

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»**

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**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в отделе системного анализа и информационных технологий
Акционерного общества Научный центр «Малотоннажная химия»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Бессарабов Аркадий Маркович
АО Научный центр «Малотоннажная химия»,
заместитель директора по науке

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Благовещенский Иван Германович
ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет», профессор
кафедры «Промышленная информатика»

кандидат технических наук
Копейкин Роман Евгеньевич
ФГАОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана»,
доцент кафедры «Автономные и информационные
управляющие системы»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Российский государственный
университет имени А.Н. Косыгина»**

Защита состоится «19» _____ июня _____ 2025 года в 13.00 на заседании
диссертационного совета РХТУ.2.6.09 федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский
химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» (125047,
Миусская пл., д. 9, ауд. 443, конференцзал).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре и
на официальном сайте <https://www.mustr.ru> федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский
химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева».

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета РХТУ.2.6.09
Кандидат технических наук, доцент



В.А. Василенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. 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 B., 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: Дмитриев 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., Заколодина 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 создание 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 ПГР; разработка автоматизированной системы геоэкологического мониторинга с привязкой пробоотбора к конкретным геообъектам (ЮЗАО, г. Москва); разработка автоматизированной КМК-системы качества ГФП; модернизация автоматизированной КМК-системы ДП; автоматизированная разработка модульного производства ДП; разработка CALS-проекта автоматизированной системы контроля и управления производством ДП.

Научная новизна работы:

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 «Плавящая 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 ПГР и ДП 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 ПГР. Разработанная методология комплексного анализа воздействия ПГР 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 работы:

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 ПГР, ГФП, ДП; оценка экологического воздействия ПГР 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 ДП, 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 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 лицензии (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.

Достоверность и обоснованность защищаемых 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.

Апробация 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).

Публикации. 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведены системные исследования, связанные с автодорожной инфраструктурой. Они показывают взаимосвязь основных задач развития России с разрабатываемыми автоматизированными системами по материалам дорожной химии.

1.1. На первом этапе в основу декомпозиции положен Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». На верхнем уровне иерархии рассматривались основные национальные цели, среди которых – «комфортная и безопасная среда для жизни». Одним из показателей этой цели является «улучшение транспортной инфраструктуры». Для данного целевого показателя рассмотрены 4 направления: железнодорожный, воздушный, автомобильный и водный транспорт. Показано, что автомобильный транспорт во много раз превосходит все остальные по всем важнейшим показателям (перевозка грузов и пассажиров, протяженность путей сообщения и др.).

1.2. На втором этапе декомпозиции рассматривается оценка транспортной инфраструктуры по показателю «Автомобильный транспорт». По данным The Global Competitiveness Report (ежегодный доклад Всемирного экономического форума) эта оценка зависит от геометрии дороги, уровня транспортной нагрузки и качества автотранспортной инфраструктуры.

Для детального отображения влияния качества автодорог на общий показатель качества транспортной инфраструктуры Российской Федерации проведен комплекс системных исследований, в ходе которого была предложена адаптация и декомпозиция диаграммы типа IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling) с выделением функций и уточнением внутренних связей между ними.

1.3. На последнем, 3-м этапе декомпозиции анализируется комплекс индикаторов, влияющих на качество автотранспортной инфраструктуры. В работе впервые совместно рассмотрена иерархическая структура аналитического мониторинга химических ПГР и ДП для использования на поверхности автодорог в зимнее и летнее время. Системные исследования позволили выделить многоуровневую кластерную архитектуру показателей качества рассматриваемых продуктов дорожной химии и разработать типовую структуру взаимосвязи каждого показателя с соответствующими методами

аналитического контроля и аналитическим оборудованием.

Для эффективной эксплуатации автодорожной инфраструктуры были разработаны 6 взаимосвязанных информационных комплексов: КМК-система ПГР, система экологического мониторинга ПГР, КМК-система ГФП, КМК-система и система разработки производства ДП. Программное обеспечение создавалось на основе наиболее перспективной системы компьютерной поддержки: CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта).

Во второй главе проведен анализ публикаций к.т.н. Глушко А.Н. (2013 г.), в которых рассматривается разработка КМК-системы ПГР и системы экологического мониторинга влияния ПГР на объекты окружающей среды. С учетом новых работ в этой области и развития программного обеспечения проведена модернизация этих систем.

2.1. Структура, разработанной в 2013г. КМК-системы ПГР, рассматривалась в следующих информационных сечениях: химический состав; показатели качества; методы анализа; аналитическое оборудование. Основные показатели качества сгруппированы по 4-м информационным кластерам: органолептические, технологические, физико-химические и экологические. Все работы проводились в программном комплексе CALS-технологии – PDM STEP Suite версии 1.7 (Product Data Management; STandard for the Exchange of Product model data).

При модернизации КМК-системы ПГР были выявлены ключевые преимущества обновленного дистрибутива PDM STEP Suite и показано, что версия 5.7 предоставляет более широкие функциональные возможности, что делает ее более эффективным инструментом управления жизненным циклом продукции по сравнению с версией 1.7. Показано, что ключевым отличием модернизированной КМК-системы ПГР является группировка показателей качества в соответствующем словаре, что позволяет упростить процесс мониторинга качества реагентов и сократить время исследований.

При модернизации была разработана подсистема управления процессами (рисунок 1). Это показано на примере управления аналитическим процессом определения формиатов щелочных металлов в ПГР по методике № 2478203. Для информационной поддержки в КМК-систему добавлено несколько единиц оборудования, с указанием их параметров и наличия в аналитической лаборатории предприятия (рисунок 1).

