

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт Машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование)

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Технология Машиностроения

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс нанесения ЛКМ на кузовные панели автомобилей LADA

Обучающийся

Е.Д. Бобылева

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Д.Г. Левашкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

доцент, М.А. Кривова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

доцент, О.М. Сярова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрен технологический процесс нанесения ЛКМ на кузов автомобиля GRANTA 2194.

В ходе работы был создан универсальный электронный калькулятор для расчета потребности ЛКМ в программе Python, который позволяет рассчитать норму определенного материала и его стоимость.

В процессе модернизации было заменено сопло в пневматическом окрасочном пистолете, это более подробно описано в работе.

Так же для повышения производительности был усовершенствован окрасочный пистолет путем автоматизации.

В работе описаны методы и средства снижения профессиональных рисков для сотрудников и возможный экологический вред, обеспечена безопасность и экологичность технического объекта. Проведено экономическое обоснование модернизации, рассчитаны затраты и оценена экономическая эффективность.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 72 страницах, включающей 1 приложение, 11 рисунков, 19 таблиц, 29 формул. Графическая часть состоит из 8 листов формата А1.

Abstract

This graduation qualification work examines the technological process of applying paint and varnish coatings to the body of a GRANTA 2194 car.

During the work, a universal electronic calculator was created for calculating the need for paint and varnish materials in the Python program, which allows you to calculate the rate of a certain material and its cost.

During the modernization process, the nozzle in the pneumatic spray gun was replaced, this is described in more detail in the work.

Also, to increase productivity, the paint gun was improved through automation.

The paper describes methods and means of reducing professional risks for employees and possible environmental damage, ensures the safety and environmental friendliness of the technical facility. An economic justification for modernization was conducted, costs were calculated and economic efficiency was assessed.

Bachelor's thesis consists of a 72-page text, including 1 appendice, 11 figures, 19 tables, 29 formulas. The graphic part consists of 8 sheets of A1 format.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных	6
1.1 Анализ служебного назначения и условий работы деталей.....	6
1.2 Анализ технологического процесса.....	7
1.3 Задачи ВКР	22
2 Технологическая часть	23
2.1 Проектирование типового ТП	23
2.2 Определение припусков.....	24
2.3 Разработка схем базирования	24
2.4 Нормирование лакокрасочных материалов	25
3 Проектирование технологического оснащения.....	34
3.1 Анализ оборудования и приспособлений ТП	34
3.2 Анализ оборудования	36
3.3 Методика настройки факела окрасочного пистолета	41
3.4 Техническое решение	44
3.5 Расчет основных характеристик окрасочного пистолета	47
3.6 Расчет стержня на сжатие и устойчивость.....	49
3.7 Расчет пружины	51
3.8 Универсальный калькулятор	52
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	58
4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого технического объекта	58
4.2 Идентификация профессиональных рисков	60
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	62
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	63
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	65
5 Экономическая эффективность работы.....	67
Заключение	68
Список используемой литературы	69
Приложение А Спецификация к сборочному чертежу	72

Введение

«АВТОВАЗ» – один из крупнейших производителей автомобилей в России и Восточной Европе, играет ключевую роль в развитии отечественной автомобильной промышленности. АВТОВАЗ был основан в 1966 году, завод стал символом советского автомобилестроения и продолжает занимать лидирующие позиции на российском рынке.

Нанесение ЛКМ – сложный технологический процесс, учитывающий много факторов. Лакокрасочные материалы (ЛКМ) для автомобилей играют ключевую роль в обеспечении как эстетического, так и защитного функционала. Они защищают кузов автомобиля от коррозии, механических повреждений и воздействия окружающей среды, а также придают автомобилю привлекательный внешний вид [6].

Нормирование лакокрасочных материалов – это процесс, который включает в себя определение и установление норм расхода, качества и других характеристик ЛКМ, необходимых для достижения оптимальных результатов в процессе их применения.

Нормирование ЛКМ позволяет обеспечить эффективное использование материалов, что снижает затраты на производство и применение, гарантирует качество покрытий, обеспечивая соответствие требованиям стандартов, упорядочивает процессы закупки и хранения материалов.

Правильный выбор и применение ЛКМ могут значительно увеличить срок службы кузова и сохранить его привлекательность на протяжении многих лет.

Целями данной работы являются создание электронного универсального калькулятора для расчета потребности ЛКМ в программе Python, а также предложение технического решения для уменьшения расхода ЛКМ и автоматизации процесса окраски на АО «АВТОВАЗ».

1 Анализ исходных данных

В данном разделе будут проанализированы исходные данные, дальше на основе анализа будут определены задачи, решение которых поможет достичь главных целей работы [7].

1.1 Анализ служебного назначения и условий работы деталей

«Назначение детали – это функция или роль, которую она выполняет в рамках конкретного механизма или устройства. Это означает, что каждая деталь имеет определенное предназначение и выполняет определенные функции, которые важны для работы всей системы» [9].

Кузов автомобиля выполняет несколько основных функций – это прочность и безопасность конструкции, функциональность и внешний вид автомобиля. Для сохранения кузова автомобиля наносят лакокрасочное покрытие, к нему относят грунт, базисную эмаль и лак. На рисунке 1 показан эскиз кузова 2194 с зонами нанесения ЛКМ.

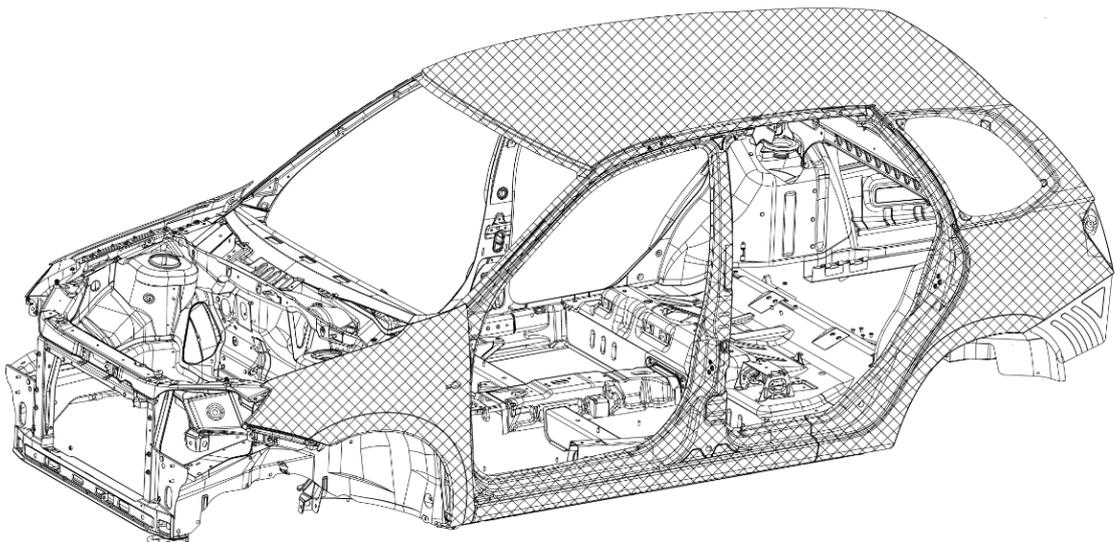


Рисунок 1 – Эскиз кузова

ЛКП служит барьером между металлической основой кузова и окружающей средой, предотвращая появление коррозии. ЛКП также определяет внешний вид автомобиля и защищает кузов от воздействия солнечного света для предотвращения выгорания цвета и ухудшения качества покрытия.

Условия работы кузова автомобиля и лакокрасочного покрытия являются важными факторами, определяющими их долговечность и функциональность. Современные автомобили часто имеют такие конструктивные решения, которые направлены на улучшение защиты от коррозии. Также использование высококачественных материалов для кузова и лакокрасочного покрытия может значительно повысить их устойчивость к внешним воздействиям.

1.2 Анализ технологического процесса

Исходными данными для моей работы является комплект технологической документации окраски кузова GRANTA. Нанесение лакокрасочных материалов на кузов автомобиля включает в себя несколько ключевых этапов, каждый из которых играет важную роль в достижении качественного и долговечного покрытия. В таблице 1 представлено 2 этапа: подготовка и окраска кузова.

Таблица 1 – Окраска кузова

№ Операции	Название операции
этап «подготовка»	
005	установка кузова на напольный конвейер
010	контроль документов
015	подготовка черного кузова
020	мойка черного кузова
025	автоматический обдув черного кузова
030	подготовка поверхности кузова (бондеризация)
035	нанесение на поверхность кузова катафорезного грунта
040	сушка катафорезного грунта

Продолжение таблицы 1

045	охлаждение катафорезного грунта
050	съем и перестановка оснастки капота и крышки багажника, установка заглушек и коврика в нишу запасного колеса
055	съем и перестановка упоров дверей, установка штатных заглушек, раскладка прокладок изоляционных по автокомплектam
060	съем и перестановка упоров дверей, установка заглушек
065	передача кузова со скида на птк
070	маскировка днища кузова от брызг пшм
071	установка заглушек
075	нанесение мастики на порог кузова
080	маскировка порогов кузова
090	нанесение герметизирующей мастики
095	нанесение противозумной мастики
100	демаскировка порогов пола
105	протирка поверхности кузова от следов пшм
110	демаскировка разовых заглушек
115	передача кузова с птк на скид
120	нанесение герметизирующих мастик
125	установка шумоизоляции
130	протирка кузова перед сушкой мастик
135	сушка пшм и герметизирующих мастик
140	охлаждение кузова после сушки
145	маскировка
150	дефектовка катафорезного грунта
155	протирка кузова перед сушкой мастик
160	обдув кузова ионизированным воздухом
165	нанесение вторичного грунта вручную
170	нанесение вторичного грунта роботами
175	нанесение вторичного грунта вручную окончательное
176	растекание вторичного грунта
180	сушка грунта
185	охлаждение вторичного грунта
190	устранение дефектов вторичного грунта
этап «окраска»	
005	протирка кузова перед окраской
010	обдув ионизированным воздухом
015	нанесение базисной эмали вручную
020	нанесение базисной эмали роботами
025	нанесение базисной эмали вручную окончательное
030	растекание слоя базисной эмали
035	нанесение лака вручную и эмали темных цветов
040	нанесение прозрачного лака роботами
045	нанесение прозрачного лака вручную окончательное
050	растекание слоя лака
055	сушка лакокрасочного покрытия
060	охлаждение кузова
065	установка буфера, съем трубочек, оснастки
070	доработка окрашенного кузова

Продолжение таблицы 1

075	демонтаж
076	рихтовка дефектов навесных деталей
077	монтаж
078	регулировка зазоров
079	заполнение сопровождающей документации
080	рихтовка кузова
083	нанесение черной эмали
085	подкраска внутренних поверхностей
095	фиксация боковых дверей, отправка кузова
100	контроль скко в камере аудита
105	отправка кузова из камеры аудита
110	передача кузова со скида на птк
115	нанесение защитного состава в скрытые сечения кузова
120	шлифовка дефектов (мелкий ремонт окрашенного кузова)
123	доработка дефекта «вздутие мастики». удаление воздушного пузыря
125	подкраска дефектов (мелкий ремонт окрашенного кузова)
128	доработка дефекта «вздутие мастики». восстановление слоя и подкраска доработанного участка
130	полировка дефектов (мелкий ремонт окрашенного кузова)
131	монтаж накладок боковых дверей
135	шлифовка кузова под повторную окраску

Технологический процесс нанесения лакокрасочных материалов включает в себя операции 165, 170, 175, 176, 180 на этапе «подготовка» и операции 015, 020, 025, 030, 035, 040, 045, 050, 055 на этапе «окраска». Рассмотрим эти операции подробно.

Операция 165 выполняется на двух постах:

- 1) Расфиксировать и открыть переднюю правую/левую и заднюю правую/левую боковые двери кузова;
- 2) Открыть рукой крышку люка наливной горловины топливного бака.

«Пост №1:

- 1) Нанести вторичный грунт на:
 - проем правой передней боковой двери;
 - поверхности верхней и нижней петель с внутренней стороны;

- поверхности верхней и нижней петель задней двери со стороны передней.
- 2) Нанести вторичный грунт на:
 - правую центральную стойку кузова;
 - проем задней боковой двери;
 - поверхности верхней и нижней петель с внутренней стороны.
 - 3) Закрыть правую заднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой.
 - 4) Закрыть правую переднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой.

Пост №2:

- 1) Нанести вторичный грунт на:
 - проем левой передней боковой двери;
 - поверхности верхней и нижней петель с внутренней стороны;
 - поверхности верхней и нижней петель задней двери со стороны передней.
- 2) Нанести вторичный грунт на:
 - левую центральную стойку кузова;
 - проем левой задней боковой двери;
 - поверхности верхней и нижней петель с внутренней стороны.
- 3) Закрыть левую заднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой.
- 4) Закрыть левую переднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой» [3].

