. Creating the project management office and organizing project implement management in time / S. A. Aryee, E. F. J. Williams, I. Turchenko [et al.] // Topical scientific research in the modern world. – 2020. – 12-1 (68). – P. 6–12.

83. Frolova K. A. Models for managing the structural parameters of complex project systems / K. A. Frolova, A. V. Shestakov // The Way of Science. – 2020. – No. 9 (79). – P. 35-42.

84. Krainova O. S. A logistics approach to enterprise support project management with a view to creating a digital economy ecosystem // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – Т. 12. – № 9-1. – С. 382-396.

85. Priorov G. Ecological Monitoring of Road Chemistry Materials on Highways / G. Priorov, A. Glushko, A. Bessarabov // Chemical Engineering Transactions. – 2021. – Vol. 88. – P. 1273-1278. – DOI 10.3303/CET2188212.

86. Зильберман М. В. Оценка потенциала воздействия на компоненты природной среды выбросов загрязняющих веществ объектов негативного воздействия на окружающую среду / М. В. Зильберман, М. В. Черепанов, Е. А. Пичугин [и др.] // Экология урбанизированных территорий. – 2021. – № 4. – С. 25-33.

87. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». /Постановление Роспотребнадзора от 28.01.2021 г. № 2. С изменениями и дополнениями от: 30 декабря 2022 г. –

URL: [https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN\\_sreda%20\\_obitaniya\\_compressed.pdf](https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf). (дата обращения: 17.03.2023).

88. Федорович Г. В. САНПИН 1.2.3685-21 – Стартовая позиция нормотворческой работы // Безопасность и охрана труда. – 2021. – № 1 (86). – С. 31-38.

89. Яковлев А. С. Подходы к нормированию загрязнения почв в России и зарубежных странах / А. С. Яковлев, М. В. Евдокимова // Почвоведение. – 2022. – № 5. – С. 631-641.

90. Большеротов А. Л. Алгоритм, критерии и методы решения проблем экологической безопасности урбанизированных территорий // Социология города. – 2020. – № 3. – С. 50-61.

91. Гусева А. С. Распределение природных радионуклидов в почвах на территории новой Москвы / А. С. Гусева, С. А. Устинов, В. А. Петров // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2019. – № 5. – С. 88-94.

92. Арон Д. В. Радиоактивное загрязнение грунта на участке строительства Юго-Восточной хорды: оценка и прогноз состояния радиационной безопасности населения / Д. В. Арон, Е. А. Ильичев, В. П. Меркушов [и др.] // (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № ИБРАЕ-2020-01). – М.: ИБРАЭ РАН, – 2020. – 44 с. – ISBN 978-5-6041296-3-0.

93. Арон Д. В. Восстановление плотности поверхностного загрязнения почвы радионуклидами по данным аэрогаммасъемки / Д. В. Арон, С. Л. Гаврилов, А. А. Киселев [и др.] // Атомная энергия. – 2019. – Т. 126. – № 6. – С. 341-345.

94. Бессарабов А. М. Автоматизированная CALS-система геоэкологического мониторинга противогололедных реагентов / А. М. Бессарабов, Г. Г. Приоров, А. Н. Глушко // Экологические системы и приборы. – 2021. – № 9. – С. 19-26. – DOI 10.25791/esip.09.2021.1249.

95. Королев В. А. Экологические последствия применения противогололедных реагентов в Юго-Западном округе Москвы / В. А. Королев, А. К. Горняков // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы : V Международная научно-практическая конференция (Посвящается

Году экологии в России; Третьей годовщине присоединения Крыма к России; Столетию Воронежского Государственного университета; 10-летию кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета), Севастополь, 13–15 сентября 2017 года. – Севастополь: Научная книга, 2017. – С. 72-75.

96. Романова И. В. Основные последствия применения противогололедных реагентов на урбанизированных территориях на примере г. Москвы / И. В. Романова, В. А. Королев // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий, Краснодар, 29–31 марта 2021 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 456-458.

97. Романова И. В. Оценка трансформации экологических функций литосферы на территории юго-западного административного округа г. Москвы вследствие использования противогололедных реагентов // Инженерные изыскания. – 2020. – Т. 14. – № 4-5. – С. 72-83.