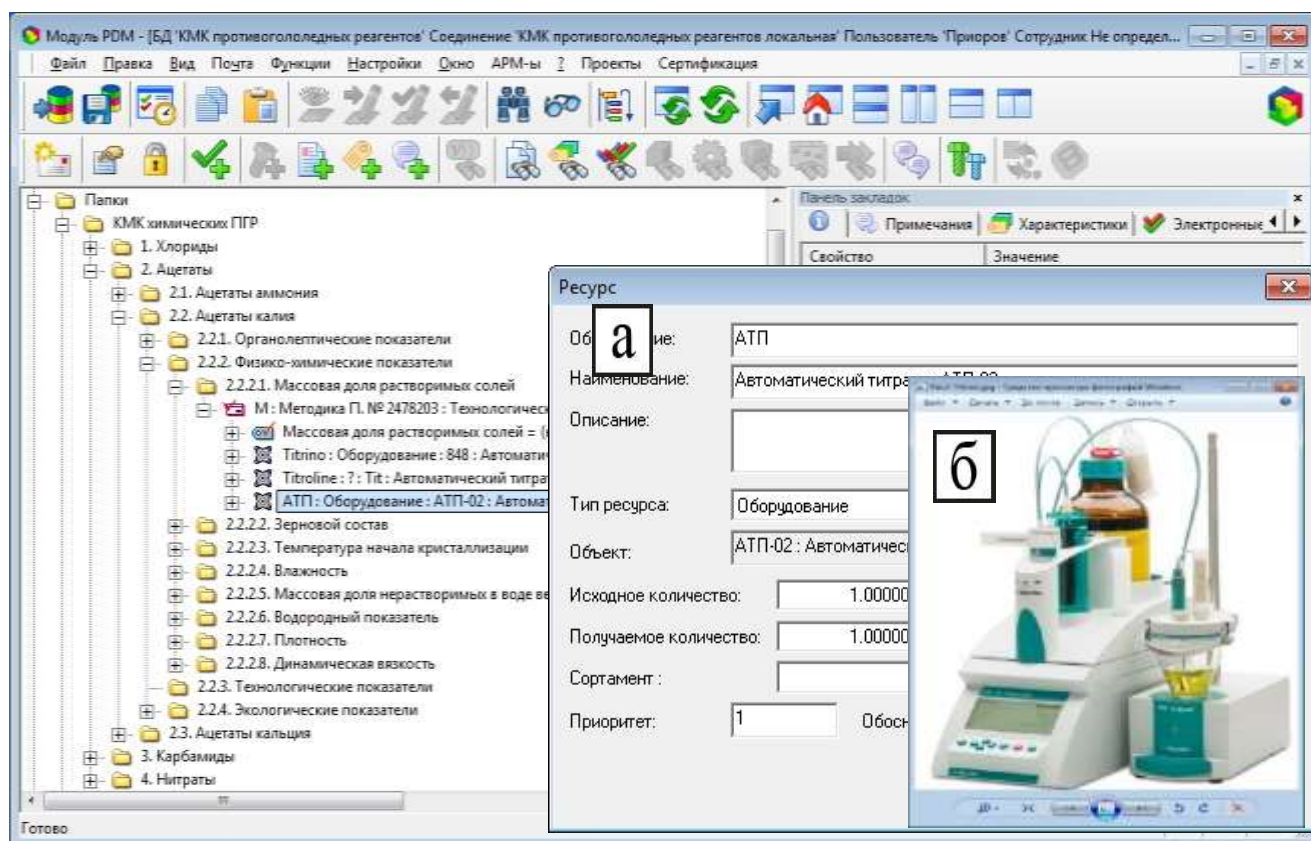


Рисунок 1 – Элемент КМК-системы «подбор аналитического оборудования» (а – окно с параметрами выбранного оборудования; б – фото титратора АТП)

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 активы и ресурсы для аналитических работ. Для этого при описании необходимого оборудования, все доступные аналоги целевого прибора добавлены в программный продукт PDM в качестве элемента «ресурс». Это позволяет химику-аналитику выбирать и отслеживать используемые приборы в режиме реального времени.

2.2. При разработке системы экологического мониторинга ПГР исходные данные структурированы по основным компонентам окружающей среды: снежный покров, водные объекты и грунтовые воды; почвенный покров; зеленые насаждения; атмосферный воздух. Для каждой экологической составляющей в архитектуру системы были введены 6 важнейших индикаторов качества: массовая доля (МД) растворимых солей; МД нерастворимых в воде веществ; водородный показатель; активность естественных радионуклидов; МД примесей; коррозионная активность на металл.

При модернизации КМК-системы экологического мониторинга, для каждого

образца ПГР были актуализированы 5 базовых показателей нижнего уровня (рисунок 2): регистрационный номер CAS (международная номенклатура химических соединений); формула химического соединения; величина ПДК; лимитирующий показатель по санитарно-токсикологическим нормативам; класс опасности вещества. Базовые показатели представляют собой табличные данные действующего СанПиН-2021.