Операция 170 выполняется в автоматическом режиме. Переходы в данной операции:

- 1) Нанести грунт двумя роботами в электростатическом поле на горизонтальные поверхности кузова автоматически (толщина покрытия 30-45 мкм и 18-26 °С).
- 2) Нанести грунт четырьмя роботами в электростатическом поле на вертикальные поверхности кузова автоматически (толщина покрытия 30-45 мкм и 18-26 °С).

Рассмотрим переходы на операции 175:

- 1) Осмотреть лицевые поверхности кузова:
 - капот;
 - крышу;
 - боковую поверхность с правой и левой стороны кузова;
 - крышку багажника.
- 2) Выявить непрокрасы на указанных поверхностях и устранить их подкрашиванием при температуре 18-26 °С.

Растекание вторичного грунта на операции 176 происходит автоматически.

Сушка грунта (операция 180) также происходит в автоматическом режиме.

Операция 015 нанесение базовой эмали вручную выполняется на 5 постах:

Требуемый для каждого кузова цвет эмали определяется согласно табло на борту камеры окраски.

«Пост №1:

- 1) Открыть капот за ручку упора капота от прилипания, зафиксировать упором капота при окраске:
 - прокрасить узким факелом ребра подвижного звена правой петли капота;
 - нанести слой базисной эмали в зоне крепления к кузову неподвижного звена правой петли капота;

- нанести слой базисной эмали в зоне верхнего усилителя брызговика, закрытой передним крылом.
- 2) Открыть правую переднюю боковую дверь:
- нанести слой эмали на торец переднего крыла на рисунке 2, закрываемого передней дверью» [3];

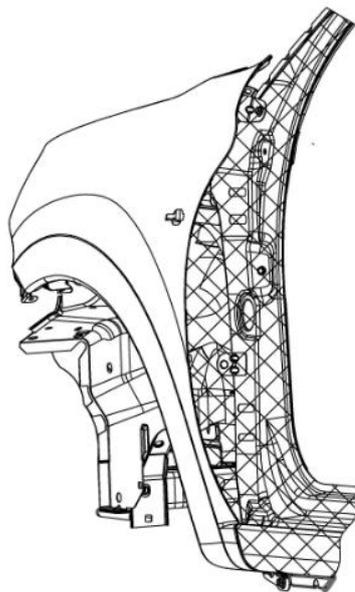


Рисунок 2 – Схема нанесения эмали на торец переднего крыла

- прокрасить петли с внутренней стороны;
 - нанести слой базисной эмали на нижнюю часть двери;
 - закрыть правую переднюю боковую дверь без фиксации оснасткой.
- 3) «Открыть правую заднюю боковую дверь:
- нанести слой эмали на нижнюю часть двери;
 - закрыть правую заднюю дверь без фиксации оснасткой.
- 4) Открыть рукой крышку люка наливной горловины топливного бака:

- нанести слой базисной эмали на наливную горловину, внутреннюю поверхность крышки люка наливной горловины в петлю крышки люка, как показано на рисунке 3» [3].

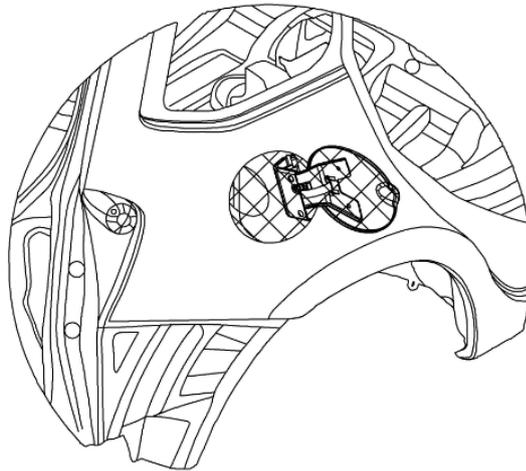


Рисунок 3 – Нанесение базисной эмали

- «закрывать крышку люка наливной горловины топливного бака, придерживая ее рукой за нижнюю кромку.
- 5) Открыть ЗОД за ручку упора ЗОД для максимального открывания в камере окраски, зафиксировать упором:
- прокрасить узким факелом правую подвижную/неподвижную петли ЗОД;
 - нанести слой эмали на верхний участок фланца проема ЗОД с наружной и внутренней стороны;
 - нанести слой эмали на правый подвижный/неподвижный кронштейны газовых упоров.
- б) Прокрасить узким факелом заднюю буксирную проушину кузова.

Пост №2:

- 1) Прокрасить узким факелом переднюю буксирную проушину кузова.
- 2) Нанести базисную эмаль на труднодоступные места капота:
 - прокрасить узким факелом ребра подвижного звена левой петли капота;
 - нанести слой базисной эмали в зоне крепления к кузову неподвижного звена левой петли капота;
 - нанести слой базисной эмали в зоне верхнего усилителя брызговика закрытую передним крылом.
- 3) Открыть левую переднюю боковую дверь:
 - нанести слой базисной эмали на торец переднего крыла, закрываемый передней дверью;
 - прокрасить петли с внутренней стороны;
 - нанести слой базисной эмали на нижнюю часть двери;
 - закрыть левую переднюю боковую дверь без фиксации оснасткой.
- 4) Открыть левую заднюю боковую дверь:
 - нанести слой базисной эмали на нижнюю часть двери;
 - закрыть левую заднюю дверь без фиксации оснасткой.
- 5) Прокрасить узким факелом левую подвижную/неподвижную петли ЗОД:
 - нанести слой эмали на левый подвижный/неподвижный кронштейны газовых упоров.

Пост №3:

- 1) Открыть правую переднюю боковую дверь.
- 2) Нанести слой базисной эмали на:
 - проем передней боковой двери (рисунок 4)» [3];

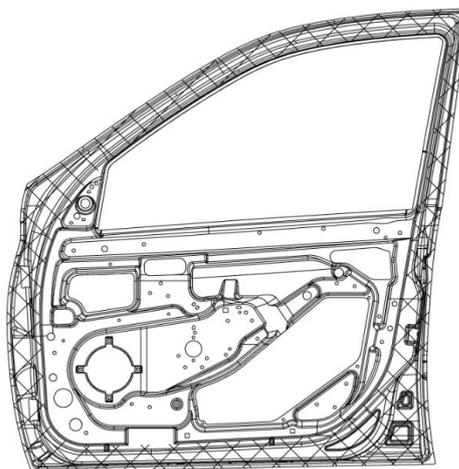


Рисунок 4 – Нанесение эмали на проем передней боковой двери

- «петли передней боковой двери;
 - петли задней двери со стороны передней;
 - внутренний периметр передней боковой двери.
- 3) Открыть правую заднюю боковую дверь.
 - 4) Нанести слой базисной эмали на центральную стойку.
 - 5) Нанести слой базисной эмали на:
 - проемы задней боковой двери (рисунок 5);
 - петли задней боковой двери» [3];
 - «внутренний периметр боковой двери.

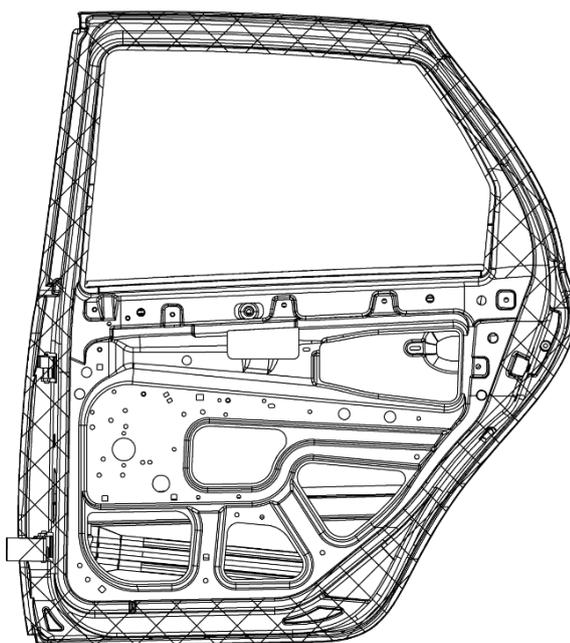


Рисунок 5 – Задняя боковая дверь

- б) Закрыть правую заднюю боковую дверь без фиксации оснасткой.
- 7) Закрыть правую переднюю боковую дверь без фиксации оснасткой.

Пост № 4:

- 1) Открыть левую переднюю боковую дверь.
- 2) Нанести слой базисной эмали на:
 - проем передней боковой двери;
 - петли передней боковой двери;
 - петли задней двери со стороны передней;
 - внутренний периметр передней боковой двери.
- 3) Открыть левую заднюю боковую дверь.
- 4) Нанести слой базисной эмали на центральную стойку.
- 5) Нанести слой базисной эмали на:
 - проемы задней боковой двери;
 - петли задней боковой двери;
 - внутренний периметр боковой двери.

- 6) Закрывать левую заднюю боковую дверь без фиксации оснасткой.
- 7) Закрывать левую переднюю боковую дверь без фиксации оснасткой.
- 8) Нанести слой базисной эмали на:
 - внутренний периметр задней откидной двери;
 - торцы задних крыльев, водосточные желобки ЗОД, и балку крыши заднюю;
 - панель задка со стороны ЗОД.

Пост №5 (На повторных кузовах правую стойку и опору пружины передней подвески с VIN номером кузова не красить):

- 1) Нанести слой базисной эмали на:
 - правую и левую стойки и опоры пружин передних подвесок (рисунок 6);
 - правый и левый желоб капота (рисунок 6);
 - торцы правого и левого переднего крыла (рисунок 6);
 - поперечину рамки радиатора верхнюю (рисунок 6);
 - внутреннюю поверхность капота по периметру (рисунок 7)» [3].

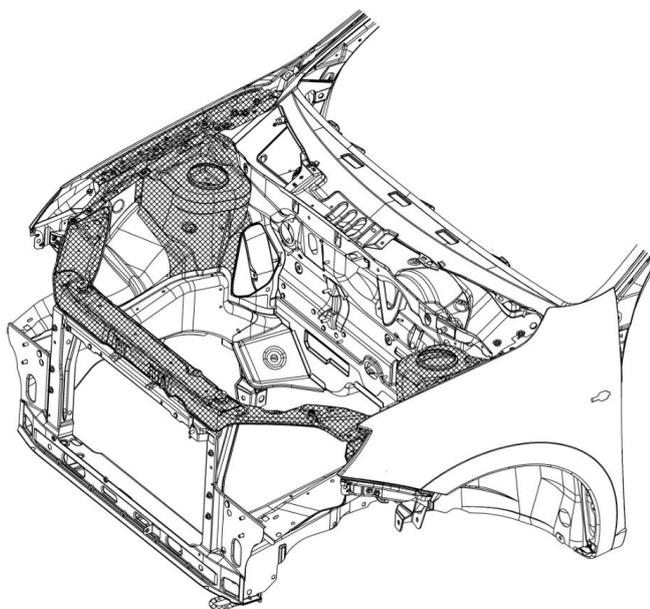


Рисунок 6 – Нанесение базисной эмали

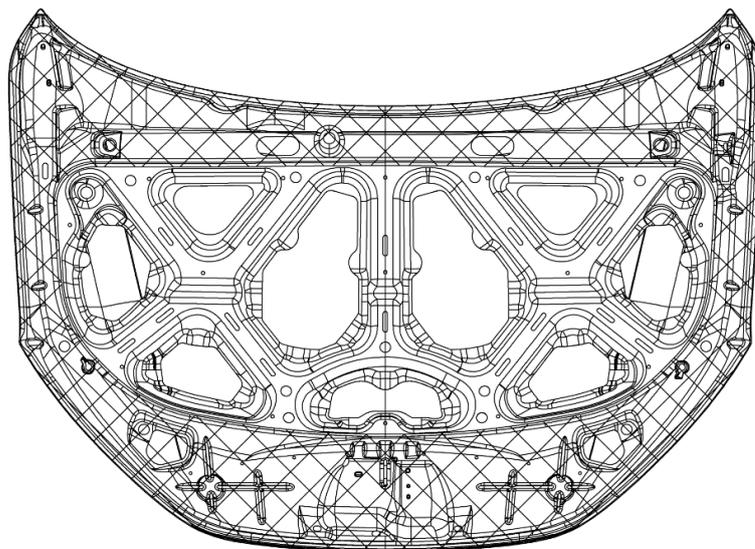


Рисунок 7 – Внутренняя поверхность капота

- 2) «Расфиксировать капот и, держа за ручку, аккуратно опустить на упор капота от прилипания.
- 3) Открыть правую переднюю дверь.
- 4) Нанести слой базисной эмали на:
 - проемы правой передней двери;
 - петли правой передней двери;
 - петли правой задней двери со стороны правой передней;
 - внутренний периметр правой передней двери.
- 5) Открыть правую заднюю дверь.
- 6) Нанести слой базисной эмали на центральную стойку.
- 7) Нанести слой базисной эмали на:
 - проемы правой задней двери;
 - петли правой задней двери;
 - внутренний периметр правой задней двери.
- 8) Закрыть правую заднюю дверь, зафиксировать оснасткой.
- 9) Закрыть правую переднюю дверь, зафиксировать оснасткой.

