

УДК 629.331;625.76.08

## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОТИВОГОЛОЛЁДНОЙ ОБРАБОТКИ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

К. П. Мандровский, к. т. н., доц. / Я. С. Садовникова, инж.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Качество противогололёдной обработки покрытий (ПГО) — это характеристика результатов выполненных работ по нанесению реагентов на покрытия. Качество можно определить как степень соответствия действительных (текущих) транспортно-эксплуатационных показателей состояния дороги, обеспеченных процессом ПГО, нормативным. Качество как составляющую эффективности можно оценить как косвенно, через транспортно-эксплуатационные показатели (коэффициенты аварийности, безопасности, проезжаемости, потери от дорожно-транспортных происшествий, дорожную составляющую себестоимости перевозок), так и непосредственно [1]. В таком случае оно характеризуется достигаемой чистотой покрытий и коэффициентом сцепления шины колеса автомобиля с дорожным покрытием (эффективностью торможения). Эти показатели зависят от вида и характеристик выбранного противогололёдного реагента (ПГР), вида рабочего оборудования, времени, предоставленного для выполнения технологической операции по распределению ПГР, равномерности распределения реагентов, их расхода, квалификации персонала, технического состояния и характеристик задействованных транспортных средств, а также от метеорологических условий. Из предложенных и научно обоснованных способов обеспечения качества ПГО можно выделить следующие.

- Осуществление постоянного контроля за метеорологическими показателями (скоростью и направлением ветра, температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением и т. д.) с целью принятия мер по рациональному расходованию ПГР [2, 3]. Реализация данного способа возможна за счёт создания специализированной системы дорожного метеорологического обеспечения (СДМО) и систем обеспечения противогололёдной обстановки (СОПО). Подобные системы позволяют отслеживать метеоданные и снабжать дорожно-эксплуатационные организации точной информацией о погодных условиях. Распола-

гая достоверными сведениями и отслеживая их изменения, представители служб смогут подготовиться заранее к опасным явлениям, провести профилактические мероприятия, используя современные технологии зимнего содержания автодорог. На данный момент создание таких систем сопряжено с большими финансовыми затратами, поскольку производители электронного и информационного обеспечения в основном представлены зарубежными фирмами (США, Польша, Германия, Норвегия, Финляндия, Швеция, Швейцария). Преимущество таких систем — экономия и рациональное использования реагента.

- Создание ГИС-технологии, объединяющей на единой информационной платформе данные об особенностях участков дорог, метеорологические параметры и их прогноз. Для выбора стратегии производства работ необходим такой компонент, как система поддержки принятия решений (СППР) [4].

- Разработка набора экономически эффективных схем организации работ (движения спецтранспорта), учитывающих технические характеристики машин, цели проводимых работ, климатические и метеорологические параметры и показатели, интенсивность движения, уровень содержания дорог и технико-экономические показатели покрытий, аналогичные предложенным в работах [5–10].

- Формирование концептуальной модели организации работ по ПГО на базе многолетних метеорологических наблюдений, моделей формирования зимней скользкости, математических моделей оценки эффективности принятых решений по выбранным стратегиям мероприятий по ПГО [11, 12].

- Оснащение машин для распределения реагентов цифровыми автоматизированными системами управления [13, 14], поддерживающими заданный расход ПГР и ширину обрабатываемой полосы неизменными вне зависимости от скорости на протяжении всего процесса ПГО. Недостаток подобных систем — невозможность учитывать метеорологические параметры непосредственно при проведении ПГО.

