

Министерство образования и науки Украины

Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна

На правах рукописи

МЯМЛИН ВЛАДИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ



УДК 658.527: 629.48

**РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ
ПОТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	19
1.1 Обзор публикаций по ремонту и обслуживанию подвижного состава на предприятиях железнодорожного транспорта	19
1.2 Методы ремонта и технического обслуживания подвижного состава за рубежом.....	33
1.3 Возможные методы организации ремонта вагонов.....	41
1.3.1 Стационарный метод ремонта вагонов.....	41
1.3.2 Поточный метод ремонта вагонов	43
1.3.2.1 Жёсткий поток	43
1.3.2.2 Полужёсткий поток	46
1.4 Поточный метод как высшая стадия развития производства.....	48
1.4.1 Предпосылки появления поточного метода организации производства .	48
1.4.2 Основные понятия поточного производства.....	49
1.4.3 Обзор поточных методов производства в других отраслях промышленности	57
1.4.4 Гибкий асинхронный поток ремонта вагонов – дальнейший этап развития и совершенствования вагоноремонтного производства.....	63
1.5 Выводы по разделу 1	71
2 ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ХАРАКТЕР ВАГОНОРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	74
2.1 Исследование трудоёмкостей различных видов работ при деповском ремонте вагонов	74
2.2 Анализ случайных факторов, влияющих на эффективность ремонта вагонов.....	88
2.2.1 Систематизация случайных факторов	88
2.2.2 Конструкционно-эксплуатационные факторы.....	89

2.2.2.1 Особенности конструкций грузовых вагонов (на примере полувагона)	89
2.2.2.2 Условия эксплуатации вагонов	96
2.2.2.3 Сроки эксплуатации вагонов	96
2.2.2.4 Качество ранее выполненных ремонтов и технических обслуживаний.....	97
2.2.3 Человеческий фактор.....	97
2.2.3.1 Работоспособность исполнителей.....	97
2.2.3.2 Профессионализм, мастерство, квалификация исполнителей.....	102
2.2.3.3 Психофизиологические особенности исполнителей	102
2.2.3.4 Прочие факторы, оказывающие влияние на эффективность работы исполнителей	103
2.2.4 Организационно-технические факторы.....	106
2.2.4.1 Отказы технологического оборудования	106
2.2.4.2 Ремонтпригодность оборудования.....	106
2.2.4.3 Перебои в подаче энергоресурсов и материалов.....	106
2.2.5 Организационно-технологические факторы	107
2.2.5.1 Метод организации ремонта.....	107
2.2.5.2 Технологическая структура потока	107
2.2.5.3 Способ перемещения вагонов	107
2.3 Выводы по разделу 2	108
3 СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРЫ ГИБКИХ ВАГОНОРЕМОНТНЫХ ПОТОКОВ. МЕТОДЫ РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА	110
3.1 Современные требования к проектированию вагоноремонтных предприятий.....	110
3.2 Структурно-параметрический анализ перспективных вагоноремонтных предприятий с гибким потоком ремонта вагонов.....	115
3.3 Способ перемещения вагонов между позициями гибкого вагоноремонтного потока при помощи транспортных агрегатов.....	136

3.4 Морфология структур гибких потоков ремонта вагонов	148
3.5 Анализ основных параметров мультифазных поликанальных многопредметных асинхронных гибких потоков и методы их расчёта.....	155
3.6 Метод определения рациональной компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия на стадии его проектирования.....	159
3.7 Выводы по разделу 3	168
4 РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАГОНОРЕМОНТНЫХ ПОТОКОВ	170
4.1 О математических моделях и моделировании	170
4.2 Содержательное описание функционирования гибкого потока ремонта вагонов.....	175
4.3 Понятие потока ремонта вагонов как многофазной поликанальной системы массового обслуживания	181
4.3.1 Общие положения теории массового обслуживания.....	181
4.3.2 Аналитическое описание систем массового обслуживания.....	184
4.3.3 Имитационное моделирование систем массового обслуживания.....	193
4.4 Математическое моделирование функционирования технологического потока ремонта вагонов на базе теории кусочно-линейных агрегатов	196
4.4.1 Общие положения теории агрегатов.....	196
4.4.2 Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы	197
4.4.3 Формализация процесса функционирования вагоноремонтного потока с гибкой транспортной системой при помощи кусочно-линейных агрегатов	204
4.5 Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов	213
4.6 Выводы по разделу 4	221