98. Ковалев Д. В. Проект размещения "умных" датчиков для мониторинга экологической обстановки в ленинском районе города Новосибирска / Д. В. Ковалев, Е. Н. Кулик // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 189-193.

99. Vasyagina T. N. Comparative analysis of anthropogenic impact on the environment in modern Russia / T. N. Vasyagina, N. V. Osipova // Agrarian History. – 2022. – No. 10. – P. 63-69.

100. Шкрабтак Н. В. Мониторинг качества атмосферного воздуха как инструмент государственного механизма охраны окружающей среды / Н. В. Шкрабтак, Ю. А. Праскова, Н. А. Фролова // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 5. – С. 48-55.

101. Казьмина Е. А. Государственный мониторинг земельных ресурсов при загрязнении почвы / Е. А. Казьмина, О. С. Барышникова // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2020. – № 1 (10). – С. 63-66.

102. Tarasova N. P. The concept of sustainable development and the principles of green chemistry as an integral part of the modern chemical education system / N. P. Tarasova, A. A. Dodonova, A. A. Zanin // ACS Symposium Series. – 2020. – Т. 1345. – С. 137-145.

103. Vignisdottir H. A review of environmental impacts of winter road maintenance / H. Vignisdottir, B. Ebrahimi, G. Kabongo Booto [et al.] // Cold Regions Science and Technology. – 2019. – V. 158. P 143-153.

104. Глушко А. Н. Разработка CALS-системы для экологического мониторинга химических противогололедных реагентов / А. Н. Глушко, Л. С. Кислякова, Т. И. Степанова [и др.] // Материалы седьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2013), 30 сентября – 2 октября 2013 г., ИПУ РАН, Москва, Россия. – Т. 2. – С. 323-326.

105. Glushko A. CALS-system of ecological monitoring of road anti-icing materials on the major environmental components / A. Glushko, G. Priorov, A. Bessarabov // Chemical Engineering Transactions. – 2018. – Vol. 70. – P. 451-456. – DOI 10.3303/CET1870076.

106. Малышева А. Г. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололедных реагентов в условиях крупного мегаполиса (на примере территории города Москвы) / А. Г. Малышева, О. В. Шелепова, М. А. Водянова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 11. – С. 1032-1037. – DOI 10.18821/0016-9900-2018-97-11-1032-37.

107. Воронина Л. П. Характеристика снежной массы для индикации нагрузки применения противогололедных реагентов / Л. П. Воронина, Л. И. Трибис, К. Э. Поногайбо [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 12. – С. 1330-1338. – DOI 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1330-1338.

108. Кондаков Д. Ф. Противогололедные реагенты на основе хлоридов натрия и кальция и формиата натрия / Д. Ф. Кондаков, Е. А. Фролова, О. С.

Кудряшова [и др.] // Химическая технология. – 2020. – Т. 21, № 7. – С. 297-300. – DOI 10.31044/1684-5811-2020-21-7-297-300.

109. Данилов В. П. Применение физико-химического анализа при разработке и исследовании противогололедных реагентов / В. П. Данилов, Е. А. Фролова, Д. Ф. Кондаков [и др.] // Журнал неорганической химии. – 2019. – Т. 64, № 9. – С. 984-987. – DOI 10.1134/S0044457X1909006X.

110. Kondakov D. F. Deicing Reagents Based on Sodium Chloride, Calcium Chloride, and Sodium Formate / D. F. Kondakov, E. A. Frolova, V. P. Danilov [et al.] // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 55, No. 5. – P. 971-974. – DOI 10.1134/S0040579521050080.

111. Семёнов А. В. Н<sup>+</sup>-селективный электрод для определения значений рН ниже нуля / А. В. Семёнов, В. В. Егоров // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2023. – № 1. – С. 37-49.

112. Патент № 2711492 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/00, G06F 17/10. Способ проведения экологического компьютерного мониторинга состояния объектов окружающей среды : № 2019125659 : заявл. 14.08.2019 : опубл. 17.01.2020 / А. Н. Глушко, В. П. Мешалкин, А. В. Матасов [и др.].