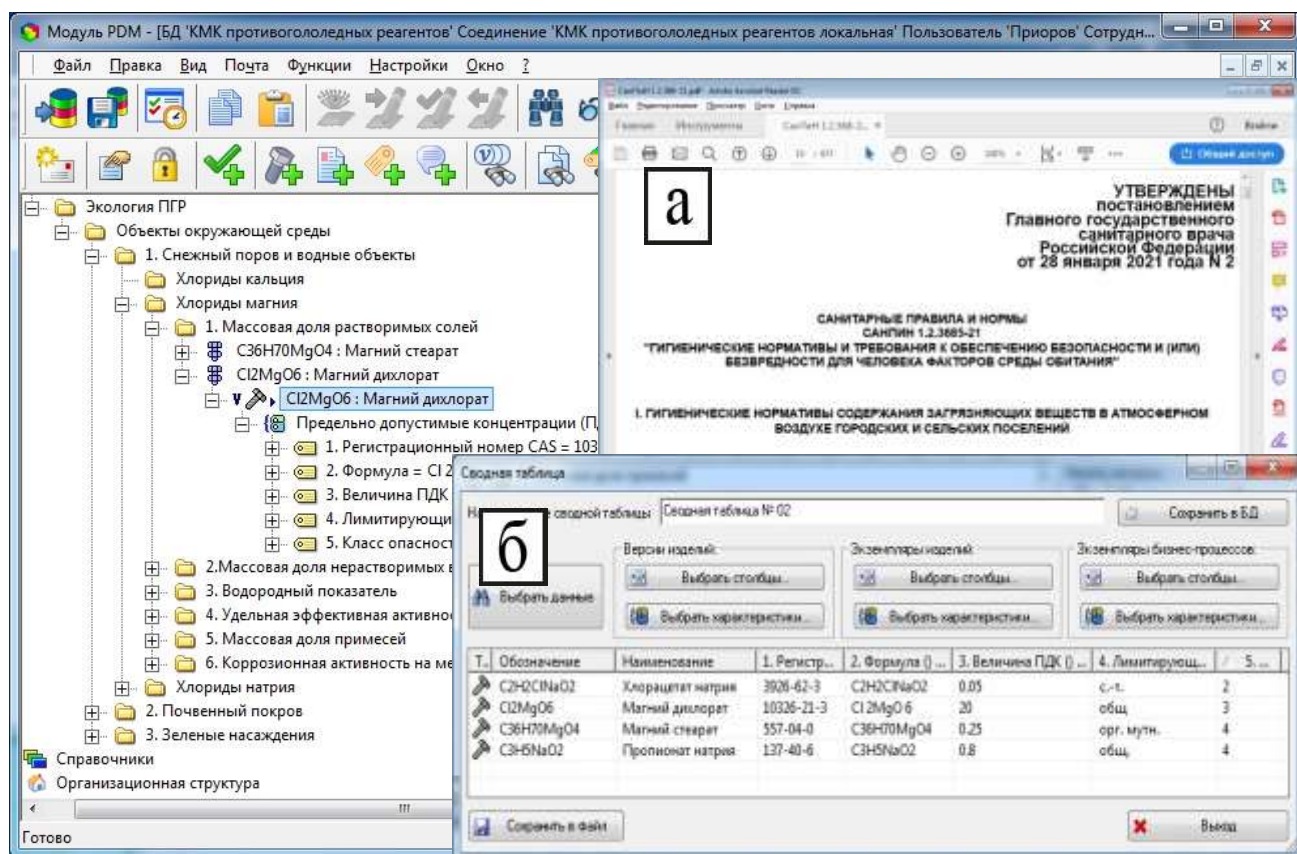


Рисунок 2 – Модернизированная КМК-система экологического мониторинга ПГР (а - СанПиН-2021; б – таблица показателей качества)

В модернизированной КМК-системе экологического мониторинга ПГР впервые рассмотрен показатель радиационной активности. Он имеет большое значение при мониторинге содержания естественных радионуклидов в объектах окружающей среды.

В третьей главе рассматривается создание геоэкологической КМК-системы для города Москвы. В системе осуществляется территориальная привязка экологического мониторинга к важнейшим городским объектам (рисунок 3). По всем экологическим показателям качества занесены основные методы анализа и аналитические приборы. На верхнем уровне КМК-системы приведены конкретные географические объекты Юго-Западного административного округа города Москвы. Пробы были взяты на Ленинском проспекте, проспекте Вернадского, Ломоносовском проспекте, на улицах Профсоюзной, Крупской, Академика Бакулева, Лебедева (МГУ им. М.В. Ломоносова).

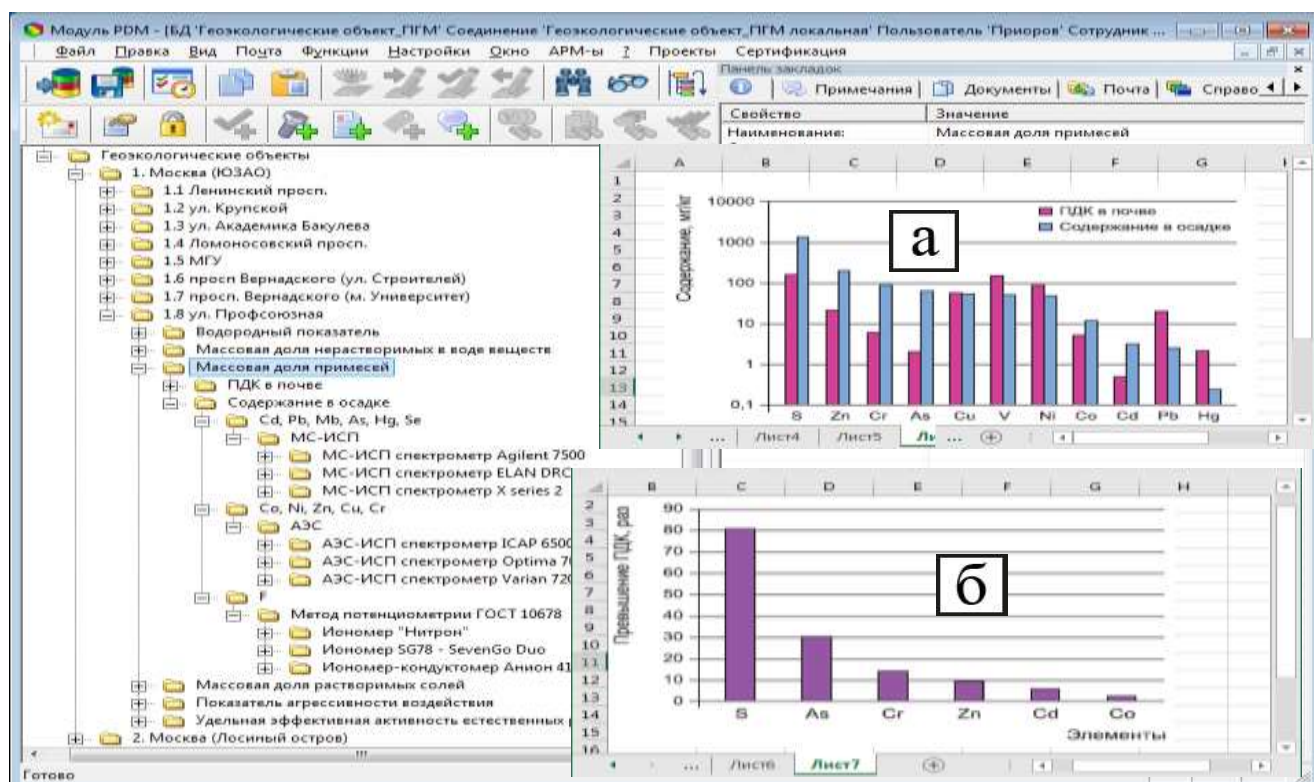


Рисунок 3 – КМК-система геоэкологического мониторинга ПГР. Массовая доля примесей (а – концентрация примесей в почве и осадке; б – доля превышения ПДК)

В КМК-системе геоэкологического мониторинга (рисунок 3) 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. Спектральный анализ показал, что в них содержится много токсичных элементов и тяжелых металлов.

В CALS-проекте рассматривается показатель «массовая доля примесей». Этот показатель рассматривается в двух подкатегориях: «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». Из элементов 2-го класса опасности в дорожных осадках после применения ПГР содержатся As, Sr, Rb, Co, Cd, Pb, Mo (рисунок 3-а). Концентрация тяжелых металлов и других элементов в них превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в несколько раз (рисунок 3-б).

В четвертой главе рассматривается разработка на основании концепции CALS-системы компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиточных составов (рисунок 4). В системе рассматриваются два типа составов: для гранитной тротуарной плитки и для бетонных дорожных плит.