5 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ПОЗИЦИЯХ ПОТОКА	222
5.1 Необходимость сбора и обработки статистических данных о трудоёмкостях ремонта вагонов на позициях вагоноремонтного участка	222
5.2 Анализ эксплуатационных дефектов вагонов. Выбор необходимых технологических операций для их устранения. Расчёт трудоёмкостей операций.....	223
5.3 Распределение ремонтных операций между позициями проектируемого гибкого потока с целью получения исходных вероятностных моделей трудозатрат	225
5.4 Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на отдельных позициях потока	225
5.5 Способ получения случайных значений времени выполнения ремонтных работ на позициях потока на основании полученных статистических данных	236
5.6 Выводы по разделу 5	239
6 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПОТОКОВ РЕМОНТА ВАГОНОВ	241
6.1 Имитационное моделирование как метод изучения перспективных технологических процессов и получения нового знания	241
6.2 Имитационное моделирование работы гибкого потока при ремонте вагонов одного типа.....	243
6.3 Имитационное моделирование работы гибкого потока при нескольких типах вагонов и нескольких видах ремонта.....	251
6.4 Описание блок-схемы алгоритма моделирования работы гибкого потока при нескольких типах вагонов и нескольких видах ремонта	254
6.5 Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких асинхронных потоков ремонта вагонов при помощи имитационного эксперимента на компьютере.....	263

6.6 Анализ преимущества гибких вагоноремонтных потоков в аспекте возможности осуществления «обгонов» между вагонами в процессе ремонта.....	272
6.7 Выводы по разделу 6	281
7 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И НАУЧНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ	283
7.1 Факторы, влияющие на рост производительности труда	283
7.2 Техничко-экономическое обоснование создания новых вагоноремонтных предприятий с гибким асинхронным потоком ремонта подвижного состава..	288
7.3 Выводы по разделу 7	296
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	297
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	302
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акты внедрения	343
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Объекты интеллектуальной собственности, созданные в результате диссертационного исследования	347
ПРИЛОЖЕНИЕ В Описание интерфейса компьютерной программы «Имитационное моделирование технологического потока для ремонта вагонов».....	348
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Текст программы «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов»	356
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Перечень ремонтных операций, выполняемых на вагонах и закреплённых за специализированными ремонтными позициями потока (фрагмент)	387
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Перечень работ при деповском ремонте полувагонов	397

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ПС – подвижной состав;

ВЧДР – вагонное депо ремонтное;

ВРЗ – вагоноремонтный завод;

ДР – деповской ремонт;

КР – капитальный ремонт;

АГПРВ – асинхронный гибкий поток ремонта вагонов;

ГРП – гибкий ремонтный поток;

МПМГП – мультифазный поликанальный многопредметный гибкий поток;

СГП – структурная гибкость потока;

ГВРП – генеральный вагоноремонтный поток;

ГВРУ – главный вагоноремонтный участок;

УПР – участок подготовки вагонов к ремонту;

МУ – малярный участок;

ПКЛ – поточно-конвейерная линия;

ПЛ – поточная линия;

РПС – ремонтная поточная сеть;

Т – транспортный пролёт;

Р – ремонтный пролёт;

ТА – транспортный агрегат;

РМ – ремонтный модуль;

ТМ – транспортный модуль;

ОМ – модуль для ожидания;

СМО – система массового обслуживания;

АС – агрегативная система;

КЛА – кусочно-линейный агрегат;

ИМ – имитационная модель;

ММ – математическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Украина имеет разветвленную сеть железных дорог и мощный парк подвижного состава, от состояния которых зависит развитие многоотраслевой экономики страны. Перспективы интеграции Украины в европейское сообщество требуют от железнодорожного транспорта повышения конкурентоспособности за счет улучшения качества перевозок и снижения эксплуатационных расходов. Наравне с решением других важных железнодорожных проблем большая ответственность в этом плане возлагается и на вагонное хозяйство страны, которое должно за счет повышения эффективности и качества ремонта поддерживать подвижной состав железных дорог в надлежащем техническом состоянии.