113. Джуманазаров Я. Изучение загрязненных почв и изменение их состава при внесении сорбентов экстракционно-фотометрическим и потенциометрическим методами / Я. Джуманазаров, Д. Б. Хидирова, Л. Х. Сангаджиева [и др.] // Естественные и технические науки. – 2022. – № 7(170). – С. 81-86.

114. Мандровский К. П. Моделирование равномерности обработки покрытий противогололедным жидким реагентом / К. П. Мандровский, Я. С. Садовникова // Математическое моделирование. – 2019. – Т. 31, № 3. – С. 41-54. – DOI 10.1134/S0234087919030031.

115. Макарова А. С. Исследование воздействия хлорсодержащих противогололедных реагентов на наземные растения (Сборник трудов научной конференции академии маси "системный подход для разработки высоко энергоресурсоэффективных технологий экологически безопасного

производства продуктов с высокой добавленной стоимостью, утилизации и переработки отходов") / А. С. Макарова, К. В. Пищаева, А. Н. Иванова [и др.] // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. – 2019. – Т. 21. – С. 40-43.

116. Королев В. А. К итогам круглого стола в государственной думе РФ: проблемы противогололедных реагентов // Инженерные изыскания. – 2015. – № 2. – С. 18-22.

117. Gruber M. R. et al. Deicing performance of common deicing agents for winter maintenance with and without corrosion-inhibiting substances / M. Gruber, B. Hofko, M. Hoffmann [et al.] // Cold Regions Science and Technology. – 2023. – V. 208. – P. 103795.

118. Чегодаев Д. В. Анализ защитного действия водорастворимого ингибитора коррозии MF- RWR-54 / Д. В. Чегодаев, А. А. Гусева // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 2-2 (35). – С. 120-125.

119. Волков Ю. В. Изотопная масс-спектрометрия: применение и значимость в исследованиях объектов окружающей среды / Ю. В. Волков, Д. А. Калашникова, О. В. Коновалова [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 35, № 2(397). – С. 168-171. – DOI 10.15372/AOO20220213.

120. Zakerzadeh M. Examining the effect of different super hydrophobic nanomaterials on asphalt pavements / M. Zakerzadeh, S. Abtahi, A. Allafchian [et al.] // Construction and Building Materials. – 2018. – V. 180. P. 285-290.

121. Усачёва Ю. В., Чухланов В. Ю. Новые гидрофобизирующие составы / Ю. В. Усачёва, В. Ю. Чухланов // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 24. – № 1. – С. 55-56.

122. Hodul J. Experimental comparison of efficiency of water-soluble and solvent hydrophobic agents for concrete / J. Hodul, J. Hodná, L. Mészárosová [et al.] // Buildings. – 2022. No. 12(11). P. 1857.

123. Петрусевич В. В. Методика определения продолжительности действия гидрофобного состава для профилактической обработки асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2019. – № 29. – С. 132-134.

124. Массалимов И. А. Гидрофобизация плотного бетона полисульфидными растворами // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 9-16.

125. Исаков А. Л. Экспериментальное исследование влияния гидрофобизирующих пропиток на прочность дорожных цементобетонов / А. Л. Исаков, В. Д. Оленников, С. А. Ахметов [и др.] // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4(57). – С. 144-152.

126. Свидетельство о государственной регистрации № RU.77.01.34.008.E.000652.03.18. Гидрофобизирующая композиция / А. Н. Глушко, П. А. Волков, И. А. Шмелева – Заявка № 00628. Дата поступления 16.03.2018. Зарегистрировано в Едином реестре свидетельств о государственной регистрации 23.03.2018.

127. Казурова Д. В. Особенности проведения аудита системы менеджмента качества с использованием компьютерных технологий / Д. В. Казурова, С. В. Чекайкин // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 85-1. – С. 22-26.

128. Павлов В. И., Простякова А. И. Эффект «Росы» – как некорректный метод оценки гидрофобности поверхности строительного материала / В. И. Павлов, А. И. Простякова // Технологии бетонов. – 2010. – № 9-10 (50-51). – С. – 20-21.

129. Айрапетян Г. С. Влияние гидрофобизирующих составов на свойства тротуарной плитки / Г. С. Айрапетян, Ю. Э. Васильев // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2 (49). – С. 129-135.