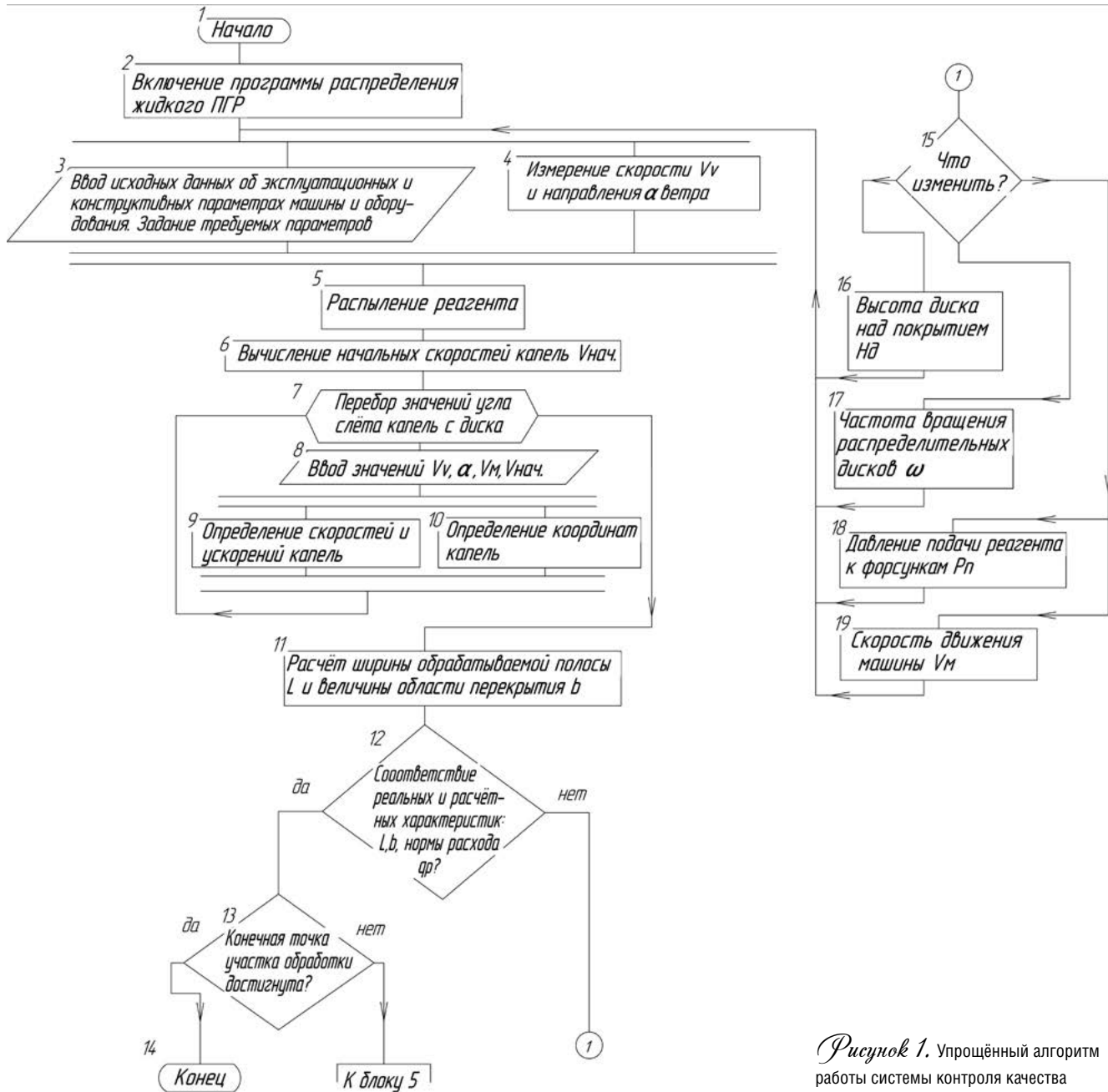


Рисунок 1. Упрощённый алгоритм работы системы контроля качества

Перспективным вариантом решения проблемы обеспечения качества и эффективности ПГО является разработка системы контроля и управления процессом ПГО. Её назначение — сбор метеоинформации, учёт конструктивных параметров распределительного оборудования, режимов работы машины и оборудования с целью оперативной адаптации норм расхода ПГР и своевременного изменения параметров функционирования рабочего оборудования и машины. Для машин, распределяющих твёрдые реагенты, к конструктивным параметрам следует отнести радиус диска, количество подаваемого конвейером реагента, геометрические параметры