Большая роль при этом отводится плановому ремонту вагонов, который способствует не только поддержанию вагонов в работоспособном состоянии, но и продлению их ресурса. На сегодня вагонное хозяйство Украины имеет чрезмерно большую, но совершенно неэффективную вагоноремонтную базу. На отечественные железные дороги приходится значительная часть всех вагоноремонтных предприятий стран СНГ и Балтии. В то же время за четверть века вагонное хозяйство Украины не только не развилось, но и утратило свой прежний производственный потенциал. Некоторым предприятиям уже более 70 лет, а износ оборудования составляет 60–75 %. Учитывая, что вагоноремонтные предприятия железнодорожного транспорта в основном уже морально и физически устарели, а технологическое переоснащение их практически не выполняется, осуществлять указанные задачи им становится все труднее. При этом следует отметить, что ранее при строительстве вагонных депо предусматривался только один линейный вариант размещения вагонов на площадях вагоноремонтных участков - вагоны размещались вдоль строительных пролетов на 2 – 3 параллельных железнодорожных путях. Такая технологическая схема позволяла осуществлять ремонт вагонов или стационарным, или поточным методом. При этом поток мог быть только "жестким" - одновременное перемещение всех вагонов. Такая организация технологии ремонта совершенно не

учитывала вероятностный характер вагоноремонтного производства, из-за которого постоянно нарушалась величина установленного такта, что приводило к вынужденному непродуктивному простоям технологического оборудования и исполнителей, то есть их неэффективному использованию. Различные мероприятия организационного характера в рамках существующих возможностей совершенно не могли привести к существенным улучшениям в работе поточных линий. Противоречие между индустриальными методами ремонта и вероятностным характером ремонтного процесса приводило к снижению пропускной способности поточных линий и увеличению простоев вагонов в ремонте, а тем самым способствовало увеличению эксплуатационных расходов. На современном этапе, когда объемы ремонтных работ на вагонах значительно увеличились из-за морального и физического старения подвижного состава, это противоречие углубилось еще больше. Надо отметить, что эта проблема касается не только вагоноремонтной базы Украины, но и многих других государств.

Чтобы быть конкурентоспособной железнодорожной отрасли необходимо овладеть новыми высокоэффективными технологиями, внедрять инновационные методы работы, совершенствовать организацию производства. В связи с этим вагоноремонтную базу необходимо не просто модернизировать и реконструировать, ее необходимо поднять на более высокий технологический уровень развития.

Одним из таких путей является внедрение гибких поточных технологий ремонта подвижного состава железных дорог. Использование на вагоноремонтных предприятиях гибких поточных технологий позволит значительно увеличить пропускную способность участков и сократить время пребывания подвижного состава в ремонте, тем самым значительно улучшив технико-экономические показатели производства. Гибкие поточные технологии представляют собой новое направление в ремонте подвижного состава, которое ранее теоретически и практически не было изучено. Поэтому есть острая необходимость в разработке методов его применения при проектировании, планировании и организации процесса ремонта. Для выбора рациональных

параметров гибких производств, их структуры, компоновки ремонтных участков, оценки будущих возможностей потоков в дальнейшей эксплуатации необходимы новые методы и математические модели для их исследования еще на стадии проектирования и модернизации.

Поэтому тема диссертационной работы, которая связана с развитием научных основ ремонта подвижного состава на базе гибких поточных технологий является весьма актуальной не только для железнодорожного транспорта Украины, но и для железнодорожного транспорта других стран.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна в соответствии с планами научно-исследовательских работ университета, выполняемых в рамках отраслевых программ Министерства инфраструктуры Украины, Укрзалізничці и Приднепровской железной дороги, бюджетных программ Министерства образования и науки Украины, а также по международным договорам по таким темам:

- постановка на производство «Цеха по ремонту грузовых вагонов»;
- разработка описания и постановки задач автоматизированного планирования ремонта грузовых вагонов;
- разработка технических требований к автоматизированной системе планирования ремонта грузовых вагонов;
- разработка технических решений по эксплуатации новой вагонной техники в реальных условиях;
- исследование образцов новой вагонной техники в реальных условиях эксплуатации;
- технико-экономическое обоснование развития производственной базы ЦМКР ст. Знаменка. Технологический раздел;
- анализ и определение технического состояния грузовых вагонов, которые эксплуатируются на железных дорогах Украины;

- разработка инновационных конструкций грузовых вагонов с учетом новейших материалов и применения современных технологий сварки со снижением энергозатрат (№ госрегистрации 0114U002548);

- разработка инновационных конструкций грузовых вагонов для горных железных дорог с учетом новейших материалов и применения современных технологий сварки (№ госрегистрации 0116U003751), по которым автор является исполнителем и автором отчетов.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является повышение эффективности поточных методов ремонта подвижного состава путем развития научных основ создания гибких поточных технологий. Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо сформулировать понятийно-терминологический аппарат, методологический императив и методологический инструментарий создания и анализа гибких поточных технологий для чего надо решить следующие задачи:

- выполнить комплексный анализ научных исследований и технических решений по организации поточного метода ремонта подвижного состава;

- собрать, обработать и проанализировать статистический экспериментальный материал по каждой единице подвижного состава при деповском ремонте по различным видам работ, дефектов и операций для установления законов распределения случайных величин трудоемкостей ремонтных работ;

- выявить и проанализировать факторы, которые влияют на время нахождения вагонов на ремонтных позициях потока;

- разработать на базе гибких поточных технологий варианты компоновки генерального вагоноремонтного потока и провести структурно-параметрический анализ различных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов, рассчитать их структурную гибкость и обосновать выбор рациональных вариантов структур;

- разработать с помощью теории графов метод рациональной компоновки подразделений и участков вагоноремонтных предприятий нового поколения;

- разработать алгоритм расчета основных параметров и показателей

функционирования вагоноремонтных потоков с учетом их гибкости;

- разработать алгоритм решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе варианта гибкой технологии ремонта;

- разработать на базе математического аппарата теории кусочно-линейных агрегатов математические модели функционирования различных модулей гибких потоков ремонта подвижного состава;

- разработать алгоритмы моделирования и имитационные компьютерные программы моделирования ремонтных процессов при различных структурных вариантах гибких потоков;

- подготовить исходные данные для моделирования ремонтных процессов на потоке;

- провести комплексные теоретические исследования функционирования гибких вагоноремонтных потоков при различной структуре с расчетом необходимых показателей и выполнить их анализ и синтез;

- выполнить технико-экономическое обоснование предложенных научно-технических решений.

Объектом исследования является процесс поточного ремонта подвижного состава железных дорог.

Предметом исследования являются гибкие поточные технологии ремонта подвижного состава и методы их создания.

Методы исследования. Постановка задач исследования, выбор методов их решения и анализ результатов осуществлены с использованием методов системного анализа. Теоретические методы исследований основывались на системном подходе к анализу поточных технологий ремонта вагонов. Отдельные задачи исследования решались с использованием следующих методов: теории вероятностей и математической статистики – для обработки экспериментальных данных по трудоемкости ремонтных работ на вагонах, теории кусочно-линейных агрегатов – для описания функционирования различных модулей потока, теории графов – для рациональной компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия, векторной оптимизации – для выбора варианта гибкой технологии

по двум показателям, комбинаторики – для анализа структур потоков, имитационного моделирования на компьютерах – для анализа функционирования потоков.