130. Морозов А. В. Влияние способа обработки поверхности тротуарной плитки на коэффициент трения с резиной / А. В. Морозов, П.О. Буковский // Каучук и резина. – 2022. – Т. 81. – № 1. – С. 48-52.

131. Бресская А. Д. Исследование поверхностного натяжения и углов смачивания для создания эффективных полимерных связующих на основе эпоксидных олигомеров с активными разбавителями / А. Д. Бресская, Д. А. Трофимов, И. Д. Симонов-Емельянов [и др.] // Тонкие химические технологии. – 2020. – Т. 15, № 3. – С. 47-57. – DOI 10.32362/2410-6593-2020-15-3-47-57.

132. Краснощеков Ю. В. Модель прочности бетона на отрыв со скалыванием // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – № 2 (78). – С. 216-224.

133. Павлова Е. Н. Достоинства системы PDM STEP Suite и положительный опыт ее внедрения на российские предприятия авиационной промышленности // В мире научных открытий. – 2010. – № 4-10 (10). – С. 35-36.

134. Сеницын И. Н. Системы и средства информационной поддержки послепродажного обслуживания серийной продукции. Аналитический обзор / И. Н. Сеницын, А. С. Шаламов // Системы высокой доступности. – 2019. – Т. 15. – № 3. – С. 34-57.

135. Иванов С. И. Особенности определения прочности бетона методом погружения стальных дюбелей / С. И. Иванов, А. В. Невский, Д. А. Чесноков // Вестник НИЦ Строительство. – 2022. – № 2 (33). – С. 97-105.

136. Соловьева А. П. Обзор метода неразрушающего контроля качества строительных конструкций - отрыв со скалыванием // Интернаука. – 2021. – № 32-1 (208). – С. 7-8.

137. Немчинов М. В. Кардинальное обеспечение долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / М. В. Немчинов, А. С. Холин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2022. – № 6 (275). – С. 53-59.

138. Пшембаев М. К. Оптимизация пропиточного состава для защиты бетонных покрытий автомобильных дорог / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев // Наука и техника. – 2018. – Т. 17. – № 2. – С. 95-99.

139. Высоцкая М. А. Воздействие пропиточных материалов с различной основой на асфальтобетон / М. А. Высоцкая, Д. А. Кузнецов, А. В. Курлыкина [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 2. – С. 8-13.

140. Подольский В. П. Технология ремонтных работ с применением эмульсионно-минеральных материалов и эмульсий / В. П. Подольский, М. Х. Аль Адресс // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 1 (49). – С. 89-98.

141. Дормидонтова Т. В. Капитальный ремонт автомобильных дорог / Т. В. Дормидонтова, С. В. Золотых, Я. Э. Климавичус // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 62-3. – С. 73-78.

142. Глушко А. Н. Разработка CALS-системы компьютерного менеджмента качества пропиточных составов для дорожных покрытий / А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – Т. 2. – № 3 (17). – С. 91-94.

143. Лобанова А. В. Компьютерный аналитический мониторинг химических противогололедных материалов и дорожных пропиток / А. В. Лобанова, А. Н. Глушко, А. В. Квасюк [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. 26, № 1(130). – С. 90-92.

144. Струк П. В. Обеспечение единообразного описания и интерпретации данных на различных этапах жизненного цикла изделий (CALS-технологии) // Теория и практика современной науки. – 2019. – № 7 (49). – С. 149-155.

145. Глушко А. Н. Разработка информационной базы данных дорожных пропиточных композиций / А. Н. Глушко, Т. И. Степанова, А. В. Поляков [и др.] // Материалы XXVIII Международной научно-технической конференции «Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии» (РЕАКТИВ-2014), Уфа, 23-25 сентября 2014 г. – С. 230-232.

146. Глушко А. Н. Разработка на основе концепции CALS защитных пропиточных композиций для дорожных асфальтобетонных покрытий / А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов, Г. Г. Приоров [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 11. – С. 31-37. – DOI 10.31044/1684-2561-2018-0-11-31-37.