конвейера. Для машин, работающих с жидкими ПГР, к этому виду параметров относят геометрические характеристики диска и рёбер (лопаток), конструктивное исполнение форсунок. К эксплуатационным параметрам следует отнести скорость движения машины, высоту диска над покрытием, скорость и направление ветра, температуру среды. Схожие по назначению системы мониторинга рассмотрены в работах [15–18]. Отличительная особенность предлагаемой концепции системы состоит в возможности работать с комплексом характеристик: техническими характеристиками рабочего оборудования, метеорологическими характеристиками внешней

среды и характеристиками ПГР, осуществляя на этапе подготовки к ПГО их оптимальный подбор, при котором обеспечено равномерное распределение ПГР при требуемой ширине полосы обработки, а в процессе ПГО — корректировку изменяемых параметров для достижения наилучшего соотношения качества и экономичности. Компактность системы и интегрируемость с существующими цифровыми автоматизированными системами дорожных и аэродромных машин делают её технически реализуемой и экономически эффективной. Программное и математическое обеспечение таких систем применимо для решения практических задач (выбора высоты диска над покрытием, угла его наклона, давления подачи реагента, геометрических размеров лопаток распределительного диска или его радиуса) уже на стадии разработки общей концепции автоматизированной системы управления и контроля.

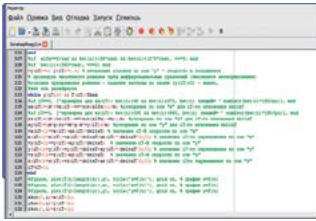
#### УПРОЩЁННЫЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПГО

Для реализации предлагаемой системы и последующей проверки адекватности её работы необходимо наглядно представить принцип функционирования. Алгоритм работы системы контроля качества, являющейся компонентом автоматизированной системы управления машиной (на примере аэродромных машин с дисковым рабочим оборудованием), продемонстрирован на рис. 1. Работа программы по контролю качества начинается после задания с пульта оператора исходных данных, а именно геометрических параметров диска и лопаток, допустимых частот вращения приводных валов диска, давления подачи реагента форсунками, расстояния между форсункой и диском, расстояния между дисками, допустимой величины перекрытия, диапазона варьирования высоты диска над покрытием, температуры воздуха, скорости и направления ветра, коэффициента динамической вязкости среды, плотности воздуха и реагента, коэффициента трения реагента о диск.

После этого устанавливаются требуемые (выходные) значения ширины полосы обработки, перекрытия зон (при необходимости), нормы расхода реагента на единицу обрабатываемой площади (блоки 2, 3). С этого момента начинаются обработка полосы (блок 5) и непрерывный расчёт радиусов зон обработки, совмещённый с измерением скорости и направления ветра (блоки 4–11). На протяжении процесса ПГО определяется характер изменения формы зон и выполняется проверка соответствия реальной и требуемой ширины полосы обработки (блоки 12, 13). Результаты расчёта могут быть визуализированы на дисплее пульта управления. В случае несо-

ответствия величин система осуществляет поиск решения возникшей проблемы (блок 15). Это может быть изменение скорости движения машины, изменение высоты дисков над покрытием или частоты их вращения или же варьирование давления подачи ПГР. Выбор конкретного способа определяется исходя из вида машины (дорожная или аэродромная), технических характеристик машины и сложившихся дорожных условий (блоки 16–19). На данном этапе предполагается вмешательство оператора в процесс управления. При этом система представляет для анализа значения характеристик рабочего процесса для каждого из гипотетически возможных решений. Накопленные эксплуатационные данные в дальнейшем могут быть использованы при выборе оптимальной стратегии ПГО, учитывающей конструктивные, эксплуатационные, организационные, метеорологические и экономические группы факторов. Анализ алгоритма диктует соответствующие требования к системе контроля качества ПГО, к которым относятся: обеспечение непрерывного и качественного сбора данных о состоянии окружающей среды, контроль за конструктивными и эксплуатационными параметрами рабочего оборудования, на основе заложенных в ядро программы математических моделей рабочего процесса по ПГО определение максимальной ширины полосы обработки, расчёт перекрытия зон ПГО, равномерности распределения ПГР по зонам ПГО, своевременное принятие мер по поддержанию качества ПГО (изменение режимов работы или расположение оборудования, корректировка скорости движения машины), накопление и хранение эксплуатационных данных о характеристиках процесса ПГО с целью дальнейшего их использования при оценке эффективности ПГО и выбора способов её повышения.