- 10) Открыть левую переднюю боковую дверь.
- 11) Нанести слой базисной эмали на:
 - проемы левой передней двери;
 - петли левой передней двери;
 - петли левой задней двери со стороны передней;
 - внутренний периметр левой передней боковой двери.
- 12) Открыть левую заднюю дверь.
- 13) Нанести слой базисной эмали на центральную стойку.
- 14) Нанести слой базисной эмали на:
 - проемы левой задней двери;
 - петли задней боковой двери;
 - внутренний периметр боковой двери.
- 15) Закрыть левую заднюю дверь, зафиксировать оснасткой.
- 16) Закрыть левую переднюю дверь, зафиксировать оснасткой.
- 17) Нанести слой базисной эмали на:
 - внутренний периметр задней откидной двери;
 - торцы задних крыльев, водосточные желобки ЗОД и балку крыши заднюю;
 - панель задка со стороны ЗОД.
- 18) Расфиксировать ЗОД и, держа за ручку, аккуратно опустить ее на упор ЗОД для максимального открывания в камере окраски» [3].

Примечание: поверхности, обработанные защитной грунтовкой перед окраской припылить эмалью.

Операция 020 выполняется в автоматическом режиме:

- 1) Нанести первый слой эмали базисной четырьмя роботами электростатическим методом на наружную поверхность кузова.
- 2) Нанести второй слой эмали базисной «мокрый по мокрому» тремя роботами методом пневмораспыления на наружную поверхность кузова.

Операция 025 выполняется в случае сбоя в работе оборудования.

Рассмотрим подробнее:

- 1) Произвести визуальный осмотр лицевых поверхностей кузова: капот, крышу, правое/левое переднее крыло кузова, правое/левое заднее крыло кузова, правую/левую переднюю боковую дверь, правую/левую заднюю боковую дверь, пороги пола, ЗОД, заднюю панель.
- 2) Нанести слой эмали базисной на не прокрашенные наружные поверхности кузова вручную.

Операция 030 выполняется автоматически: растекание (выдержка) базисной эмали перед нанесением лака в течении 3-4 минут.

Операция 035 выполняется на двух постах.

«Пост №1:

- 1) Открыть капот за ручку упора капота от прилипания, зафиксировать оснасткой.
- 2) Нанести слой акрилового лака на:
 - правую и левую опоры передних подвесок;
 - верхнюю поперечину рамки радиатора;
 - торцы правого и левого переднего крыла;
 - правый и левый водосточный желоб капота.
- 3) Расфиксировать капот и, держа за ручку, аккуратно опустить его на упор капота от прилипания.
- 4) Расфиксировать и открыть правую переднюю боковую дверь.
- 5) Нанести слой акрилового лака на:
 - проем передней боковой двери;
 - петли передней боковой двери;
 - петли задней двери со стороны передней;
 - внутренний периметр передней боковой двери.
- 6) Расфиксировать и открыть правую заднюю боковую дверь.
- 7) Нанести слой акрилового лака на:

- правую центральную стойку кузова;
 - проем задней боковой двери;
 - петли задней боковой двери;
 - внутренний периметр задней боковой двери.
- 8) Закрыть правую заднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой.
- 9) Закрыть правую переднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой.

Пост №2:

- 1) Расфиксировать и открыть левую переднюю боковую дверь.
- 2) Нанести слой акрилового лака на:
- проем передней боковой двери;
 - петли передней боковой двери;
 - петли задней двери со стороны передней;
 - внутренний периметр передней боковой двери.
- 3) Расфиксировать и открыть левую заднюю боковую дверь.
- 4) Нанести слой акрилового лака на:
- левую центральную стойку кузова;
 - проем задней боковой двери;
 - петли задней боковой двери;
 - внутренний периметр задней боковой двери.
- 5) Закрыть левую заднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой.
- 6) Закрыть левую переднюю боковую дверь, зафиксировать оснасткой» [3].
- 7) Нанести вручную слой эмали темных цветов, относящихся к группе «черных» на наружную поверхность панели рамки радиатора.

Примечания: переход №7 выполнять только на кузовах, окрашиваемых в светлые цвета, не относящихся к эмалям «темных» оттенков.

Операция 040 выполняется в автоматическом режиме. Здесь необходимо нанести лак акриловый шестью роботами электростатическим методом на наружную поверхность кузова.

Операция 045 выполняется в случае сбоя в работе оборудования.

- 1) Произвести визуальный осмотр лицевых поверхностей кузова: капот, крышу, правую/левую переднюю/заднюю стойки, правую/левую переднюю боковую дверь, правую/левую заднюю боковую дверь, пороги пола, ЗОД, заднюю панель.
- 2) Нанеси слой лака акрилового на не прокрашенные наружные поверхности кузова вручную.

На операции 050 происходит автоматическое растекание слоя лака, операции 055 производится в автоматическом режиме (автоматическая сушка лакокрасочного покрытия).

1.3 Задачи ВКР

Из анализа исходных данных можно сформировать задачи выпускной квалификационной работы, решение которых поможет достичь поставленных целей.

1. Создать универсальный электронный калькулятор для расчета потребности ЛКМ в программе Python.
2. Дать техническое решение.
3. Дать оценку безопасности и экологичности технического объекта.
4. Дать оценку экономической эффективности работы.

2 Технологическая часть

В данном разделе будет проанализирован кузов автомобиля Granta.

2.1 Проектирование типового ТП

Нанесение ЛКП включает в себя нанесение вторичного грунта, базисной эмали и лака, а также операции сушки, растекания и подготовку кузова.

Проектирование операций, где наносятся лакокрасочные материалы, являются приоритетными, поэтому рассмотрим только эти операции и для наглядности занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Технологический маршрут

№ операции	Наименование операции	Оборудование
165	нанесение вторичного грунта вручную	пневмопистолет devilbiss, пистолет для нанесения защитной грунтовки
170	нанесение вторичного грунта роботами	роботы пяти-осевые, автоматический электростатичный распылитель
175	нанесение вторичного грунта вручную окончательное	пневмораспылитель devilbiss
015	нанесение базисной эмали вручную	пневмопистолет devilbiss, пневмопистолет
020	нанесение базисной эмали роботами	роботы окрасочные электростатические, роботы окрасочные пневматические
025	нанесение базисной эмали вручную окончательное	пневмопистолет devilbiss
035	нанесение лака вручную	пневмопистолет devilbiss, пневмопистолет
040	нанесение прозрачного лака роботами	роботы окрасочные электростатические
045	нанесение прозрачного лака вручную окончательное	пневмопистолет devilbiss

Далее, на основе таблицы 2, с использованием рекомендаций формируем план окраски кузовных панелей в виде графического документа.

Кроме маршрута технологического маршрута на плане покраски необходимо указать операционные размеры, технические требования и схемы базирования. Для назначения операционных технических требований используется методика и данные [12].

2.2 Определение припусков

За припуски примем толщину нанесения покрытия на кузов. Требуемая толщина окраски кузова представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Толщина окраски кузова

ЛКМ	Толщина, мкм
Базисная эмаль	12-16
Вторичный грунт	35-55
Прозрачный лак	25-40

Толщина окраски кузова – это совокупная толщина всех слоев ЛКП, нанесенных на поверхность кузова.

2.3 Разработка схем базирования

Схема базирования разрабатываются с учетом основных положений теории базирования и с использованием типовых схем базирования [2]. Точки базирования показаны на рисунке 8.

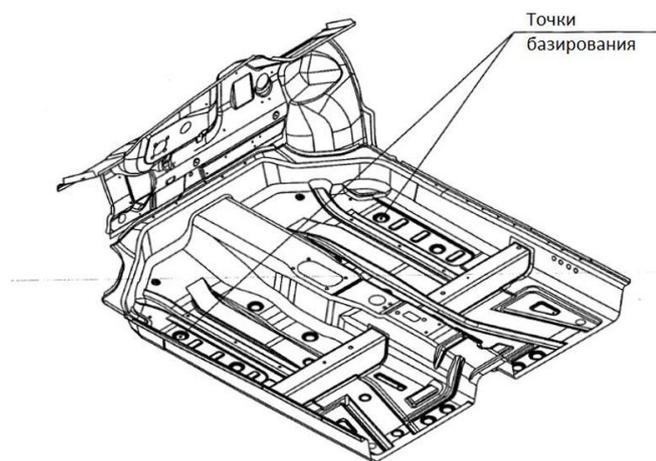


Рисунок 8 – Схема базирования

При окраске автомобиля базирующие точки играют важную роль в правильной фиксации кузова для равномерного нанесения ЛКП.

2.4 Нормирование лакокрасочных материалов

Нормирование лакокрасочных материалов – это процесс, который включает в себя определение и установление норм расхода, качества и других характеристик ЛКМ, необходимых для достижения оптимальных результатов в процессе их применения.

Нормирование ЛКМ позволяет обеспечить эффективное использование материалов, что снижает затраты на производство и применение, гарантирует качество покрытий, обеспечивая соответствие требованиям стандартов, упорядочивает процессы закупки и хранения материалов.

«Нормирование материалов проводят с целью установления их планового количества, необходимого для изготовления изделий и обеспечения наиболее рационального и эффективного использования сырья и материалов в производстве» [13]. Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные для расчета

Наименование показателя	усл.обозн	ед. измер.	Значение показателя		
			Базисная эмаль	Прозрачный лак	Вторичный грунт
Процент перекраса изделий	%	%	3,7	3,7	3,7
Плотность сухой пленки	D	г/см ³	1,1424	1,0983	1,62
Толщина покрытия (в расчете электростатики и пневматики будет половина толщины нанесения)	П	мкм	13	37,5	30
Содержание нелетучих веществ в ЛКМ	P	%	31,5	55	63
Наружная площадь окрашиваемой поверхности	S _н	м ²	9,47	9,34	9,34
Внутренняя площадь окрашиваемой поверхности	S _в	м ²	5,76	3,91	–
Коэффициент потерь (электростатика)	K(Э) _п	–	0,58	0,58	0,58
Коэффициент полезного использования ЛКМ (электростатика)	K(Э) _и	–	0,42	0,42	0,42
Коэффициент потерь (пневматика)	K(П) _п	–	0,48	–	–
Коэффициент полезного использования ЛКМ (пневматика)	K(П) _и	–	0,52	–	–
Коэффициент потерь (ручное нанесение)	K(P) _п	–	0,72	0,72	–
Коэффициент полезного использования ЛКМ (ручное нанесение)	K(P) _и	–	0,28	0,28	–
Количество материала, необходимое для проведения «симуляции»	П _{с1}	кг.	1,98	1,98	1,337
Количество проведенных «симуляций» за период 2024г.	N _с	шт.	248	248	248
Масса при промывке рабочей системы	П _{р1}	кг.	0,0326	0,0685	0,046
Количество промывок за отчетный год на 6 роботах	N _р	шт.	362 080	543 120	543 120
Количество материала при промывке чаш	П _{ч1}	кг.	0,005	0,015	0,046
Количество промывок чаш за отчетный год	N _ч	шт.	871 224	1 306 836	1 306 836

Продолжение таблицы 4

Количество материала при короткой промывке пистолета (длинная промывка)	П _{п1}	кг.	0,005 (0,112)	0,179	–
Количество коротких промывок пистолета за отчётный год (длинная промывка)	N _п	шт.	319 920 (396 800)	992	–
Масса материала в исходной вязкости, оставшаяся в таре	П _{т1}	кг.	0,100	0,280	0,350
Количество освобожденной тары за период 2024 г.	N _т	шт.	2902	18 865	18 865
Фактический выпуск продукции за период 2024 г.	Q	шт.	217 806		

Норма расхода должна быть прогрессивной и отражать конструкторские, технологические и организационные мероприятия по экономии материалов, способствующие максимальному использованию внутренних резервов производства.

Норму расхода материала Н, кг, вычисляют по формуле 1:

$$N_{\text{эмали}} = (N_1 + N_2 + N_3) \cdot \left(1 + \frac{\%п}{100}\right) \quad (1)$$

где N₁ - норма расхода на продукт, кг;

N₂ - норма расхода на процесс, кг;

N₃ – организационно-технические потери, кг;

% п – процент перекара изделий, %.

Растворитель для баз/ эмалей: степень разбавления эмали до рабочей вязкости – 50%.

Общая норма расхода эмали будет равна:

$$N_{\text{эмали}} = (0,718 + 1,2127 + 0,289) \cdot \left(1 + \frac{3,7}{100}\right) = 2,333 \text{ кг.}$$

Норму расхода ЛКМ в исходной вязкости на продукт N₁, кг, с учетом цвета вычисляют по формуле 2:

$$H_1 = H_y \cdot S = \frac{100 \cdot D \cdot \pi}{1000 \cdot P} \cdot S \quad (2)$$

где H_y – удельная норма расхода ЛКМ, кг/м²;

D – плотность сухой пленки, г/см³;

π – толщина покрытия, мкм;

P – содержание нелетучих веществ в ЛКМ, %;

S – площадь окрашиваемой поверхности, м².