147. Якимов Г. А., Семенов С. С. Опыт практического применения пропитки асфальтобетонной «ДОРСАН» / Г. А. Якимов, С. С. Семенов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2022. – Т. 1. – С. 239-244.

148. Никольский В. Г. Влияние старения и модификации на релаксационные свойства нефтяного дорожного битума и асфальтового вяжущего / В. Г. Никольский, И. А. Красоткина, Т.В. Дударева [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2022. – № 10. – С. 31-39.

149. Yongjun M. Preparation of biological antifreeze protein-modified emulsified asphalt coating and research on its anti-icing performance / M. Yongjun, Z. Qixiong, L. Jiechao [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2021. – V. 294. – P. 123473.

150. Kumar K. R. Critical review of mineral admixture impregnation in bituminous mixes / K. R. Kumar, G. Nagaraju, B. Rajmohan // *Materials Today: Proceedings*. – 2022. – V. 68. Part 5. – P. 1486-1495. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.07.102.

151. Пшембаев М. К. Физико-химические основы процессов защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий пропиточными составами // *Наука и техника*. – 2017. – Т. 16. – № 2. – С. 144-152.

152. Мальков А. А. Методы построения классификатора технической документации // *Colloquium-Journal*. – 2019. – № 6-2 (30). – С. 14-16.

153. Патент № 2610510 С Российская Федерация, МПК С08L 95/00, E01C 7/35, С08K 3/34. Способ получения пропиточной композиции на основе модифицированного битума, применяемой для поверхностной обработки асфальтобетонных покрытий: № 2015148791: заявл. 13.11.2015: опубл. 13.02.2017 / А. Н. Глушко, А. Л. Разинов, В. С. Рябенко [и др.] ; заявитель ФГУП «Государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химических реактивов и особо чистых химических веществ».

154. Ubas'kina Y. A. Optimal formulations of some asphalt concrete roadway protective impregnation compositions / Y. A. Ubas'kina, E. A. Chigorina, A. L. Razinov [et al.] // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2016. – Т. 32. – № 1. – P. 305-311. – DOI: 10.13005/ojc/320134.

155. Приоров Г. Г. Объектные и понятийные справочники CALS-проекта опытного производства дорожных пропиток / Г. Г. Приоров, Т. И. Степанова, А. М. Бессарабов // *Математические методы в технике и технологиях*. – 2022. № 7. – С. 76-79.

156. Ramazanov S. Integrated intelligent information and analytical system of management of a life cycle of products of transport companies / S. Ramazanov, V. Babenko, O. Honcharenko [et al.] // *Journal of Information Technology Management*. – 2020. – V. 12. No. 3. – P. 26-33.

157. Woldesenbet A. Framework for Integrating and Assessing Highway Infrastructure Data / A. Woldesenbet, H.D. Jeong, H. Park // *Journal of Management in Engineering*. – 2016. – V. 32. No. 1. – P. 1-14.

158. Bessarabov A. The life cycle of the development of road impregnations for motor transport infrastructure / A. Bessarabov, G. Priorov, A. Glushko // *Energy Reports*. – 2021. – V. 7. – P. 8633-8638.

159. Приоров Г. Г. Автоматизированная CALS-технология высокоэффективных процессов получения дорожных пропиточных композиций / Г. Г. Приоров, А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. – 2018. – № 4(56). – С. 74-83.

160. Приоров Г. Г. Автоматизированные CALS-системы материалов дорожной химии / Г. Г. Приоров, А. Н. Глушко, А. М. Бессарабов // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2021. – Т. 35. – № 10 (245). – С. 132-134.

161. Шубладзе А. М. Автоматически настраивающийся адаптивный промышленный регулятор (АНАП регулятор) / А. М. Шубладзе, С. В. Гуляев, В. Р. Ольшванг [и др.] // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2005. – № 3. – С. 32-35.

162. Холопов Ю. А. Реализация контроллера активной синхронной измерительной подсистемы цифровой системы управления / Ю. А. Холопов, В. Х. Нгуен // *Информационные технологии*. – 2019. – Т. 25. – № 12. – С. 733-737.

163. Неделько А. Ю. Контроллеры цифровых датчиков температуры // *Промышленные АСУ и контроллеры*. – 2010. – № 8. – С. 36-38.