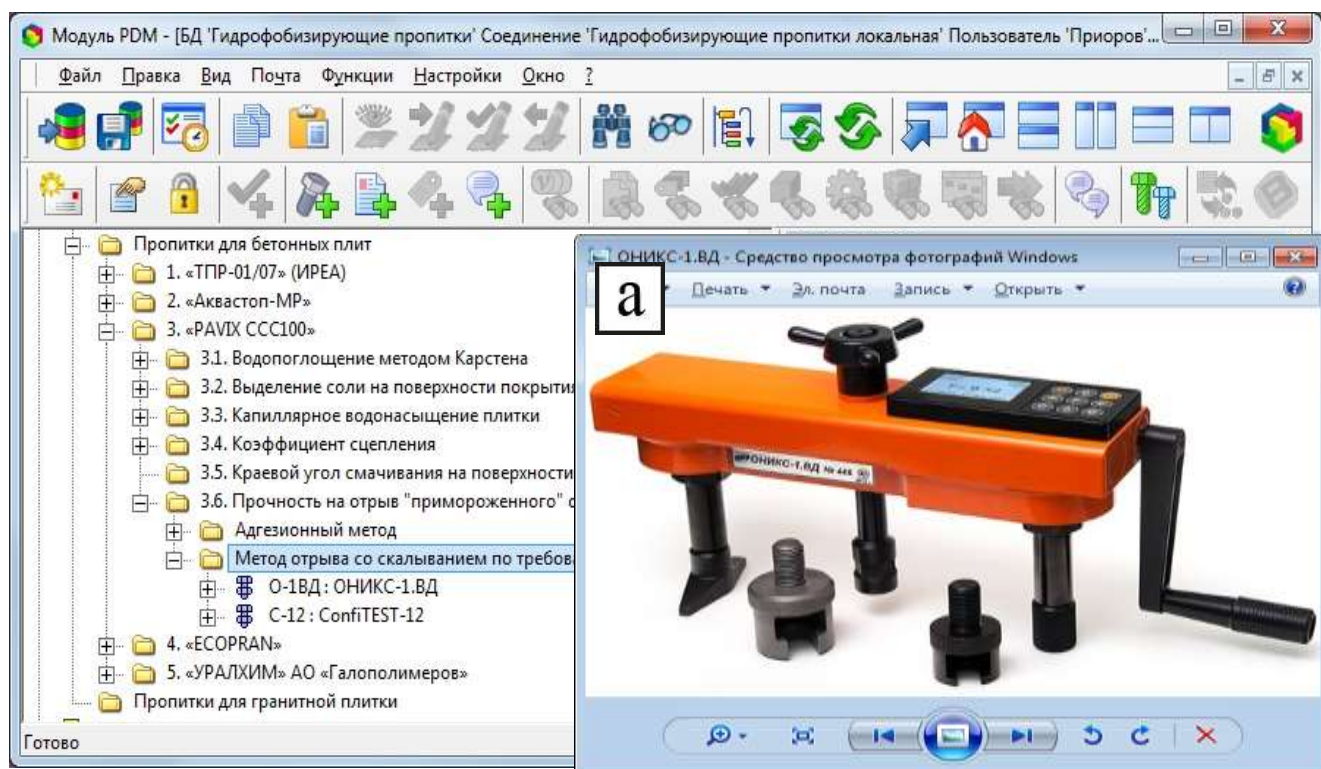


Рисунок 4 – Элемент КМК-системы «Характеристики гидрофобных составов» (а - «прочность на отрыв», измеритель усилия вырыва ОНИКС-1.ВД)

В категории «Покрытия для бетонных плит» рассматриваются 5 гидрофобизирующих составов наиболее известных производителей: Гидрофобизирующая композиция ТПР-01/07 (НИЦ «Курчатовский институт» - ИРЕА), «ЕСОПРАН» (ООО «Проф Лайн»), «Аквастоп-МР» (АО «ГНИИХТЭОС»), пропиточный состав для защиты цементобетонных покрытий «РАВИХ ССС100» (ООО «Компания Би Эй Ви»), гидрофобный реагент для обработки дорожных покрытий (АО «ОХК» «УРАЛХИМ», АО «Галополимер»).

Для каждой ГФП в систему добавлено 6 основных показателей качества (рисунок 5): водопоглощение методом Карстена; выделение соли на поверхности покрытия; капиллярное водонасыщение плитки; коэффициент сцепления; краевой угол смачивания на поверхности образца (плитки); прочность на отрыв «примороженного» образца. Для каждого показателя в базы данных занесены методы контроля и оборудование.

В пятой главе на основе публикаций 2013 г. предложена архитектура, разработанной в версии PDM STEP Suite 1.7, КМК-системы дорожных пропиток. На верхних уровнях системы проведена классификация по назначению, составу и виду ДП (рисунок 5). Каждой пропитке было поставлено в соответствие 6 групп показателей качества: органолептические, физико-химические, физико-механические, технологические, экологические и эксплуатационные. В каждой группе выделено несколько основных

индикаторов качества, определяемых в соответствии с ГОСТ и другими нормативными документами для каждой пропитки.