Подставим все данные в формулу 2, получим:

$$H_{1\text{электростатики}} = H_y \cdot S = \frac{100 \cdot 1,1424 \cdot 6,5}{1000 \cdot 31,5} \cdot 9,47 = 0,2232 \text{ кг.}$$

$$H_{1\text{пневматики}} = H_y \cdot S = \frac{100 \cdot 1,1424 \cdot 6,5}{1000 \cdot 31,5} \cdot 9,47 = 0,2232 \text{ кг.}$$

$$H_{1\text{ручное нанесение}} = H_y \cdot S = \frac{100 \cdot 1,1424 \cdot 13}{1000 \cdot 31,5} \cdot 5,76 = 0,2716$$

$$H_1 = H_{1\text{электростатики}} + H_{1\text{пневматики}} + H_{1\text{ручное нанесение}} = 0,2232 + 0,2232 + 0,2716 = 0,718 \text{ кг.}$$

Норму расхода на процесс H_2 , кг, вычисляют по формуле 3:

$$H_2 = \frac{K_{\pi} \cdot H_1}{1 - K_{\pi}} \quad (3)$$

где H_1 – норма расхода на продукт, кг;

K_{π} – коэффициент потерь;

$K_{\pi} = 1 - K_{\pi}$ – коэффициент полезного использования ЛКМ.

$$H_{2\text{электростатики}} = \frac{0,58 \cdot 0,2232}{0,42} = 0,3082 \text{ кг.}$$

$$H_{2\text{пневматики}} = \frac{0,48 \cdot 0,2232}{0,52} = 0,2061 \text{ кг.}$$

$$H_{2\text{ручное нанесение}} = \frac{0,72 \cdot 0,2716}{0,28} = 0,6984 \text{ кг.}$$

$$H_2 = H_{2\text{электростатики}} + H_{2\text{пневматики}} + H_{2\text{ручное нанесение}} = 0,3082 + 0,2061 + 0,6984 = 1,2127 \text{ кг.}$$

Нормы расхода на продукт и на процесс являются расчетными и не зависят от изменяемых условий производства (программы выпуска, маркетинговых заказов, числа переходов при изготовлении изделий по цветам и др.).

Организационно-технические потери включают:

- потери при проверке работоспособности оборудования перед началом работ «симуляция» и наладке оборудования (промывка рабочей системы, чашек и пистолетов);
- потери, образующиеся при освобождении тары.

В норму расхода ЛКМ не включаются потери, учитываемые как отклонения в оперативном учете:

- потери при промывках систем согласно технологическим инструкциям производств, регламентирующих процесс окраски;
- потери при промывках систем при смене цвета эмали;
- потери при перекрасе свыше предела, установленного технологическим процессом.

Организационно-технические потери, H_3 , кг, для каждой линии можно вычислить по формуле 4:

$$H_3 = \frac{П_c + П_о + П_т}{Q} \quad (4)$$

где Q – фактический выпуск продукции за отчетный год по каждой линии, шт.

$$H_3 = \frac{491,04 + 62\,201,13 + 290,2}{217\,806} = 0,289 \text{ кг.}$$

Потери при проведении «симуляции» $П_c$, кг – потери ЛКМ при проверке работоспособности оборудования перед началом работ (перед началом смены, после обеденного перерыва, после ремонтных работ), вычисляются по формуле 5:

$$P_c = P_{c1} \cdot N_c \quad (5)$$

где P_{c1} – количество ЛКМ, необходимое для проведения «симуляции», кг;

N_c – количество проведенных «симуляций» за отчетный год согласно технической документации, шт.

$$P_c = 1,980 \cdot 248 = 491,04 \text{ кг.}$$

P_{c1} определяется экспериментальным путем (взвешиванием), либо снятием показаний роботизированной системы с приведением к исходной вязкости. Замеры проводить один раз в год и в случае переналадки оборудования.

Потери ЛКМ при промывке оборудования P_o , кг, рабочей системы, чашки и пистолетов вычисляют по формуле 6:

$$P_o = P_p + P_{\text{ч}} + P_{\text{п}} \quad (6)$$

где P_p – потери ЛКМ при промывке рабочей системы, кг;

$P_{\text{ч}}$ – потери ЛКМ при промывке чашки, кг;

$P_{\text{п}}$ – потери ЛКМ при промывке пистолетов, кг.

$$P_o = 11\,803,81 + 4356,12 + 46041,2 = 62\,201,13 \text{ кг.}$$

Потери ЛКМ при промывке рабочей системы P_p , кг, находят по формуле 7:

$$P_p = P_{p1} \cdot N_p \quad (7)$$

где P_{p1} – масса ЛКМ при коротких или длинных промывках рабочей системы, кг;

N_p – количество проведенных промывок за отчетный год, шт.

$$P_p = 0,0326 \cdot 362\,080 = 11\,803,81 \text{ кг.}$$

Потери ЛКМ при промывке чашки $P_{ч}$, кг, можно найти по формуле 8:

$$P_{ч} = P_{ч1} \cdot N_{ч} \quad (8)$$

где $P_{ч1}$ – количество ЛКМ при промывке чашки, кг;

$N_{ч}$ – количество проведенных промывок чашек за отчетный год, шт.

$$P_{ч} = 0,005 \cdot 871\,224 = 4356,12 \text{ кг.}$$

Потери ЛКМ при промывке пистолетов $P_{п}$, кг, можно вычислить по формуле 9:

$$P_{п} = P_{п1} \cdot N_{п} \quad (9)$$

где $P_{п1}$ – количество ЛКМ при промывке 1 пистолета, кг;

$N_{п}$ – количество проведенных промывок пистолетов за отчетный год, шт.

$$P_{п \text{ длинной промывки}} = 0,112 \cdot 396\,800 = 44\,441,6 \text{ кг.}$$

$$P_{п \text{ короткой промывки}} = 0,005 \cdot 319\,920 = 1599,6 \text{ кг.}$$

$$P_{п} = 44\,441,6 + 1599,6 = 46\,041,2 \text{ кг.}$$

$P_{р1}$, $P_{ч1}$, $P_{п1}$ определяют экспериментальным путем (взвешиванием), либо снятием показаний роботизированной системы с приведением к исходной вязкости. Замеры проводить один раз год и в случае переналадки оборудования.

$N_{р}$, $N_{ч}$, $N_{п}$ определяют согласно технической документации за отчетный год.

Потери, образующиеся при освобождении тары $P_{т}$, кг, вычисляют по формуле 10:

$$P_{т} = P_{т1} \cdot N_{т} \quad (10)$$

где $\Pi_{т1}$ – масса ЛКМ в исходной вязкости, оставшееся в таре в процессе освобождения, кг;

N_t – количество освобожденной тары за отчетный год согласно технической документации, шт.

$$\Pi_t = 0,1 \cdot 2902 = 290,2 \text{ кг.}$$

Теперь сделаем расчет лака на автомобиль 2194 в цехе 62320 по формулам, перечисленным выше.

$$N_{\text{лака}} = (0,992 + 1,7187 + 0,287) \cdot \left(1 + \frac{3,7}{100}\right) = 3,109 \text{ кг.}$$

$$N_{1\text{электростатики}} = N_y \cdot S = \frac{100 \cdot 1,0983 \cdot 37,5}{1000 \cdot 55} \cdot 9,34 = 0,6994 \text{ кг.}$$

$$N_{1\text{ручное нанесение}} = N_y \cdot S = \frac{100 \cdot 1,0983 \cdot 37,5}{1000 \cdot 55} \cdot 3,91 = 0,2928$$

$$N_1 = N_{1\text{электростатики}} + N_{1\text{ручное нанесение}} = 0,6994 + 0,2928 = 0,992 \text{ кг.}$$

$$N_{2\text{электростатики}} = \frac{0,58 \cdot 0,6694}{0,42} = 0,9658 \text{ кг.}$$

$$N_{2\text{ручное нанесение}} = \frac{0,72 \cdot 0,2928}{0,28} = 0,7529 \text{ кг.}$$

$$N_2 = N_{2\text{электростатики}} + N_{2\text{ручное нанесение}} = 0,9658 + 0,752 = 1,7187 \text{ кг.}$$

$$N_3 = \frac{278,504 + 56 \cdot 983,828 + 5282,2}{217 \cdot 806} = 0,287 \text{ кг.}$$

$$\Pi_c = 1,123 \cdot 248 = 278,504 \text{ кг.}$$

$$\Pi_o = 37 \cdot 203,72 + 19 \cdot 602,54 + 177,568 = 56 \cdot 983,828 \text{ кг.}$$

$$\Pi_p = 0,0685 \cdot 543 \cdot 120 = 37 \cdot 203,72 \text{ кг.}$$

$$\Pi_q = 0,015 \cdot 1 \cdot 306 \cdot 836 = 19 \cdot 602,54 \text{ кг.}$$

$$\Pi_n = 0,179 \cdot 992 = 177,568 \text{ кг.}$$

$$\Pi_t = 0,280 \cdot 18 \cdot 865 = 5282,2 \text{ кг.}$$

Рассчитаем также и расход вторичного грунта на автомобиль Granta в цехе 6232 по формулам, перечисленным выше.

$$N_{\text{грунта}} = (0,7205 + 0,995 + 0,423) \cdot \left(1 + \frac{3,7}{100}\right) = 2,139 \text{ кг.}$$

$$N_{1\text{электростатики}} = N_y \cdot S = \frac{100 \cdot 1,62 \cdot 30}{1000 \cdot 63} \cdot 9,34 = 0,7205 \text{ кг.}$$

$$H_1 = H_{1\text{электростатики}} = 0,7205 \text{ кг.}$$

$$H_{2\text{электростатики}} = \frac{0,58 \cdot 0,7205}{0,42} = 0,995 \text{ кг.}$$

$$H_2 = H_{2\text{электростатики}} = 0,995 \text{ кг.}$$

$$H_3 = \frac{331,576 + 85\,097,976 + 6602,75}{217\,806} = 0,423 \text{ кг.}$$

$$P_c = 1,337 \cdot 248 = 331,576 \text{ кг.}$$

$$P_o = 24\,983,52 + 60\,114,456 = 85\,097,976 \text{ кг.}$$

$$P_p = 0,046 \cdot 543\,120 = 24\,983,52 \text{ кг.}$$

$$P_q = 0,046 \cdot 1\,306\,836 = 60\,114,456 \text{ кг.}$$

$$P_r = 0,350 \cdot 18\,865 = 6602,75 \text{ кг.}$$

На основе данного расчета далее будет создан калькулятор для расчета расхода ЛКМ и его стоимости.

Вывод: в данном разделе рассмотрены этапы, оборудование и методы окраски автомобиля, а также рассчитано необходимое количество материала на кузов.

3 Проектирование технологического оснащения

В данном разделе будет определен перечень оборудования, приспособлений и средств контроля для операций по нанесению лакокрасочных материалов на кузов. Также будет рассмотрено приспособление для окраски кузова и предложена модернизация для улучшения процесса нанесения ЛКМ на кузов автомобиля.

3.1 Анализ оборудования и приспособлений ТП

«Автомобиль проходит весь технологический процесс окраски, где используется несколько роботизированных манипуляторов, которые одновременно наносят краску на кузова автомобилей, движущихся по конвейерной ленте вместе с подвесными толкающими конвейерами» [20]. «Движение кузова по напольному конвейеру осуществляется на скиде определенного типа в зависимости от того, на каком этапе окраски находится кузов.

После всех операций по подготовке кузова к окраске кузов протирают и наносят вторичный грунт как вручную, так и роботами. После этого сушат и дорабатывают дефекты нанесения. Основным оборудованием являются напольные конвейера, роботы пяти осевые, автоматические электростатические распылители фирмы «Айзенманн».

На следующем этапе наносят базисную эмаль вручную и роботами. Применяемое оборудование: пульверизаторы, насадки, форсунки фирмы «DeVILBISS», роботы окрасочные электростатические и пневматические, автоматические электростатические распылители фирмы «Айзенманн». Затем на протяжении нескольких минут происходит растекание эмали на поверхности кузова.

Завершающим этапом окраски кузова является нанесение прозрачного лака. Лак также наносится вручную и роботами. Оборудование: роботы

окрасочные электростатические, pistols, форсунки» [3]. Затем происходит автоматическое растекание лака и его сушка.

«Роботы для нанесения краски методом распыления в настоящее время занимают важное место в современной промышленной автоматической системе нанесения краски. Благодаря высокой эффективности, качеству и множеству других преимуществ роботы для нанесения краски методом распыления повсеместно используются в различных областях лакокрасочной промышленности» [16].

Все данные по оборудованию занесены в таблицу 5.