164. Невиницын В. Ю. Программно-технический комплекс для автоматизированного проектирования алгоритмов управления технологическими объектами / В. Ю. Невиницын, А. Н. Лабутин, Е. В. Макарова // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. – 2021. – № 4 (68). – С. 56-62.

165. Priorov G. Development of industrial production of impregnating compositions for road coatings based on the concept of CALS / G. Priorov, A. Glushko, A. Bessarabov // *Chemical Engineering Transactions*. – 2019. – Vol. 76. – P. 457-462. – DOI 10.3303/CET1976077

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.

ДИПЛОМ 3-Й СТЕПЕНИ В НОМИНАЦИИ «АСПИРАНТЫ» 13-ГО  
МЕЖДУНАРОДНОГО КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «МКХТ-2017»



ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДИПЛОМ 1-Й СТЕПЕНИ В НОМИНАЦИИ  
«АСПИРАНТЫ И СОТРУДНИКИ» 14-ГО МЕЖДУНАРОДНОГО  
КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «МКХТ-2018»



**ПРИЛОЖЕНИЕ В.**  
**ДИПЛОМ РОССИЙСКОГО СОЮЗА ХИМИКОВ**



**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ «СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА  
СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ		(19) <b>RU</b> (11) <b>2 711 492</b> <sup>(13)</sup> <b>C1</b> (51) МПК <i>G01N 33/00</i> (2006.01) <i>G06F 17/10</i> (2006.01)	<b>RU</b> <b>2 711 492</b> <b>C 1</b>
<b>(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ</b>			
(52) СПК <i>G01N 33/00</i> (2019.08); <i>G01N 33/0075</i> (2019.08); <i>G06F 17/10</i> (2019.08); <i>G06F 16/35</i> (2019.08)			
(21)(22) Заявка: 2019125659, 14.08.2019 (24) Дата начала отсчета срока действия патента: 14.08.2019 Дата регистрации: 17.01.2020 Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 14.08.2019 (45) Опубликовано: 17.01.2020 Бюл. № 2 Адрес для переписки: 170100, г. Тверь, ул. Вагжанова, 7, оф. 304, Тверской ДНТ РосСНИО, Межеумову И.Н.		(72) Автор(ы): Глушко Андрей Николаевич (RU), Мешалкин Валерий Павлович (RU), Матасов Алексей Вячеславович (RU), Челноков Виталий Вячеславович (RU), Приоров Георгий Германович (RU) (73) Патентообладатель(и): Глушко Андрей Николаевич (RU), Мешалкин Валерий Павлович (RU), Матасов Алексей Вячеславович (RU), Челноков Виталий Вячеславович (RU), Приоров Георгий Германович (RU) (56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2357243 C1, 27.05.2009, RU 2626031 C1, 21.07.2017, US 6678692 B1, 13.01.2004. КАЗАКОВ Н.П., Эколого- экономические механизмы рекреационного природопользования, С.П., Астерион, 2009, стр. 79-82, найдено 20.11.2019 в Интернете [on line] на сайте (см. прод.)	
<b>(54) СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>			
(57) Реферат: Изобретение относится к экологии и может быть использовано для проведения мониторинга при комплексной оценке состояния окружающей среды и ее соответствия установленным нормам. Для этого вычисление показателей оценки экологической обстановки производят в соответствии с методом анализа иерархий. Присутствие каждого типа загрязнений определяют каждый месяц и вычисляют их среднее содержание за год. Затем строят матрицы сравнений загрязнений попарным сравнением каждого типа загрязнений по суммарному количеству месяцев и для каждого объекта проводят нормировку матриц делением каждого			
		элемента столбца на его сумму и расчет среднего значения и веса. Далее формируют матрицы для определения общего весового показателя каждого загрязняющего вещества как среднего по объектам окружающей среды. При этом умножение сформированной матрицы на столбец с полученными весовыми показателями объектов окружающей среды приводит к определению общего процентного веса каждого загрязняющего вещества. Изобретение обеспечивает увеличение скорости обработки информации и правильность расчетов при проведения экологического компьютерного мониторинга состояния объектов окружающей среды. 5 ил., 1 пр.	
Стр. 1			