Научная новизна полученных результатов. В диссертационной работе решена важная научно-прикладная проблема, которая существует при индустриальном ремонте подвижного состава железнодорожного транспорта и связана с противоречием между регламентированным тактом «жесткой» поточной линии и значительными колебаниями трудоемкости ремонтных работ на объектах, путем разработки методологии повышения эффективности поточного ремонта подвижного состава, а именно:

впервые комплексно подтверждены и научно обоснованы существенные преимущества гибких вагоноремонтных потоков по сравнению с «жесткими» поточными линиями, тем самым подготовлены научные основы теории гибкого вагоноремонтного производства, которые могут быть положены в основу создания вагоноремонтных предприятий нового поколения;

впервые в результате выполненного комплексного анализа экспериментальных данных по дефектам и операциям при деповском ремонте цельнометаллических полувагонов получены законы распределения случайных величин трудоемкостей различных видов ремонтных работ на позициях потока, которые позволяют создать исходную базу данных для определения возможных вариантов эффективного использования производственных мощностей;

впервые с помощью структурно-параметрического анализа осуществлен поиск рациональных структурных вариантов организации гибких вагоноремонтных потоков при разном количестве ремонтных позиций на потоке и разном количестве ремонтных модулей на позициях, а также введен и рассчитан показатель структурной гибкости потока;

впервые на основе математических моделей теории кусочно-линейных агрегатов описан процесс функционирования потоков для ремонта подвижного состава железных дорог, что, в отличие от существующих аналитических моделей теории массового обслуживания, позволяет адекватно описать реальный процесс

и получить более достоверные результаты;

впервые имитационные модели функционирования поточных технологических производств разработаны в вероятностном исполнении, когда прослеживается движение каждого отдельного вагона через все позиции потока, что в отличие от существующих упрощенных моделей, которые разработаны в квазирегулярном исполнении и учитывают только усредненные показатели по каждой позиции для определения параметров всего потока, позволяет получить дополнительные показатели процесса ремонта;

впервые научно обоснована возможность применения гибридного процесса ремонта, когда в едином гибком потоке возможно как успешно ремонтировать различные типы вагонов, так и выполнять различные виды ремонта, что позволяет значительно расширить номенклатуру ремонтируемых изделий и делает производство менее зависимым от конкретных объектов ремонта, в отличие от специализированных депо, выполняющих ремонт только отдельных типов вагонов;

впервые на основании матрицы взаимодействия подразделений и моделей теории графов предложен метод формирования структурно-логистического комплекса основных технологических участков вагоноремонтного предприятия, которое использует гибкий поток, что позволяет значительно сократить транспортные маршруты для перемещения отдельных узлов, деталей и вагонов в целом;

усовершенствован принцип работы и конструкция транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого ремонтного потока, что позволит повысить эффективность транспортных операций и безопасность технологического процесса ремонта грузовых вагонов;

усовершенствованы алгоритмы проектирования и функционирования технологических процессов ремонта вагонов на базе гибких потоков, а также разработанные на их основе имитационные модели и компьютерные программы в части учета дополнительных важных показателей, которые ранее не учитывались;

усовершенствован на основе анализа возможных факторов алгоритм

решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при разработке гибкой технологии ремонта, что позволяет существенно повысить эффективность выбора варианта решения при ремонте, которое позволит минимизировать как время простоя в ремонте, так и стоимость ремонта вообще;

получили дальнейшее развитие аналитические методы расчета основных параметров поточного вагоноремонтного производства в части ремонта в едином потоке разных типов вагонов и выполнения различных видов ремонта;

получил дальнейшее развитие понятийно-терминологический аппарат методологии разработки гибких поточных технологий, что позволяет сформировать соответствующие теоретические положения и расширить возможности использования поточных технологий.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что предложены более эффективные методы организации ремонта подвижного состава, которые могут быть положены в основу при проектировании, строительстве и реконструкции конкретных предприятий нового поколения по ремонту подвижного состава.

Предложенные в диссертационной работе гибкие потоки ремонта грузовых вагонов были использованы проектно-изыскательским институтом железнодорожного транспорта Украины ГП «Днепрозализнычпроект» в проекте № 7713 «Основные технологические решения строительства специализированного вагоноремонтного комплекса для ремонта апатитовозов и вагонов для перевозки минеральных удобрений на ст. Апатиты-1 Октябрьской железной дороги». Кроме того, предложенные в диссертационной работе основные технические и технологические решения и методы имитационного моделирования вагоноремонтных потоков приняты ГП «Днепрозализнычпроект» для использования при выполнении проекта реконструкции вагонного депо на ст. Нижнеднепровск-Узел Приднепровской железной дороги с переводом его на полный цикл ремонта грузовых вагонов по гибкой технологии (акт внедрения результатов выполненных исследований от 22.11.2011).