Таблица 5 – Анализ технологического оснащения

№ операции	Оборудование	Приспособление	Средства контроля
этап «подготовка»			
170	напольный конвейер, роботы пятиосевые, автоматический электростатичный распылитель фирмы «айзенманн»	-	толщиномер «firemate-et 11p», контролер скко
этап «окраска»			
020	напольный конвейер, роботы окрасочные электростатические, пневматические, автоматический распылитель для роботов фирмы «айзенманн»	-	толщиномер «firemate-et 11p», контролер скко
040	напольный конвейер, роботы окрасочные электростатические	-	толщиномер «firemate-et 11p», контролер скко

Таким образом, было определено технологическое оснащение для операций, связанных с автоматическим нанесением лакокрасочных материалов роботами.

3.2 Анализ оборудования

На данный момент на АО «Автоваз» при окраске кузовов используют краскораспылители DeVILBISS GTi Pro Lite подачи материала под давлением, который представлен на рисунке 1. Рассмотрим описание работы данного краскораспылителя.

«Роботизированная аэрозольная покраска, при которой поверхность объекта покрывается лаком/краской/чернилами, осуществляется с помощью краскопультов, приводимых в действие сжатым воздухом. Эти краскопульта распыляют частицы жидкости и направляют их на промышленные поверхности» [17]. Краскораспылитель действует по принципу, заключающемуся в подаче распыляемых субстанций под давлением через краскопровод. Попадая в него, эмаль или иной распыляемый материал дробятся на мельчайшие капли мощной струей воздуха. Образовавшаяся мелкодисперсная смесь подхватывается ею же и выносится факелом наружу. Здесь она конусом распыляется и ровным слоем покрывает обрабатываемую поверхность.

Конструкция изделия разрабатывалась с использованием технологии увеличенного объема воздуха при пониженном давлении эмали, соответствующей требованиям Управления по охране окружающей среды. Эта технология позволяет уменьшить излишнее распыление (overspray), а также обеспечивает эффективность переноса материала более 65%.

Перечень деталей приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень деталей краскораспылителя

№ позиции	Наименование
1	стопорное кольцо крышки воздушной системы
2	токосъемное контактное кольцо
3	крышка воздушной системы
4	пружинная защелка крышки воздушной системы
5	уплотнение стопорного кольца
6	крышка воздушной системы и кольцо
7	стопорное кольцо крышки воздушной системы и уплотнения
8	набор жидкостного сопла
9	краскораспылительная головка
10	уплотнение распылительной головки
11	комплект распылительной головки
12	стопорное кольцо
13	корпус клапана
14	уплотнительное кольцо
15	штифт распылительного клапана
16	ручка регулировки распылительного клапана
17	узел распылительного клапана
18	переднее уплотнение клапана
19	седло клапана
20	шпindelь
21	пружина воздушного клапана
22	заднее уплотнение клапана
23	комплект воздушного клапана
24	жидкостная игла
25	пружина иглы
26	подушка пружины
27	корпус
28	ручка регулировки подачи жидкости
29	комплект пружины иглы
30	корпус краскораспылителя
31	воздухоприемник
32	комплект колец для цветовой идентификации (4 цвета)
33	комплект воздухоприемника
34	уплотнение иглы
35	пружина уплотнения
36	уплотнительная гайка
37	комплект уплотнения, пружины и уплотнительной гайки
38	винт пускового устройства
39	пусковое устройство
40	шпилька пускового устройства

Продолжение таблицы 6

41	комплект пускового устройства, шпильки и винта
42	клапан подачи воздуха
43	стопорное кольцо – комплект из 5 шт.
44	головка клапана
45	шайба
46	корпус клапана
47	ручка регулировки клапана
48	уплотнение
49	контргайка
50	впускное отверстие жидкости
51	комплект приемника жидкости
52	комплект всасывающей чаши
53	прокладка крышки чаши – комплект из 3 шт.
54	мембрана для контроля подтекания (комплект из 5)
55	фильтр – комплект из 10 шт.
56	крышка в сборе
57	чаша
58	инструмент для обслуживания
59	комплект инструментов

Корпус краскораспылителя является универсальным для распыления ЛКМ как под давлением, так и с использованием чаши, он изображен на рисунке 9.

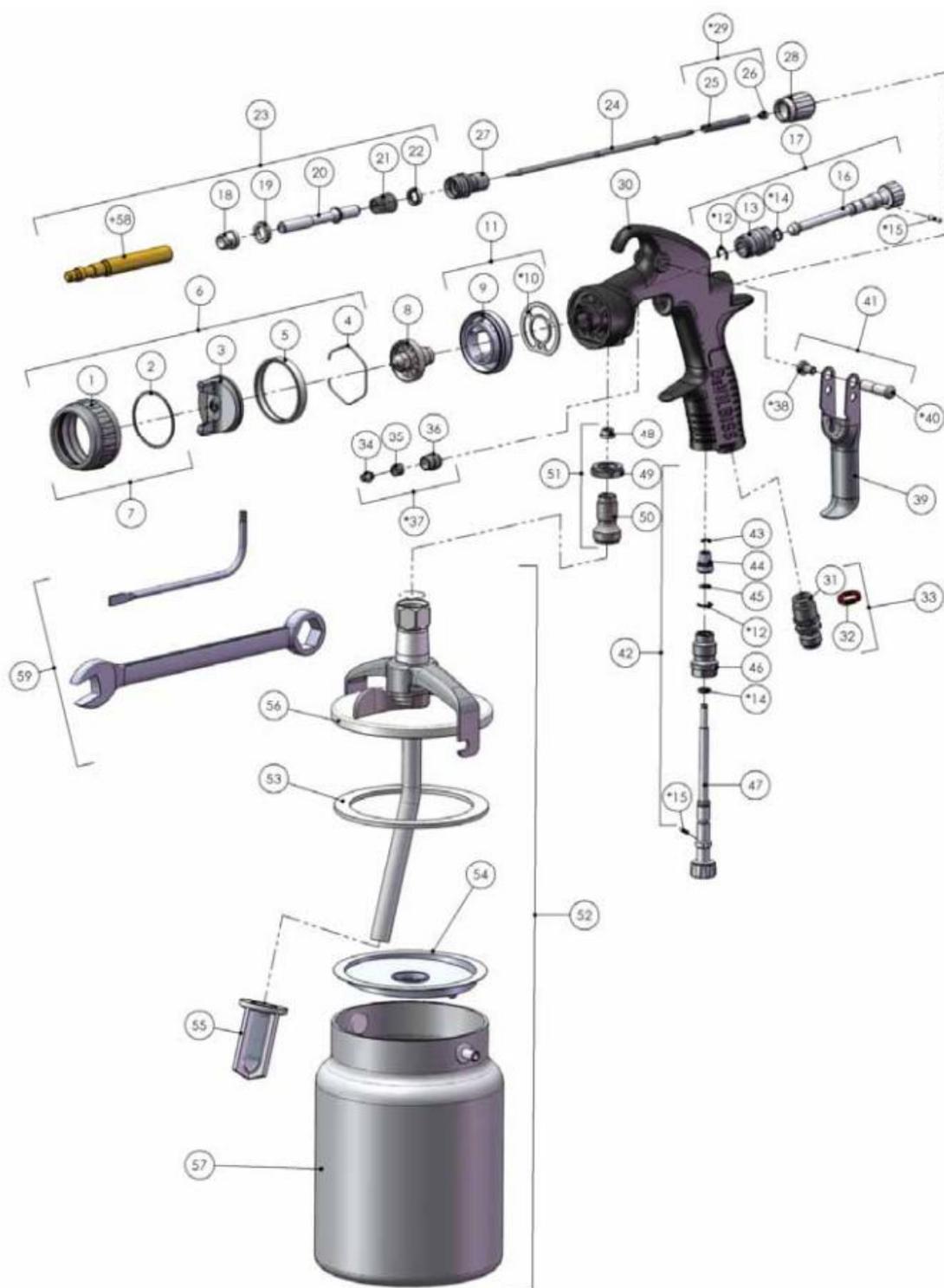


Рисунок 9 - Краскораспылитель DeVILBISS GTi Pro Lite

Установка краскораспылителя:

«Для обеспечения максимальной эффективности переноса запрещается использовать давление выше того, которое необходимо для распыления наносимого материала.

- 1) Подсоединить краскораспылитель к источнику чистого воздуха, не содержащего влаги и масла, с помощью проводящего шланга, имеющего внутренний диаметр не менее 8 мм.
- 2) Подсоединить шланг подачи ЛКМ к штуцеру приемника жидкости (позиция 50).
- 3) Повернуть ручку регулировки подачи ЛКМ (позиция 28) по часовой стрелке с тем, чтобы предотвратить перемещение жидкостной иглы.
- 4) Повернуть ручку регулировки краскораспылительного клапана (позиция 16) против часовой стрелки для полного открытия клапана.
- 5) При необходимости отрегулировать давление воздуха на входе.
- 6) Повернуть ручку регулировки подачи ЛКМ против часовой стрелки до появления первого витка резьбы.
- 7) Проверить распыление. Если покрытие слишком сухое, уменьшить подачу воздуха понижением давления воздуха на входе.
- 8) Если покрытие слишком сырое, уменьшить подачу ЛКМ поворотом ручки регулировки подачи жидкости (позиция 28) по часовой стрелке. Если распыление слишком грубое, увеличить давление воздуха на входе. Если оно слишком тонкое, уменьшить давление на входе.
- 9) Размер пятна можно уменьшить поворотом ручки краскораспылительного клапана (позиция 16) по часовой стрелке.
- 10) Необходимо держать краскораспылитель под прямым углом к поверхности, на которое наносится покрытие распылением. Изгиб

краскораспылителя дугой или его наклон могут привести к образованию неровного покрытия.

- 11) Рекомендуемое расстояние распыления составляет 150-200 мм.
- 12) Производить распыление сначала на края. Перекрывать каждый ход не менее, чем на 75%. Перемещать краскораспылитель с постоянной скоростью.
- 13) Всегда отключать подачу воздуха и стравливать давление, когда краскораспылитель не используется» [14].

«Для очистки крышки воздушной системы и жидкостного сопла нужно обработать их наружные поверхности жесткой щетинной щеткой. Если возникает необходимость очистить отверстия крышки, то рекомендуется воспользоваться щетинкой щетки или зубочисткой, если это возможно. Если используется проволока или твердое приспособление, необходимо тщательно следить за тем, чтобы не нанести на отверстия царапины или заусенцы, которые вызовут искажение пятна распыляемого материала.

Для очистки каналов для прохода жидкости необходимо удалить лишний материал из чаши и затем промыть ее раствором для промывки краскораспылителей. Наружные поверхности краскораспылителя протереть влажной салфеткой. Запрещается погружать краскораспылитель в какой-либо растворитель или очищающий раствор полностью, так как это отрицательно влияет на смазку и срок службы краскораспылителя» [15].

3.3 Методика настройки факела окрасочного пистолета

Методика настройки факела окрасочного пистолета заключается в следующих действиях:

- установить запорную иглу в положение полного открытия сопла для подачи материала;
- отрегулировать редуктором на посту давление воздуха в интервале 4,0 – 6,0 бар;

- отрегулировать давление материала регулировочным винтом на редукторе подачи ЛКМ, давление должно составлять $4,0 \pm 1,0$ бар;
- проверить степень открытия игольчатого вентиля – 30% (2 оборота);
- настроить гайкой регулировки ширины струи распыления материала необходимую форму факела, который может изменяться от круглого до эллиптического (отпечаток правильного факела показан на рисунке 10);

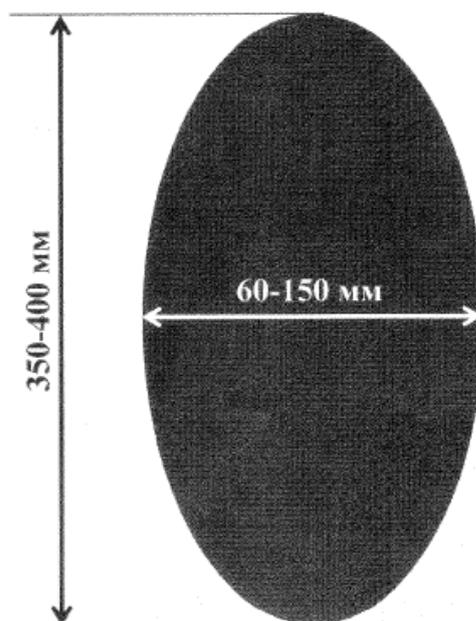
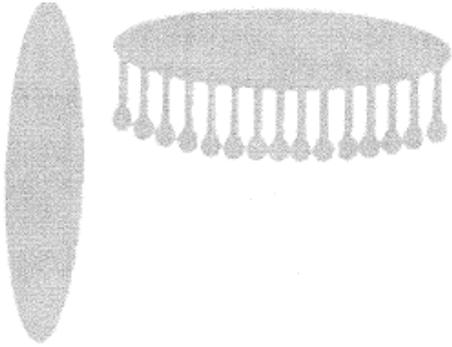
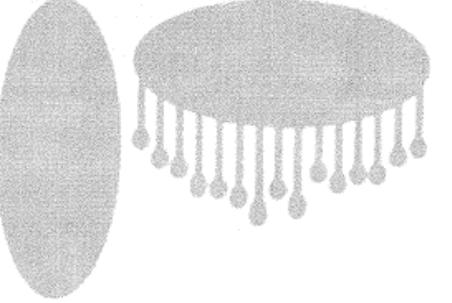


Рисунок 10 – Отпечаток правильного факела

- распыл должен быть туманообразным и непрерывным, без отдельных видимых капель и струй;
- расход материала для эмали 400-600 мл/мин;
- для настройки применять экран для настройки факелов;
- расстояние до окрашиваемой поверхности 200 ± 10 мм;
- сделав вертикальный тест, поверните воздушную головку на 90° и проведите горизонтальный тест, напыляя краску таким же

образом, как и при вертикальном тесте, но до появления подтеков, это позволит определить равномерность распределения краски по пятну факела; визуализация показана в таблице 7.