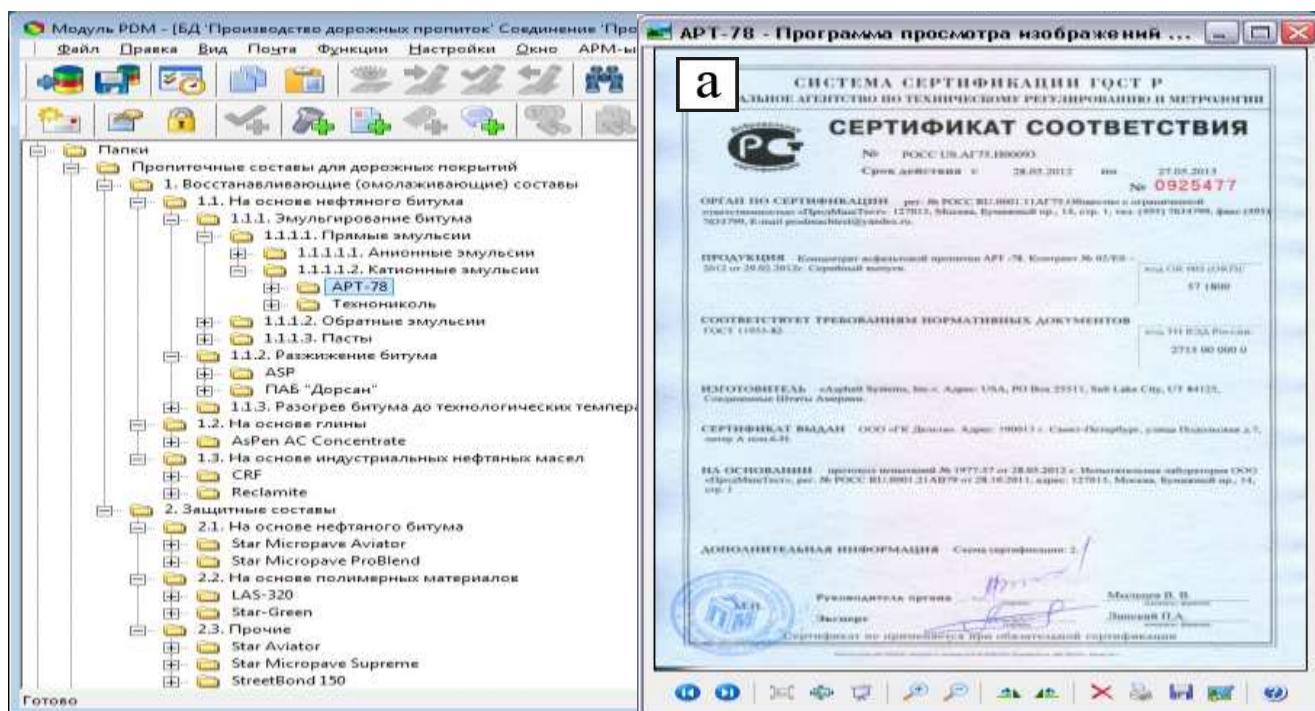


Рисунок 5 – Элемент CALS-проекта «Пропиточные составы». Восстанавливающие составы - Катионные эмульсии – «АРТ-78» (а - сертификат соответствия «АРТ-78»)

При анализе КМК-системы ДП, в версии PDM STEP Suite 1.7 был выявлен ряд ограничений в функционале старой версии программного обеспечения. Версия 1.7 не позволяла реализовать электронный документооборот между пользователями, что требует модернизации и совершенствования системы.

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

В шестой главе для разработанной с помощью КМК-системы дорожной пропиточной композиции создан CALS-проект технологического регламента (ТР) опытно-промышленной установки (рисунок 6). В разработанной типовой структуре ТР производства ДП выделены 14 подкатегорий (рисунок 6). В приведенном элементе информационного CALS-проекта рассматривается 13-я подкатегория – чертежи

технологической схемы производства. Первый конструкторский документ этой подкатегории – компоновочный чертеж (рисунок 6-а).

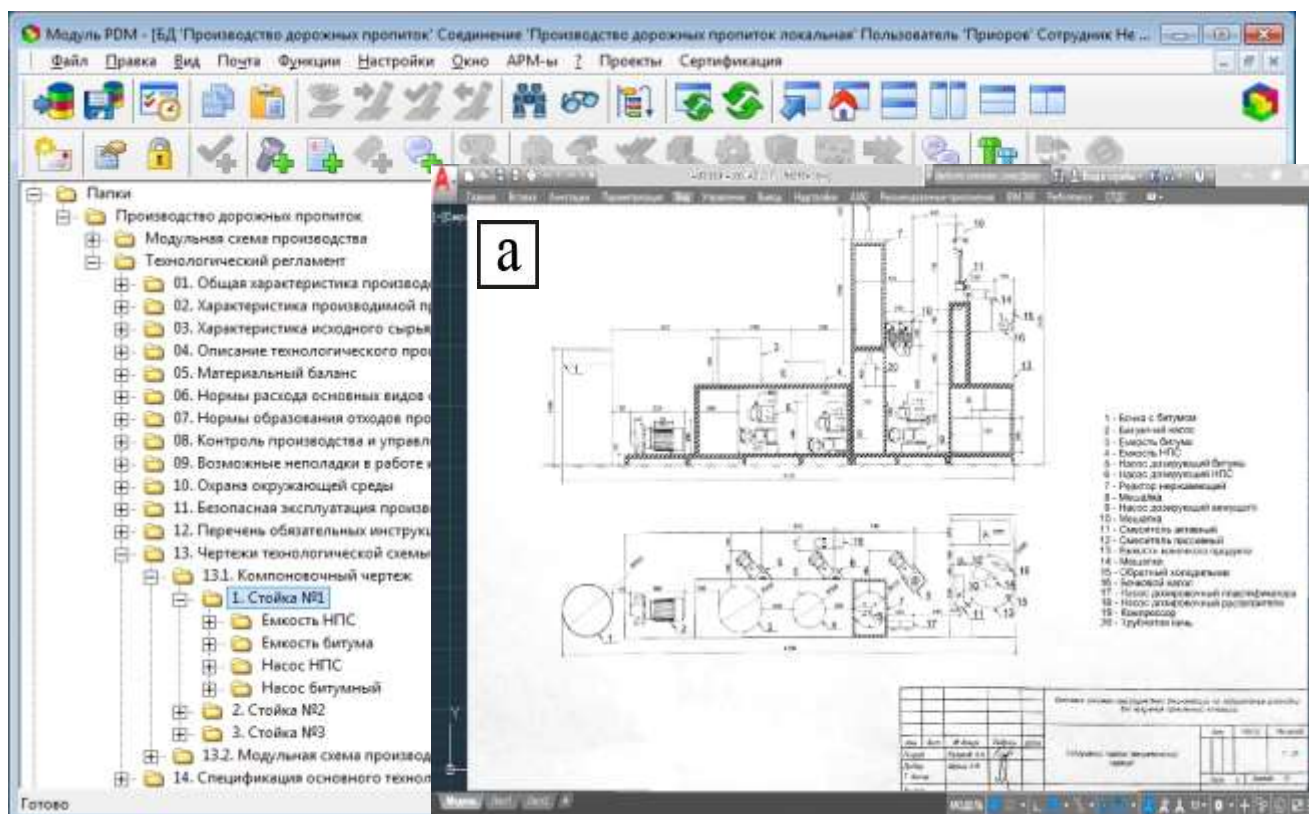


Рисунок 6 – CALS-проект технологического регламента опытно-промышленной установки (а – компоновочный чертеж технологической схемы)

Компоновка опытно-промышленной установки выполнена на трех стойках из металлического профиля. На первой стойке располагаются: емкости битума и НПС; дозировочный насос битума; дозировочный насос НПС. Стойка для оборудования двухуровневая. На нижнем уровне располагаются насосы, на верхнем - емкости. На второй стойке расположены: реакционная емкость с перемешивающим устройством; дозирующий насос вяжущего компонента; дозирующий насос пластификатора; дозирующий насос нефтяного растворителя; нагреватель смеси битума и НПС; компрессор. На третьей стойке располагаются: емкости растворителя и пластификатора; емкость готового продукта; смеситель пассивный и смеситель активный с мешалкой.

Для оперативного ремонта и модернизации опытно-промышленной установки все типы аварий и неисправностей были занесены в информационную CALS-систему. В систему были добавлены основные справочники понятий и объектов: критическая авария, некритическая авария, неисправности насосов НПС, битума и вяжущего, а также документация по основным кодам аварии (рисунок 7).