Система контроля должна обеспечивать точность измерения параметров, нахождение датчиков и системы регистрирующих устройств в постоянной эксплуатационной готовности. Необходимо применять оборудование, устойчивое к внешним воздействиям (защищённое от пыли, снега, вибрации, воздействия солнечной активности, коррозионной активности, способное работать в условиях дождя, тумана и повышенной влажности). Из алгоритма видно, что после фиксации сигналов происходит их передача для последующей обработки в блоке управления (блоки 3–11). На данном этапе следует обеспечить надёжность передачи и сохранение данных, предусмотрев защиту информации от воздействия помех различной природы и происхождения, создание каналов связи и передачи данных, предотвращающих возникновение логических ошибок при передаче. При необходимости предусмотреть резервные кана-



*Рисунок 2.* Реализация математических моделей в среде QtOctave

лы связи. На этапе анализа и расшифровки данных следует обеспечить возможность работы системы с датчиками различной природы (пневматическими, электрическими, электромагнитными, оптоэлектронными и т. п.), исключающую вероятность логических ошибок при расшифровке и трактовке сигналов. При выработке управляющих сигналов нужно гарантировать их однозначное понимание системами и приборами и выполнимость, исключить логические ошибки в алгоритмах функционирования машины и её подсистем, обеспечить уровни приоритетности сигналов, высокую скорость выдачи сигналов и наличие устройств, преобразующих их в форму, доступную для восприятия исполнительными устройствами. При хранении информации следует обеспечить заданный объём оперативной памяти и надёжность хранения информации без искажения со временем [19].

#### БАЗА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

В основу функционирования предлагаемой системы положены математические модели движения частиц (капель) реагента по распределительному диску, математическая модель истечения жидкого ПГР из форсунки, математическая модель движения реагента в воздушной среде, а также технико-экономические модели для расчёта и выбора машин и оборудования с характеристиками, гарантирующими оптимальное соотношение между себестоимостью производства работ и качеством ПГО [20, 21]. Реализация предложенных моделей в виде программного кода представлена на рис. 2.

#### СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ

Располагая общими принципами работы системы и перечнем требований, логично рассмотреть основные компоненты технического обеспечения системы. Система должна включать в себя: блок датчиков (манометры, электромагнитные расходомеры, индукционные датчики контроля частоты вращения валов привода распределительных дисков, датчики — измерители линейных и угловых перемещений);