Таблица 7 – Равномерность распределения краски

Вид потеков пятна	Результат или причина
	<p>факел отрегулирован правильно</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. давление воздуха ниже нормы 2. подача краски выше нормы 3. вязкость краски выше нормы
	<ol style="list-style-type: none"> 1. давление воздуха выше нормы 2. подача краски ниже нормы

Таким образом, настройка факела окрасочного пистолета – это важный этап в процессе окраски, который влияет на качество покрытия и равномерность распределения краски.

3.4 Техническое решение

Сопло (дюза) в краскопульте – это важный компонент, который отвечает за распыление лакокрасочного материала. Оно представляет собой отверстие, через которое краска под давлением выходит из пульверизатора и превращается в мелкие капли, создавая равномерное покрытие на поверхности.

Размер сопла влияет на толщину слоя краски и скорость распыления. Чем больше диаметр, тем быстрее происходит нанесение, однако при этом увеличивается расход материала и снижается точность распыления.

На данный момент на АО «АВТОВАЗ» используют сопло с диаметром 1,4 мм при окраске узких деталей, в этом случае большинство микрокапель не долетают до окрашиваемой поверхности, образуя окрасочный туман, и оседают за пределами кузова, что приводит к значительному увеличению расхода ЛКМ.

На производстве при использовании краскопульты потери краски составляют не менее 35%. Чтобы уменьшить потери ЛКМ предлагается использовать в данном краскопульте сопло с диаметром 1,2 мм.

Была проведена опытная работа, в которой происходило наблюдение за рабочими постами с целью определения чистого времени распыления эмали (с растворителем) на кузов. Результаты занесем в таблицу 8:

Таблица 8 – Время распыления

№ поста	Время распыления эмали, мин
Пост №1	1,10
Пост №2	1,08
Пост №3	1,15
Пост №4	1,05
Пост №5	1,04

Воспользуемся этими данными для дальнейшего анализа.

Рассмотрим режимную карту процесса нанесения базы с растворителем. Она представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Режимная карта

Нанесение базы	Параметр	Единица измерения	Допустимые значения	Визуализация
Параметры камеры	температура в камере	°С	22	пк
	допустимое отклонение от заданной (гистерезис) °С	°С	±4 от заданного значения	пк
	влажность в камере	%	65	пк
	допустимое отклонение от заданного (гистерезис) %	%	±10 от заданного значения	пк
	скорость конвейера	м/мин	3,6 ± 0,05	пк
Параметры ЛКМ	расход на ручных постах	см ³	450-550	журнал
	давление воздуха на ручных постах	бар	2,0-6,0	манометр
	вязкость базы	сек	по рекомендации лаборатории окраски кузовов (ЛОК)	журнал в лок
	температура базы	°С	18-26	журнал в лок

Следуя методике настройки факела окрасочного пистолета, добиваемся отпечатка размером (300-350) × (55-120) мм, тогда значение расхода составит 400 мл/мин.

Посчитаем расход ЛКМ на постах: будем умножать время распыления эмали (раствор) на кузов на значение расхода. Тогда для используемой на заводе дюзы расход составит:

$$\text{Пост №1: } 1,10 \times 450 = 495 \text{ мл/кузов;}$$

$$\text{Пост №2: } 1,08 \times 450 = 486 \text{ мл/кузов;}$$

$$\text{Пост №3: } 1,15 \times 450 = 517,5 \text{ мл/кузов;}$$

$$\text{Пост №4: } 1,05 \times 450 = 472,5 \text{ мл/кузов;}$$

Пост №5: $1,04 \times 450 = 468$ мл/кузов.

По этой же методике рассчитаем расход базы (раствор) при замене дюзы:

Пост №1: $1,10 \times 400 = 440$ мл/кузов;

Пост №2: $1,08 \times 400 = 432$ мл/кузов;

Пост №3: $1,15 \times 400 = 460$ мл/кузов;

Пост №4: $1,05 \times 400 = 420$ мл/кузов;

Пост №5: $1,04 \times 400 = 416$ мл/кузов.

Для наглядности занесем эти данные в таблицу 10.

Таблица 10 – Расход ЛКМ

№ поста	Было, мл/кузов	Стало, мл/кузов
Пост №1	495	440
Пост №2	486	432
Пост №3	517,5	460
Пост №4	472,5	420
Пост №5	468	416
Итого:	2439	2168

Сопло диаметром 1,2 мм позволяет лучше контролировать распыление краски, что особенно важно для получения ровного и качественного покрытия на небольших и сложных участках. Замена дюзы обеспечивает возможность снижения расхода ЛКМ до 400 ± 50 мл/мин.

Для повышения эффективности процесса окраски кузовов, улучшения качества нанесения и снижения затрат на труд и материалы предлагается внедрить использование окрасочного пистолета, подключаемого к роботизированным системам через специальный переходник. Спецификация к окрасочному пистолету указана в приложении А.

Окрасочный пистолет, подключаемый к роботу через переходник, работает по следующему принципу: переходник обеспечивает надежное соединение между окрасочным пистолетом и манипулятором робота, включает в себя системы подачи воздуха и краски. В этом случае робот

управляет движением пистолета, что позволяет точно контролировать угол, скорость и расстояние распыления краски.

3.5 Расчет основных характеристик окрасочного пистолета

«Сущность способа пневматического распыления заключается в образовании аэрозоля путем дробления жидкого лакокрасочного материала струей сжатого газа (воздуха). Образующийся аэрозоль движется в направлении газовой струи и при ударе о деталь коагулирует; капли сливаются, образуя на поверхности слой жидкого лака или краски. Для распыления лакокрасочного материала применяют форсунки с кольцевым газовым каналом и наружным смешением жидкости и газа. При малой скорости газового потока жидкость не дробится. Существует предельная критическая скорость истечения газа $\omega_{кр}$, при которой происходит распыление и которую можно найти по формуле 11:

$$\omega_{кр} = \sqrt{K \cdot g \cdot R \cdot T} \quad (11)$$

где K – постоянная, равная 1,4;

g – ускорение силы тяжести;

R – газовая постоянная;

T – температура распыления.

$$\omega_{кр} = \sqrt{1,4 \cdot 9,81 \cdot 287 \cdot 18} = 266,36 \text{ м/с}$$

Найдем массовый расход воздуха по формуле 12:

$$Q_v = \frac{21,4 \cdot f \cdot p}{\sqrt{R \cdot T}} \quad (12)$$

где f – сечение форсунки;

p – давление воздуха.

$$Q_B = \frac{21,4 \cdot 0,001 \cdot 0,5}{\sqrt{287 \cdot 18}} = 0,000149 \text{ кг/с}$$

Так же найдем объемный расход воздуха по формуле 13:

$$V_B = 7 \cdot f \cdot \mu \cdot p \quad (13)$$

где μ – расходный коэффициент.

$$V_B = 7 \cdot 0,001 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 0,0028 \text{ м}^3/\text{с}$$

Производительность по расходу краски найдем по эмпирической формуле 14:

$$Q_{кр} = 70 \cdot d_c^{2,36} \quad (14)$$

где d – диаметр сопла.

$$Q_{кр} = 70 \cdot 1,2^{2,36} = 107,638 \text{ кг/с}$$

Производительность при распылении рассчитаем по следующей формуле 15:

$$Q_F = 60 \cdot K \cdot \omega \cdot S \quad (15)$$

где K – коэффициент перекрытия;

ω – скорость перемещения краскораспылителя относительно окрашиваемой поверхности;

S – ширина полосы.

$$Q_F = 60 \cdot 0,7 \cdot 0,1 \cdot 0,15 = 0,63 \text{ м}^2/\text{с}$$

При пневмораспылении температура лакокрасочных материалов при выходе из сопла форсунки резко понижается. Это связано с адиабатическим расширением воздуха и испарением растворителей, на что затрачивается теплота.

Температуру лакокрасочного материала при испарении в струе газа с критической скоростью найдем по формуле 16:

$$T = T_1 \cdot \frac{2}{K + 1} \quad (16)$$

где T_1 – начальная температура;

K – адиабатическая постоянная» [14].

$$T = 18 \cdot \frac{2}{1,4+1} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.6 Расчет стержня на сжатие и устойчивость

«Найдем критическую силу по формуле 17:

$$P = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{0.5 \cdot l^2} \quad (17)$$

где E – модуль Юнга для углеродистой стали: $E = 2,0 \times 10^5$ МПа.

d – диаметр стержня, м.;

l – длина стержня, м.

Момент инерции для круглого сечения находится по формуле 18:

$$I_{min} = I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64} \quad (18)$$

$$I_{min} = \frac{3,14 \cdot 4^4}{25} = 32,15 \text{ мм}^2$$

Критическая сила для центрально сжатого с обоими заделанными концами стержнем будет равна:

$$P = \frac{\pi^2 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 32,15}{0,5 \cdot 50^2} = 5,14 \text{ кН}$$

Проверка прочности происходит по формуле 19:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_{кр} \quad (19)$$

где F – площадь поперечного сечения стержня, находится по формуле 20:

$$F = \pi r^2 \quad (20)$$

$$F = 3.14 \cdot 4^2 = 50,24, \text{ м м}^2$$

Минимальный радиус инерции находится по формуле 21:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F}} \quad (21)$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{32,15}{50,24}} = 0,8 \text{ мм}$$

Предельная гибкость определяется по формуле 22:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{min}} \quad (22)$$

где μ – коэффициент Пуассона

$$\lambda = \frac{0,26 \cdot 50}{0,8} = 16,25$$

Критическое сжимающее напряжение для $\lambda < 100$ (формула 23):

$$\sigma_{кр} = a - b \cdot \lambda \quad (23)$$

где a и b – экспериментально определяемые коэффициенты, зависящие от свойств материала. Для стали $a=310$ МПа; $b=1,14$ МПа.

$$\sigma_{кр} = 310 - 1,14 \cdot 16,25 = 291,47 \text{ Мпа}$$

Условие устойчивости:

Для сжатых стержней кроме условия прочности должно быть удовлетворено так же условие устойчивости, как показано в формуле 24:

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma_y] \quad (24)$$

где σ_y – допускаемое напряжение при расчетах на устойчивость.

Допускаемое напряжение на устойчивость определяют по формуле 25:

$$[\sigma_y] = \frac{\sigma_{кр}}{n_y} \quad (25)$$

где n_y – коэффициент запаса устойчивости, учитывающий свойства материала, условия работы и погрешность в расчетах $n_y = 4$.

$$[\sigma_y] = \frac{291,47}{4} = 72,87 \text{ Мпа,}$$

$$\sigma \leq [\sigma_y] \leq \sigma_{кр},$$

$$0,7 \text{ Мпа} \leq 72,87 \text{ Мпа} \leq 291,47 \text{ Мпа}$$

Условие запаса прочности на сжатие и устойчивость выполняется» [14].

3.7 Расчет пружины

«Пружина сжатия, максимальное усилие одной пружины $F_{\max} = 50 \text{ Н}$. Назначаем углеродистую пружинную проволоку II класса (ГОСТ 9389–75) предполагаемый диаметр проволоки 1,1 – 3 мм, временное сопротивление $[\sigma] = 1650 - 2450 \text{ Мпа}$.

Допустимые напряжения кручения:

$$[\tau]=0,4 [\sigma_B]=0,4 \cdot 2000=800$$

Предельная нагрузка находится по формуле 26:

$$F_{\text{пред}} = 1,1 \cdot F_{\text{max}} \quad (26)$$

$$F_{\text{пред}} = 1,1 \cdot 50 = 55 \text{ Н}$$

Назначаем индекс пружины $c=4$. Поправочный коэффициент находим по формуле 27:

$$k = \frac{4c + 2}{4c - 3} \quad (27)$$

$$k = \frac{4 \cdot 10 + 2}{4 \cdot 10 - 3} = 1,45$$

Диаметр проволоки будет равен (формула 28):

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{F_{\text{пред}} \cdot c \cdot k}{[\tau]}} \quad (28)$$

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{55 \cdot 10 \cdot 1,45}{800}} = 1,59 \text{ мм}$$

По ГОСТ 9389–75 диаметр проволоки будет равен $d=1,6 \text{ мм}$ » [14].