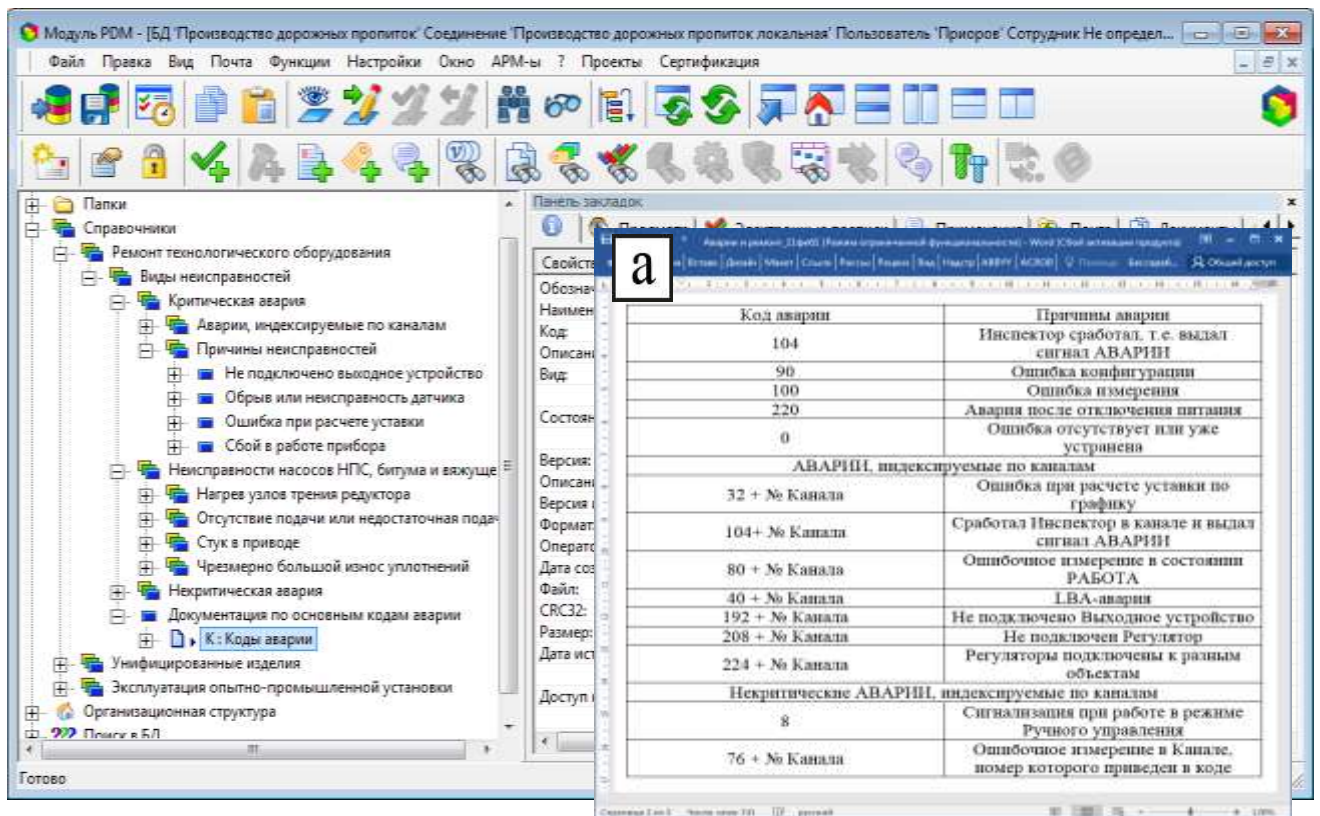


Рисунок 7 – Элемент CALS-проекта справочника по ремонту технологического оборудования (а – перечень кодов аварий и их возможные причины)

Так, при обнаружении каких-либо признаков неисправности оборудования, работник может сопоставить тип неисправности, её критичность и выбрать правильный алгоритм действий. Также работник может оперативно найти нужную ему информацию по всем отладочным кодам или кодам ошибок, о которых оповещает электронное табло на приборной панели установки.

В седьмой главе для разработанного производства дорожной пропиточной композиции проведена разработка CALS-проекта системы контроля и управления в полуавтоматическом и автоматическом режимах через регулятор с установленной программой «Конфигуратор ТРМ-148» (рисунок 8). В разработанной модульной схеме производства (рисунок 8-а) два узла (загрузки битума и нагрева битума и НПС) независимы. 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.

Информация по системе управления (рисунок 8) рассматривается в 8-й подкатегории CALS-проекта ТР (контроль производства и управление технологическим процессом). В

данном разделе регламента приводят перечень точек производства, контроль которых обеспечивает надежное соблюдение установленного режима технологического процесса.