электронный блок управления, предназначенный для сбора, обработки, хранения данных и выработки управляющих сигналов на исполнительные механизмы (гидромоторы привода дисков, гидронасосы подачи жидкого ПГР, гидропривод подвески дисков); регистрирующие устройства (анемометр, термометр).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Преимущество системы, концепция которой изложена в работе, состоит в возможности дистанционно в автоматическом режиме контролировать и вносить коррективы в процесс ПГО, учитывая комплекс технологических, эксплуатационных и конструктивных показателей и обеспечивая качественное и экономное распределение ПГР. Совокупность контролируемых системой показателей следует применять не только для принятия оперативных решений, но и для последующего анализа воздействия внутренних и внешних факторов на качество нанесения реагентов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ОДМ 218.3.050-2015. Методические рекомендации по проведению испытаний и оценке эффективности машин и навесного оборудования для содержания автомобильных дорог. — М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2015.
2. Синицын Л. А. Безопасность движения. Автоматическая противогололёдная установка / Л. А. Синицын, А. Г. Макушев, С. К. Котов // Транспорт Российской Федерации. — 2006. — № 7 (7). — С. 58–59.
3. К проблеме мониторинга дорожных условий / И. В. Гракович, П. Г. Кирьян, Н. П. Кузнецов, В. В. Кулагин // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. — 2013. — № 1 (57). — С. 117–120.
4. Перегудова В. Н. Системы принятия решений в оперативном управлении зимним содержанием автомобильных дорог // Современные наукоёмкие технологии. — 2014. — № 7. — Ч. 2. — С. 133–134.
5. Магарас Ю. И. Прогнозирование погодных и дорожных условий как элемент интеллектуальной транспортной системы / Ю. И. Магарас, А. А. Клясова, А. В. Добринский // Вестник НЦБЖД. — 2017. — № 1. — С. 28–37.
6. Расчёт экономической эффективности схем организации работ по зимнему содержанию автомобильных дорог при оценке транспортно-эксплуатационных свойств в системе автоматизированного проектирования: рукопись деп. в ВИНТИ РАН № 1316-B2005 / О. В. Рябова, А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, Т. В. Скворцова. — Воронеж, 2005. — 30 с.
7. Александров В. Д. Антигололёдные реагенты и средства борьбы с гололёдом / В. Д. Александров, О. В. Соболев, А. Ю. Соболев // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. — 2016. — № 3. — С. 10–15.
8. Применение химических противогололёдных материалов с учётом уровня зимнего содержания автомобильных дорог / Н. Е. Кокодеева, А. В. Бобков, Ж. Н. Кадыров, Д. А. Климов // Техническое регулирование в транспортном строительстве. — 2016. — № 5 (19). — С. 9–16.
9. Белоусов В. Е. Управление ресурсами при зимнем содержании региональной сети автомобильных дорог / В. Е. Белоусов, Т. В. Самодурова, В. Н. Шарапова // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2010. — Т. 6. — № 7. — С. 51–55.
10. Новые подходы к моделированию работы дорожно-эксплуатационной службы / В. А. Корчагин, С. А. Ляпин, В. Э. Клявин, В. В. Ситников // Организация и безопасность дорожного движения: матер. междунар. науч.-практ. конф. — Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. — С. 226–230.
11. Сакута Н. Б. Формирование концептуальной модели организации работ по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах / Н. Б. Сакута, Ю. В. Коденцева, И. Н. Гайнулина // Вестник Сибирской автомобильно-дорожной академии. — 2016. — № 3 (49). — С. 80–86.
12. Коденцева Ю. В. Пути повышения эффективности зимнего содержания сети автомобильных дорог Омской области за счёт рационального использования ресурсов / Ю. В. Коденцева, М. Е. Сизов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: матер. междунар. науч.-практ. конф. — Омск, 2016. — С. 19–25.
13. Гулин В. Н. Цифровые модели для систем управления дорожно-строительными машинами / САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2015. — № 1 (4). — С. 56–59.
14. Прокопьев А. П. Концепция интеллектуализации систем управления процессами дорожного строительства / А. П. Прокопьев, В. И. Иванчура // Новые идеи нового века: матер. междунар. науч. конф.: в 3 т. — Хабаровск: ТОГУ, 2015. — Т. 3. — С. 287–295.
15. Мандровский К. П. Возможные перспективы развития систем мониторинга дорожных машин при управлении эффективностью и техническом аудите // Механизация строительства. — 2016. — Т. 77. — № 10. — С. 47–52.
16. Мандровский К. П. Анализ систем мониторинга дорожно-строительных машин и концепции системы управления эффективностью // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2016. — № 1 (44). — С. 26–33.
17. Мандровский К. П. Оценка динамической устойчивости в мониторинговой системе управления технико-экономической эффективностью дорожных машин // Вестник Донского государственного технического университета. — 2016. — Т. 16. — № 2 (85). — С. 69–76.
18. Мандровский К. П. Системы мониторинга в управлении эффективностью и техническом аудите дорожных машин // Технические науки в России и за рубежом: матер. междунар. науч. конф. — М.: Буки-Веди, 2016. — С. 75–78.
19. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 3 с.
20. Измайлов А. Ю. К вопросу обоснования технико-экономического уровня сельскохозяйственных машин и оборудования / А. Ю. Измайлов, В. А. Макаров // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2016. — № 6. — С. 3–9.
21. Кустарёв Г. В. Оценка эффективности дорожных машин как инструмент технического аудита / Г. В. Кустарёв, К. П. Мандровский, Я. И. Тюрин // Механизация строительства. — 2016. — Т. 77. — № 5. — С. 18–23.