3.8 Универсальный калькулятор

На языке программирования Python создадим код программы для нормирования ЛКМ.

```
def calculate_h1(density, thickness, non_volatiles, area, method, material_type):
```

```
if material_type == "грунт" and method != "электростатика":
```

```

return 0
if material_type == "лак" and method == "пневматика":
    return 0
    if method in ["электростатика", "пневматика"] and material_type ==
"эмаль":
    thickness /= 2
    return round((100 * density * thickness) / (1000 * non_volatiles) * area, 4)
def calculate_h2_method(loss_coeff, h1_method, usage_coeff):
    return round((loss_coeff * h1_method) / usage_coeff, 4) if h1_method > 0
else 0
def calculate_h3(Ps, Po, Pt, Q):
    return round((Ps + Po + Pt) / Q, 4)
def calculate_total(h1, h2, h3, repaint_percentage):
    total = (h1 + h2 + h3) * (1 + repaint_percentage / 100)
    return round(total, 4)
def main():
    print("Введите параметры для расчета:")
    # Выбор типа материала
    material_type = input("Введите тип материала (эмаль, лак, грунт):
").strip().lower()
    if material_type not in ["эмаль", "лак", "грунт"]:
        print("Ошибка: Неверный тип материала!")
    return
    # Ввод данных для расчета h1
    density = float(input("Введите плотность сухой плёнки (D, кг/м³): "))
    thickness = float(input("Введите толщину покрытия (мкм): "))
    non_volatiles = float(input("Введите содержание нелетучих веществ (P,
%): "))
    area = float(input("Введите наружную площадь окрашиваемой
поверхности (S, м²): "))

```

```

# Расчет h1 для каждого метода нанесения
h1_electrostatics = calculate_h1(density, thickness, non_volatiles, area,
"электростатика", material_type)
h1_pneumatics = calculate_h1(density, thickness, non_volatiles, area,
"пневматика", material_type)
h1_manual = calculate_h1(density, thickness, non_volatiles, area, "ручное
нанесение", material_type)

# Суммируем h1 в зависимости от типа материала
if material_type == "лак":
h1 = round(h1_electrostatics + h1_manual, 4)
elif material_type == "грунт":
h1 = h1_electrostatics
else: # Эмаль
h1 = round(h1_electrostatics + h1_pneumatics + h1_manual, 4)

# Ввод данных для расчета h2
loss_coeff_electrostatics = float(input("Коэффициент потерь для
электростатики: "))
usage_coeff_electrostatics = float(input("Коэффициент полезного
использования для электростатики: "))
h2_electrostatics = calculate_h2_method(loss_coeff_electrostatics,
h1_electrostatics, usage_coeff_electrostatics)
loss_coeff_pneumatics = float(input("Коэффициент потерь для
пневматики: ")) if h1_pneumatics > 0 else 0
usage_coeff_pneumatics = float(input("Коэффициент полезного
использования для пневматики: ")) if h1_pneumatics > 0 else 0
h2_pneumatics = calculate_h2_method(loss_coeff_pneumatics,
h1_pneumatics, usage_coeff_pneumatics) if h1_pneumatics > 0 else 0
loss_coeff_manual = float(input("Коэффициент потерь для ручного
нанесения: "))

```

```

usage_coeff_manual = float(input("Коэффициент полезного
использования для ручного нанесения: "))

h2_manual = calculate_h2_method(loss_coeff_manual, h1_manual,
usage_coeff_manual)

# Суммирование h2 для получения H2
h2 = round(h2_electrostatics + h2_pneumatics + h2_manual, 4)
# Упрощенный ввод данных для расчета h3
Ps = float(input("Введите потери при симуляциях (Пс, кг): "))
Po = float(input("Введите потери при очистке (По, кг): "))
Pt = float(input("Введите потери в таре (Пт, кг): "))
Q = int(input("Введите выпуск продукции за период (Q, кг): "))
# Итоговый расчет H3
h3 = calculate_h3(Ps, Po, Pt, Q)
# Ввод данных для итогового расчета
repaint_percentage = float(input("Процент на перекрас (%): "))
price_per_kg = float(input("Введите цену за 1 кг (в рублях): "))
# Итоговый расчет
total = calculate_total(h1, h2, h3, repaint_percentage)
total_cost = round(total * price_per_kg, 2)
# Вывод всех введенных данных
print("\nВведенные данные:")
print(f"Плотность сухой плёнки (D): {density} кг/м³")
print(f"Толщина покрытия (µм): {thickness} мкм")
print(f"Содержание нелетучих веществ (P): {non_volatiles}%")
print(f"Наружная площадь окрашиваемой поверхности (S): {area} м²")
print(f"Тип материала: {material_type}")
print(f"H1 для электростатики: {h1_electrostatics} кг")
print(f"H1 для пневматики: {h1_pneumatics} кг")
print(f"H1 для ручного нанесения: {h1_manual} кг")

```

```

print(f"Сумма Н1: {h1} кг")
print(f"Н2 для электростатики: {h2_electrostatics} кг")
print(f"Н2 для пневматики: {h2_pneumatics} кг")
print(f"Н2 для ручного нанесения: {h2_manual} кг")
print(f"Сумма Н2: {h2} кг")
print(f"Потери при симуляциях (Пс): {Ps} кг")
print(f"Потери при очистке (По): {Po} кг")
print(f"Потери в таре (Пт): {Pt} кг")
print(f"Выпуск продукции (Q): {Q} кг")
print(f"Процент на переокрас: {repaint_percentage}%")
print(f"Цена за 1 кг: {price_per_kg} руб\n")
# Вывод итоговых результатов
print("Результаты расчета:")
print(f"Н1 = {h1} кг")
print(f"Н2 = {h2} кг")
print(f"Н3 = {h3} кг")
print(f"Общая норма расхода (Н) = {total} кг")
print(f"Общая стоимость расхода = {total_cost} руб")
if __name__ == "__main__":
    main()

```

Данная программа запрашивает у пользователя все необходимые вводные данные, рассчитывает их и в результате выводит на экран, как показано на рисунке 11:

```
Запуск Открыть Консоль Сохранить Скачать код Поделиться Клавиатура Настройки HTML редактор Онлайн Python компилятор
Введите параметры для расчета:

Введенные данные:
Плотность сухой плёнки (D): 1.62 кг/м³
Толщина покрытия (µм): 30.0 мкм
Содержание нелетучих веществ (P): 63.0%
Наружная площадь окрашиваемой поверхности (S): 9.34 м²
Тип материала: грунт
N1 для электростатики: 0.7205 кг
N1 для пневматики: 0 кг
N1 для ручного нанесения: 0 кг
Сумма N1: 0.7205 кг
N2 для электростатики: 0.995 кг
N2 для пневматики: 0 кг
N2 для ручного нанесения: 0 кг
Сумма N2: 0.995 кг
Потери при симуляциях (Pc): 1.337 кг
Потери при очистке (Po): 66147.53999999999 кг
Потери в таре (Pt): 6602.75 кг
Выпуск продукции (Q): 149145 кг
Процент на переокрас: 3.7%
Цена за 1 кг: 780.74 руб

Результаты расчета:
N1 = 0.7205 кг
N2 = 0.995 кг
N3 = 0.4878 кг
Общая норма расхода (N) = 2.2848 кг
Общая стоимость расхода = 1783.83 руб
```

Рисунок 11 – Расчет ЛКМ в программе Python

Таким образом, можно с помощью этой программы выбрать необходимый расчет (базисная эмаль/вторичный грунт/прозрачный лак), узнать необходимое количество на кузов и узнать общую стоимость расхода.

Вывод: в разделе под номером три проведено проектирование и обоснование выбора технического оснащения, а также создана программа для расчета количества ЛКМ и его стоимости на кузов.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

Задача раздела – технологический процесс нанесения ЛКМ на кузов автомобиля с учетом требований стандартов по безопасности.

4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого технического объекта

Технологический паспорт объекта представлен в виде таблицы 11.

Таблица 11 – Паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы и вещества
Этап «подготовка»	нанесение вторичного грунта вручную	маляр	«конвейерный, ручной, для нанесения защитной грунтовки sata minijet hvlp с пластмассовым бочком, пневмопистолет, кисть для мойки пистолета, кондиционеры» [1].	«грунтовка светлая, растворитель для грунта ту 2319-004 05754467, грунтовка защитная ттм 2.94.1247, разбавитель для грунтовки защитной ттм 2.94.1247, растворитель для промывки» [1].

Продолжение таблицы 11

	нанесение вторичного грунта вручную окончательное	маляр	«конвейер напольный, пистолет для нанесения защитной грунтовки sata minijet hvlp с пластмассовым бочком, пневмопистолет, кисть для мойки пистолета, кондиционеры» [1].	«грунтовка светло-серая, растворитель для грунта ту 2319-004 05754467, грунтовка защитная ттм 2.94.1247, разбавитель для грунтовки защитной ттм 2.94.1247, растворитель для промывки» [1].
Этап «окраска»	нанесение базисной эмали вручную	маляр	«конвейер напольный, пневмопистолет, кисть для мойки пистолета» [1].	«эмаль базисная металлизированная ттм 1.94.139 и не металлизированная ттм 1.94.101, растворитель, растворитель для промывки» [1].
	нанесение базисной эмали вручную окончательное	маляр	«конвейер напольный, пневмопистолет, кисть для мойки пистолета» [1].	«эмаль базисная металлизированная ттм 1.94.139 и не металлизированная ттм 1.94.101, растворитель, растворитель для промывки» [1].
	нанесение прозрачного лака вручную	маляр	«конвейер напольный, пневмопистолет, кисть для мойки» [1].	«лак акриловый по ттм 1.94.0139, растворитель, растворитель для промывки» [1].
	нанесение прозрачного лака вручную окончательное	маляр	«конвейер напольный, пневмопистолет, кисть для мойки» [1].	«лак акриловый по ттм 1.94.0139, растворитель, растворитель для промывки» [1].

Паспорт объекта представляет собой систематизированное описание технологического процесса окраски с указанием ключевых параметров, оборудования, материалов и ответственных исполнителей.

4.2 Идентификация профессиональных рисков

«Фоновые производственные травмы, которые могут привести к прогулам, инвалидности или смерти, тесно связаны с плохими условиями труда. Однако улучшение условий труда часто отнимает много времени и требует значительных экономических затрат. Доказано, что как профессиональная психология, так и факторы риска предприятия связаны с возникновением производственного травматизма, но их роль в пути влияния неблагоприятных условий труда, приводящих к производственному травматизму, остается неясной» [19].

В таблице 12 рассматриваются риски.

Таблица 12 – Определение рисков

Технологическая операция	Опасный и вредный производственный фактор	Источник ОВПФ
Нанесение вторичного грунта вручную	«физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны химические овпф: токсические; раздражающие; через кожные покровы и слизистые оболочки психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки» [4].	«грунтовка светло серая, растворитель для грунта ту 2319-004-05754467, грунтовка защитная ттм 2.94.1247, разбавитель для грунтовок защитной ттм 2.94.1247, растворитель для промывки, линия напольного конвейера» [4].
Нанесение вторичного грунта вручную окончательное	«физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны химические овпф: токсические; раздражающие; через кожные покровы и слизистые оболочки психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки» [4].	«грунтовка светло серая, растворитель для грунта ту 2319-004-05754467, грунтовка защитная ттм 2.94.1247, разбавитель для грунтовок защитной ттм 2.94.1247, растворитель для промывки, линия напольного конвейера» [4].

Продолжение таблицы 12

Нанесение базисной эмали вручную	«физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны химические овпф: токсические; раздражающие; через кожные покровы и слизистые оболочки психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки» [4].	«эмаль базисная металлизированная ттм 1.94.139 и не металлизированная ттм 1.94.101, растворитель, растворитель для промывки, линия напольного конвейера» [4].
Нанесение базисной эмали вручную окончательное	«физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны химические овпф: токсические; раздражающие; через кожные покровы и слизистые оболочки психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки» [4].	«эмаль базисная металлизированная ттм 1.94.139 и не металлизированная ттм 1.94.101, растворитель, растворитель для промывки, линия напольного конвейера» [4].
Нанесение прозрачного лака вручную	«физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны химические овпф: токсические; раздражающие; через кожные покровы и слизистые оболочки психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки» [4].	«лак акриловый по ттм 1.94.0139, растворитель, растворитель для промывки, линия напольного конвейера» [4].
Нанесение прозрачного лака вручную окончательное	«физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны химические овпф: токсические; раздражающие; через кожные покровы и слизистые оболочки психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки» [4].	«лак акриловый по ттм 1.94.0139, растворитель, растворитель для промывки, линия напольного конвейера» [4].

«В подразделе приводится систематизация производственно-технологических и эксплуатационных рисков, к которым относят вредные и

опасные производственные факторы, источником которых являются оборудование и материалы, используемые при окраске кузова» [1].