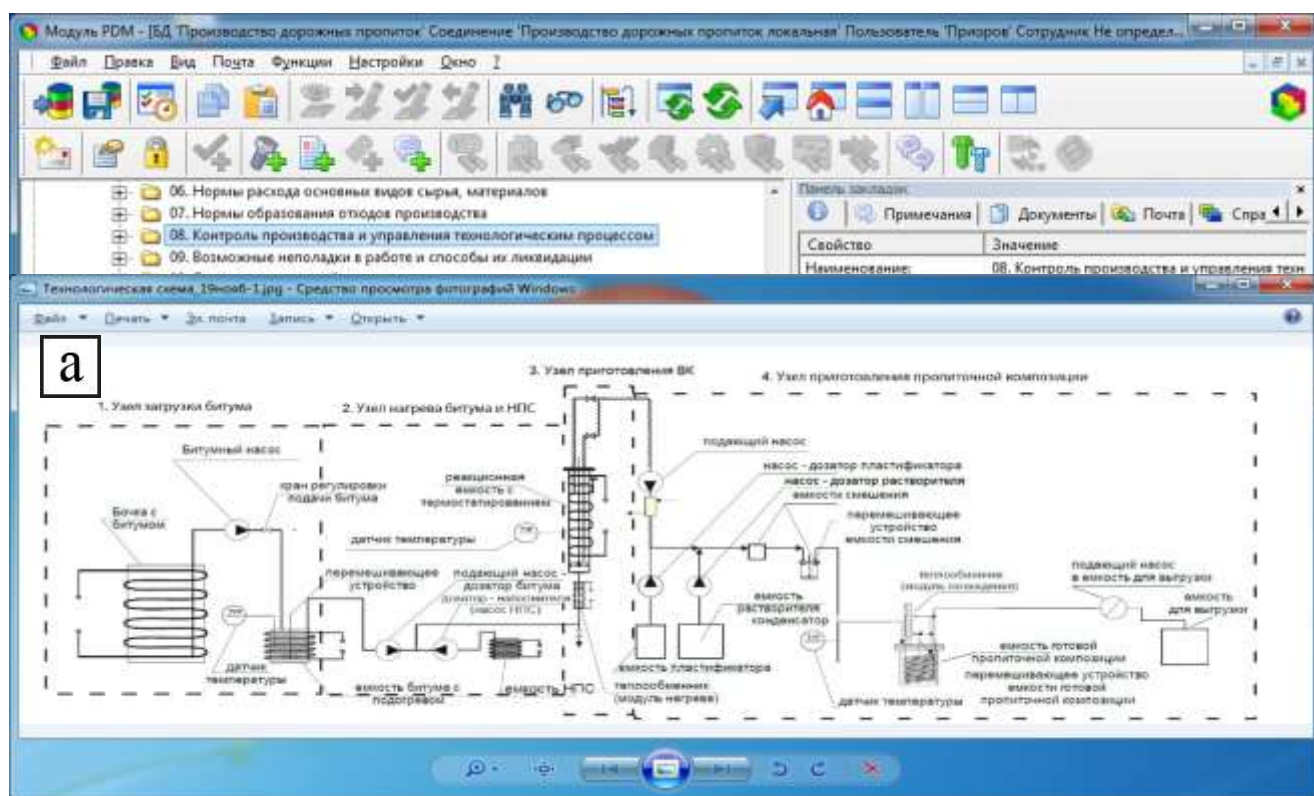


Рисунок 8 – CALS-проект системы контроля и управления опытно-промышленной установки (а – схема контроля и управления)

В понятие контрольной точки включают место (шифр стадии или операции), объект контроля, наименование определяемого параметра и его норматив, методы и средства контроля. В перечень контрольных точек включают только позиции, необходимые для обеспечения правильного и безопасного ведения технологического процесса.

Все основные элементы управления опытно-промышленной установки скомпонованы в единый щит управления (рисунок 9). 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 (рисунок 9-а).

При разработке системы автоматизации были исследованы возможности работы с различными управляющими приборами. Показано, что управление тепловыми процессами эффективнее осуществлять с помощью ТРМ-148, а общее управление технологическим процессом – с помощью РМТ-59. В то же время связка приборов РМА-94 и ТРМ-148 по управляемости аналогичны РМТ-59, а по тепловым процессам значительно удобнее. Поэтому управление было разработано на основе контроллера температуры РМА-94 и регулятора ТРМ-148.

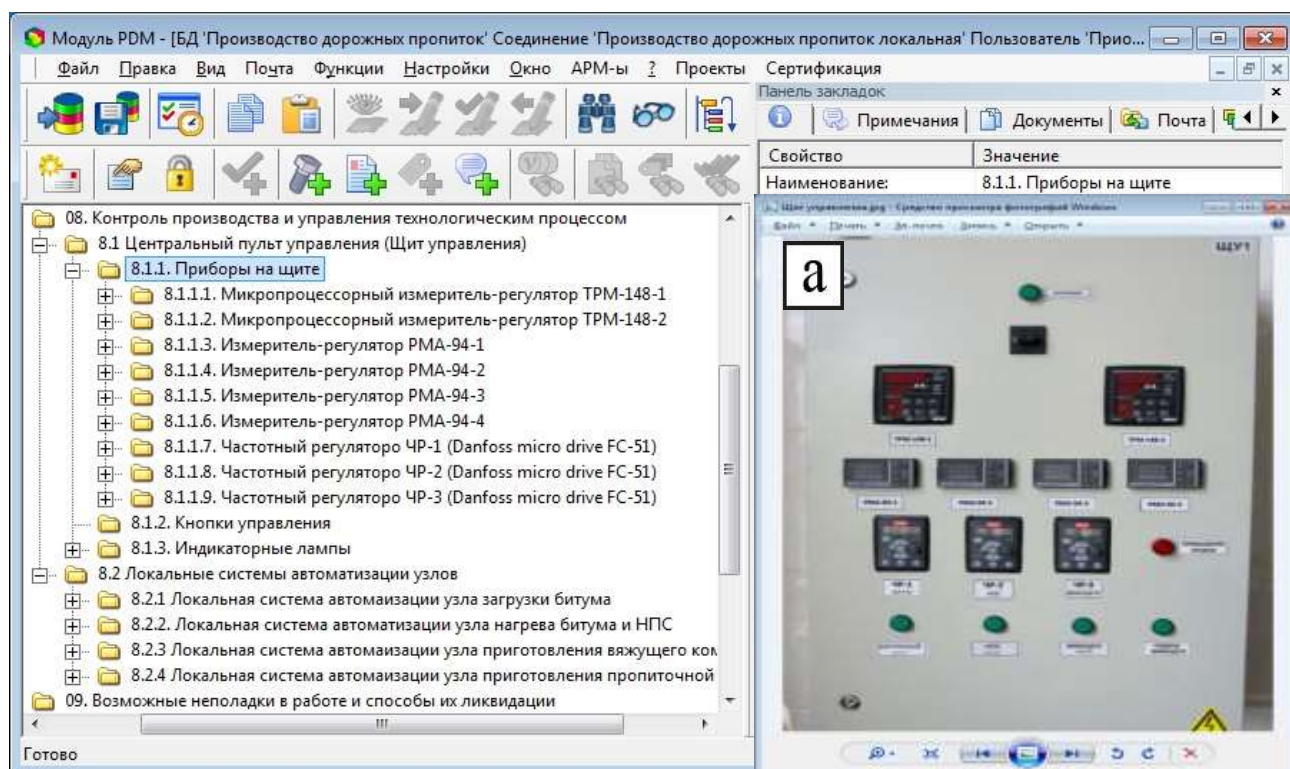


Рисунок 9 – Элемент CALS-проекта центрального ПУ (а – щит управления)

Для обеспечения информационной поддержки процессов контроля производства ДП и управления технологическим процессом в архитектуру CALS-проекта (рисунок 9) 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 данные в режиме реального времени на компьютер оператора.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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. 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 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 форматным ПГР и элемент системы для определения показателя качества «Плавящая способность».

4. При модернизации CALS-системы экологического мониторинга ПГР в архитектуру системы введены 5 новых базовых показателей, 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 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 КМК-система ГФП. Система структурирована по двум объектам применения: гранитная 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. Для каждого показателя в архитектуру заложены основные методы анализа и оборудование.

7. Проведена модернизация КМК-системы ДП (защитных и восстанавливающих) в современной версии программного комплекса PDM STEP Suite 5.7. Ключевым отличием

модернизированной КМК-системы является обновленный функционал для группировки показателей качества. Это позволяет структурировать информацию в логические категории, которые легко сравнивать и анализировать.

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 документация структурирована на трех уровнях: общая (компоновочный чертеж); аппаратные модули и элементы модулей.

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 ДП. Информация структурирована по щиту управления и всем локальным подсистемам автоматизации узлов установки, с входящими в них элементами КИПиА (контроллеры, регуляторы, датчики, и др.).

11. Разработанные CALS-системы внедрены в Центре коллективного пользования НИЦ «Курчатовский институт» - ИРЕА. Программные модули автоматизированных систем аналитического мониторинга вошли в проекты Минобрнауки России (№ 16.552.11.7010, № 14.579.21.0025) и Грант РФФИ № 18-29-24185мк.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Полученные методологические основы и программные комплексы рекомендуются для дальнейшего развития работ по материалам дорожной химии, а также для создания автоматизированных систем аналитического мониторинга и разработки других классов материалов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ

1. Glushko A., Bessarabov A., Priorov G. CALS-system of ecological monitoring of chemical anti-icing materials on the major environmental components // Chemical Engineering Transactions. 2018. V. 70. P. 451-456. (Scopus)

2. Priorov G., Bessarabov A., Glushko A. Development of industrial production of impregnating compositions for road coatings based on the concept of CALS // Chemical Engineering Transactions. 2019. V. 76. P. 457-462. (Scopus)

3. Priorov G., Makarova A., Chelnokov V., Glushko A., Matasov A. Analytic hierarchy process of geoeological monitoring of the impact of road infrastructure on environmental objects // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 19. 2019. V. 19. № 2.1. P. 745-752. (Scopus)
4. Vasenev, I.I., Chelnokov, V.V., Vershinin, V.V., Kovaleva, T.N., Glushko, A.N., Makarova, A.S., Priorov, G.G., Retivov, V.M., Vasiliev, Y.E., Matasov, A.V. Development of a methodology for monitoring the environmental impact of waste of the year-round maintenance of highways // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 663 (1), № 012053. (Scopus)
5. Priorov G., Glushko A., Bessarabov A. Ecological Monitoring of Road Chemistry Materials on Highways // Chemical Engineering Transactions. 2021. V. 88. P. 1273-1278. (Scopus)
6. Bessarabov A., Priorov G., Glushko A. The life cycle of the development of road impregnations for motor transport infrastructure // Energy Reports. 2021. V. 7. P. 8633-8638. (Q1, WoS, Scopus)
7. Разинов А.Л., Глушко А.Н., Бессарабов А.М., Чигорина Е.А., Приоров Г.Г., Стоянов О.В. Разработка информационной CALS-технологии модульного производства дорожных пропиток // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 14. С. 94-99. (БАК)
8. Глушко А.Н., Бессарабов А.М., Приоров Г.Г., Разинов А.Л., Чигорина Е.А., Стоянов О.В. Разработка на основе концепции CALS защитных пропиточных композиций для дорожных асфальтобетонных покрытий // Ремонт, восстановление, модернизация. 2018. № 11. С. 31-37. (БАК)
9. Приоров Г.Г., Глушко А.Н., Бессарабов А.М. Автоматизированная CALS-технология высокоэффективных процессов получения дорожных пропиточных композиций // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. № 4 (56). С. 74-83. (БАК)
10. Бессарабов А.М., Приоров Г.Г., Нартов А.С., Глушко А.Н., Стоянов О.В. CALS-системы компьютерного менеджмента качества противогололедных реагентов для экологического мониторинга содержания радионуклидов // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 7. С. 85-90. (БАК)
11. Бессарабов А.М., Глушко А.Н., Приоров Г.Г. Автоматизированная CALS-система геоэкологического мониторинга противогололедных реагентов // Экологические системы и приборы. 2021. № 9. С. 19-26. (БАК)
12. Приоров Г.Г., Бессарабов А.М. CALS-проект автоматизированной системы управления производством дорожных пропиток // Промышленные АСУ и контроллеры. 2022. № 12. С. 3-11. (БАК)

13. Бессарабов А.М., Приоров Г.Г., Кириллова И.Ю., Трохин В.Е. CALS-система компьютерного менеджмента качества гидрофобизирующих пропиток для автодорожной инфраструктуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. № 8. С. 18-28. (БАК)

14. Glushko A., Bessarabov A., Priorov G. CALS-system of ecological monitoring of chemical anti-icing materials on the major environmental components // 21 th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES' 2018), 25 to 29 Aug. 2018, Prague, Czech Republic, v. 2, p. 807-808. (Scopus)

15. Priorov G.G. Development of CALS-system of ecological monitoring of chemical anti-icing materials // School for Young Scientists «Assessment of Planetary Boundaries for Chemical Pollution», Moscow, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 1st–5th October, 2017, p. 146-147.

16. Priorov G.G., Glushko A.N., Bessarabov A.M., Chigorina E.A., Razinov A.L. CALS-technology of the development of highly efficient road protective ipregnations // Book of abstracts XXI Mendeleev congress on general and applied chemistry, S.Peterburg, Russia, 9-13 September, 2019, v. 3, p. 278.

17. Glushko A., Bessarabov A., Priorov G. CALS-system for geo-ecological monitoring of the environmental impact of anti-icing reagents // 22 th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES' 2019), Crete, Greece, 20-23 October 2019, p. 34.

18. Priorov G., Glushko A., Bessarabov A. The Life Cycle of the Development of Road Impregnations for Motor Transport Infrastructure // Book of abstracts 1st Asia Pacific Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (1st SDEWES AP), Gold Coast, Australia, in 6-9 April 2020, p. 28.

19. Приоров Г.Г., Бессарабов А.М. Информационный CALS-проект системы автоматизации для установки получения дорожных пропиточных композиций // Математические методы в технике и технологиях. 2023. № 2. С. 79-82.

20. Приоров Г.Г., Бессарабов А.М. Модернизации CALS-системы противогололедных реагентов на основе PDM STEP Suite 5.7 // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 11. С. 132-134.

21. Bessarabov A.M., Priorov G.G. CALS-technology of scientific research for the development of anti-icing reagents and road impregnating compositions // Book of abstracts XXII Mendeleev congress on general and applied chemistry, Federal Territory “Sirius”, Russia, October 7-12, 2024, v. 6, p. 91.

22. Глушко А.Н., Мешалкин В.П., Матасов А.В., Челноков В.В., Приоров Г.Г. Способ проведения экологического компьютерного мониторинга состояния объектов окружающей среды // Патент на изобретение RU 2711492 С1 от 14.08.2019.