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

«Задача этого раздела минимизировать возникновение профессиональных рисков [10]. «Методы и средства направлены для защиты, а также возможного снижения вредного и опасного фактора при технологическом процессе» [11]. Меры по снижению риска приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Мероприятия снижения уровня ОВПФ

Опасный и вредный производственный фактор	Организационные методы, технические средства	Средства индивидуальной защиты (СИЗ)
Физические овпф: повышенный уровень шума на рабочем месте	согласно допустимым нормам	беруши
Физические овпф: недостаточная освещенность рабочей зоны	использование ламп освещения согласно гост р 55710-2013	-
Химически овпф: токсические; раздражающие	герметичная тара, специальные камеры покраски, системы кондиционирования	комбинезоны, респираторы с фильтрующими элементами, прорезиненные перчатки, ботинки, защитные очки
Психофизиологические овпф: статические и динамические физические перегрузки	регламентные перерывы 10 минут каждые 2 часа	-

«Сохранение здоровья сотрудников и хорошие условия труда должны быть одними из самых контролируемых и регулируемых вопросов в любой компании. На заводах и производственных линиях, где воздействие опасных и токсичных соединений является повседневным явлением, должны действовать строгие законы и чёткие системы непрерывного мониторинга и контроля условий, в которых находятся сотрудники и рабочие» [18].

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В ниже приведенных таблицах 14-17 показаны источники пожарной опасности и средства которые смогут минимизировать риски, и различные организационные мероприятия.

Таблица 14 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Номер пожара	Опасные факторы при пожаре	Сопутствующие факторы при пожаре
Цех окраски	автоматические линии, установки и системы подачи ЛКМ	a, b, e	«пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах)» [1].	«образующиеся в процессе пожара части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, энергетического оборудования, технологических установок, производстве нного и инженерно технического оборудования; образующиеся токсичные вещества и материалы, из изделий горящего технического объекта; замыкание высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного

Продолжение таблицы 14

				имущества; термохимические воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей» [1].
--	--	--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Таблица 15 - Выбор средств пожаротушения

Средства пожаротушения				Оборудование
Первичные	Мобильные	Стационарные	Автоматики	
пожарный щит, порошковые огнетушители	пожарные автомобили	спринклерная система пожаротушения	технические средства по оповещению и управлению эвакуацией	«пожарные гидранты, пожарные шкафы рукава пожарные, огнетушители пожарные порошковые, вентили пожарные» [1].

Таблица 16 - Средств защиты и пожаротушения

СИЗ	Инструмент	Сигнализация
веревки пожарные карабины пожарные противогазы, респираторы	лопаты, багры, ломы и топоры щп-б	автоматические извещатели

Таблица 17 - Средства обеспечения пожарной безопасности

Процесс, оборудование	Организационно технические меры	Нормативные требования
цех окраски, напольные конвейера, камеры окраски	«проведение первичных, плановых, внеплановых инструктажей по технике безопасности при проведении покрасочных работ, проведение инструктажа не электротехнического персонала, обучение на противопожарный минимум, проведение периодических разъяснений с персоналом по культуре производства» [1].	«наличие пожарной сигнализации, наличие автоматической системы пожаротушения, первичные средства пожаротушения, проведение мероприятий направленных на информирование работников о пожарной безопасности» [1].

Пожарная безопасность – это важный аспект, который требует особого внимания. Задача этого раздела минимизировать возникновение пожаров на объектах для производств.

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Проведем анализ вредных экологических факторов, возникающих при реализации технологического процесса, а также разработаем организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Результаты представлены в таблицах 18,19.

Таблица 18 – Определение экологически опасных факторов объекта

Производственный техпроцесс	Структурные элементы техпроцесса	Опасные и вредные выбросы в воздух	Сточные воды	Воздействие объекта на литосферу
Технологический процесс нанесения лкм на кузов	эмаль базисная металлизированная ттм 1.94.139 и не металлизированная ттм 1.94.101 растворитель для промывки лак акриловый по ттм 1.94.0139	образование фотохимического смога разрушение озонового слоя	образуется большое количество ила и грязи, где содержится много вредных примесей, в том числе нефтепродуктов и тяжелых металлов	-

Таблица 19 - Разработанные мероприятия для снижения антропогенного негативного воздействия

Объект воздействия	Цех окраски кузовов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	– контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны; – специальная подготовка и инструктаж обслуживающего персонала; – организованный сбор и хранение перед утилизацией веществ, представляющих опасность для экологической
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	– обстановки; – запрет несанкционированной утилизации вредных веществ; – использование методов восстановления и регенерации отработанных масел с целью повторного их использования в технологическом процессе;
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	– организации утилизации отходов в соответствии с природой и классом опасности вещества.

«В этом разделе мы рассмотрели опасные и вредные факторы, которые могут возникнуть на производстве. Также мы оценили уровень пожарной безопасности на предприятии и влияние производственного процесса на окружающую среду. Выполнение данного раздела позволило выявить наиболее значимые опасные и вредные факторы.

На основе проведённого анализа мы сформировали методы и средства для снижения профессиональных рисков. Кроме того, мы разработали мероприятия и технические решения, которые помогут обеспечить пожарную безопасность. Также мы определили необходимые действия и технические средства для поддержания экологической безопасности» [5].

5 Экономическая эффективность работы

«Цель раздела: экономическое обоснование целесообразности внедрения предложенных в технологический процесс окраски изменений» [8].

Замена дюзы обеспечивает возможность снижения расхода ЛКМ до 400 ± 50 мл/мин. Степень разбавления эмали до рабочей вязкости составляет 50%. Эмаль в рабочей вязкости составляет $2/3$ от общего раствора, растворитель $1/3$.

Фактическая экономия раствора на кузов составляет 271 мл/кузов, из них эмаль – 181 мл/кузов, растворитель – 90 мл/кузов.

Плотность эмали (Пантеры) – $1,1424 \text{ г/см}^3$, плотность растворителя – $0,881 \text{ г/см}^3$. Массу можно найти по формуле 29:

$$m = \rho \times V \quad (29)$$

где m – масса, кг;

ρ – плотность, г/см^3 ;

V – объем, мл.

$$m_{\text{эмаль}} = 0,0011424 \times 181 = 0,207 \text{ кг/кузов}$$

$$m_{\text{растворитель}} = 0,000881 \times 90 = 0,079 \text{ кг/кузов}$$

Цена за 1 кг эмали: 906,18 руб., цена за 1 кг растворителя: 161,508 руб.

Себестоимость эмали на 1 кузов: $0,207 \text{ кг} \times 906,18 \text{ руб.} = 187,580 \text{ руб.}$

Себестоимость растворителя на 1 кузов: $0,079 \text{ кг} \times 161,508 \text{ руб.} = 12,760 \text{ руб.}$

Следовательно общая себестоимость на кузов составляет 200,34 руб.

Экономический эффект за 2024 год: $200,34 \text{ руб.} \times 217\,806 \text{ а/м} = 43\,635\,254,04 \text{ руб.}$

Заключение

Рассмотрен технологический процесс нанесения ЛКМ на кузов автомобиля. В первом разделе проанализированы исходные данные и поставлены задачи.

Во втором разделе проанализирован кузов автомобиля Granta и определены нормы расхода материала на кузов.

В третьем разделе определен перечень оборудования, приспособлений и средств контроля для операций по нанесению ЛКМ на кузов.

В ходе модернизации был усовершенствован окрасочный пистолет. Замена сопла и внедрение окрасочного пистолета позволило сократить лакокрасочные материалы при окраске кузова. Это стало возможным благодаря тому, что теперь окрасочный пистолет присоединяется к роботу при помощи планшайбы. Это решение повышает эффективность производственного процесса и способствует улучшению качества нанесения и затрат на труд и материалы.

В ходе работы был создан код для расчета ЛКМ в программе Python. Калькулятор может автоматически рассчитывать необходимое количество ЛКМ на основе заданных параметров с учетом различных факторов, которые могут влиять на расход ЛКМ. Такой калькулятор позволяет сократить время на подготовку к окраске и улучшить качество конечного продукта.

Все окрасочные операции проанализированы на вредные и опасные производственные факторы, для которых предусматриваются меры по снижению влияния их вредного воздействия.

В экономическом разделе просчитана эффективность от замены сопла и усовершенствованного пистолета.

Таким образом, все задачи бакалаврской работы решены и цели достигнуты.

Список используемой литературы

1. А.М. Перекрестов. Технологический процесс изготовления кронштейна вспомогательных агрегатов автомобиля LADA Niva Legend // Выпускная квалификационная работа Концепт. 2022. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/24587/1/Перекрестов%20А.М._ТМб-1801a.pdf (дата обращения: 26.05.2025).
2. А.Ф. Горбачевич. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
3. Блохин М.А. Модернизация технологического оснащения линии окраски автомобиля GRANTA // Выпускная квалификационная работа Концепт. 2016. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/1343/1/Блохин%20М.А._ТМбз_1101.pdf (дата обращения: 26.05.2025).
4. В. В. Драгунцов. Совершенствования технологического процесса окраски кузовов, а/м семейства «DATSUN» // Выпускная квалификационная работа Концепт. 2016. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/1351/1/Драгунцов%20В.В._ТМбз_1101.pdf (дата обращения: 26.05.2025).
5. В.В. Соколов. Модернизация автоматизированной ультразвуковой сварочной линии для сборки панели дверей автомобиля LADA Vesta SW// Выпускная квалификационная работа Концепт. 2024. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/31438/1/Соколов%20В.В._ТМб-2001a.pdf (дата обращения: 26.05.2025).
6. ГОСТ 9.072–2017. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрывтия лакокрасочные. Термины и определения. – Введ. 20–04–2017. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 40 с.
7. Гуляев, В.А., Козлов, А.А., Логинов, Н.Ю. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-метод. пособие по выполнению

выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». – Тольятти: ТГУ, 2017 – 50 с.

8. И. В. Краснопевцева. Экономика и управление машиностроительным производством [Электронный ресурс]: Электрон. учеб.-метод. пособие / ТГУ; Ин-т финансов, экономики и управления; каф. "Торговое дело и управление производством". - Тольятти: ТГУ, 2014. - 183 с. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/13> (дата обращения: 10.04.2024).

9. Клепиков В. В. Технология машиностроения: курсовое проектирование: учебное пособие / Москва: ИНФРА –М, 2020. – 229 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1081966> (дата обращения: 29.05.2025).

10. Л.Н. Горина, М.И. Фесина. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие. -Тольятти: изд-во ТГУ, 2024 – 22 с.

11. Об утверждении Рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков. [Электронный ресурс]: Приказ Минтруда РФ от 28.12.2021 №926. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=411523> (дата обращения: 10.04.2024).

12. Расторгуев Д.А. Технологическая часть выпускной квалификационной работы машиностроительного направления: электронное учеб.-метод. пособие / Тольятти: ТГУ, 2017. – 34 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hdl.handle.net/123456789/6204> (дата обращения: 19.05.2025).

13. СТО 00232934-xx.xx – 2024. Нормирование лакокрасочных материалов в АО "АВТОВАЗ".

14. СТО 6B300.0006 – 2023. Обслуживание и эксплуатация краскораспылителей в окрасочном комплексе АСК Granta.

15. Технический бюллетень на пневматический краскопульт. [Электронный ресурс] Описание, руководство по эксплуатации, характеристики на краскораспылитель GTiPRO. Девилбис, Великобритания (Англия). URL: https://auto-emali.ru/tds/TDS-Devilbiss-GTi_PRO_LITE.pdf (дата обращения: 26.05.2025).

16. Binbin Zhang, Jun Wu, Liping Wang, Zhenyang Yu. Accurate dynamic modeling and control parameters design of an industrial hybrid spray-painting robot [Электронный ресурс]: Sciencedirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584519300043> (дата обращения: 25.05.2025).

17. K. Zbiss; A. Kacem; Mario Santillo; A. Mohammadi. Automatic Collision-Free Trajectory Generation for Collaborative Robotic Car-Painting [Электронный ресурс]: Doaj open global trusted. URL: <https://doaj.org/article/df562d1ea08045c883567cd0c7f98143> (дата обращения: 25.05.2025).

18. Pedro Catalao Moura, Fausto Santos, Carlos Fujao, Valentina Vassilenko. In Situ Indoor Air Volatile Organic Compounds Assessment in a Car Factory Painting Line [Электронный ресурс]: Journal « Processes». URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/8/2259> (дата обращения: 25.05.2025).

19. Xiao Y., Zhu X., Li L., Zhang J. Impacts of poor working conditions, occupational psychology, and enterprise risk factors on occupational injury by path analysis [Электронный ресурс]: Doaj open global trusted. URL: <https://doaj.org/article/7101d873baff4a9ab574514dd25e4217> (дата обращения: 25.05.2025).

20. Yuya Nagai; Hiromitsu Nakamura; Narito Shinmachi; Yuta Higashizono; Satoshi Ono. Vehicle Painting Robot Path Planning Using Hierarchical Optimization [Электронный ресурс]: Doaj open global trusted. URL: <https://doaj.org/article/9e9a52ff2ad74577a78c8ff4e5092d48> (дата обращения: 25.05.2025).