Полученные в диссертационной работе результаты были использованы

Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна в таких разработках:

- многофункциональный производственный комплекс по ремонту и изготовлению подвижного состава железных дорог Азербайджана на базе вагонного депо Гянджа;
- современное депо для ремонта грузовых вагонов по гибкой технологии в Свободной экономической зоне «Астана» (Республика Казахстан);
- расширение вагонного депо ст. Нижнеднепровск-Узел Приднепровской железной дороги с переводом его на гибкий поток ремонта вагонов.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс при подготовке специалистов и магистров Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна и слушателей курсов повышения квалификации в Институте последипломного образования (акты внедрения от 21.04.2015 и 28.05.2015).

Личный вклад соискателя. Все основные положения и научные результаты, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно, 53 научные работы [167 – 179, 181 – 184, 186 – 189, 191, 192, 194, 195, 197 – 201, 203 – 207, 209, 210, 213 – 222, 283, 370, 371] опубликованы без соавторов. В научных работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад соискателя такой: [166] – предложено не объекты ремонта адаптировать под поток, а, наоборот, поток адаптировать под объекты ремонта; [190] – предложен принцип работы и конструктивные решения транспортного агрегата для перемещения вагонов; [193] – разработан алгоритм моделирования потока для ремонта вагонов; [196] – осуществлена постановка задачи векторной оптимизации и разработан алгоритм ее решения при выборе гибкой технологии ремонта вагонов; [202] – предложены меры по повышению надежности потока за счет увеличения модулей на позициях и организации транспортной гибкости; [223] – предложены новейшие технологии для вагоноремонтных предприятий; [247] – выполнен анализ методов технического обслуживания и ремонта подвижного состава за рубежом; [329] – предложены современные технологии для вагоноремонтных предприятий; [341] – проанализированы

существующие системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и научные результаты диссертационной работы докладывались на таких международных научных конференциях и семинарах: 68-й, 69-й, 70-й, 71-й, 72-й, 73-й, 74-й, 75-й Международных научно-практических конференциях «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Украина, Днепропетровск, 2008 - 2015 гг.); IV Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития вагоностроения» (Россия, Брянск, 2008 г.); Международной научно-практической конференции «Транспортные связи. Проблемы и перспективы» (Украина, Днепропетровск, 2008 г.); IV Международной научно-практической конференции «Внедрение наукоёмких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте» (Крым, Ялта, 2008 г.); II Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса (Республика Беларусь, Гомель, 2008 г.); VI, VII, VIII Международных научно-технических конференциях «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты» (Российская Федерация, Санкт-Петербург, 2009 г., 2011 г., 2013 г.); VI Международной научной конференции «Трансбалтика 2009» (Литва, Вильнюс, 2009 г.); II Международной научно-практической конференции «Интеграция Украины в международную транспортную систему» (Украина, Днепропетровск, 2010 г.); V, VI Международных научно-практических конференциях «Проблемы безопасности на транспорте» (Республика Беларусь, Гомель, 2010 г., 2012 г.); II, III Международных партнерских конференциях «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов» (Крым, Ялта, 2011 г., 2012 г.); V Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем: техника, технология, экономика, управление» (Украина, Киев, 2011 г.); 74-й Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Украина, Харьков, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Вагоны нового поколения – с XX в XXI век» (Украина, Харьков, 2013).

Диссертационная работа в полном объеме докладывалась и обсуждалась на научном семинаре кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (протокол № 3 от 27.11.2014); межкафедральном научном семинаре Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (протокол № 1 от 10.09.2015).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 62 научных трудах, из которых 1 монография, 22 статьи напечатаны в специализированных изданиях, из которых 5 в иностранных изданиях и в журналах Украины, включенных в международные наукометрические базы данных, 38 публикаций апробационного характера и тезисов докладов на международных научных конференциях, 1 авторское свидетельство.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи разделов, выводов, списка использованных источников. Полный объем текста диссертации составляет 403 страницы, в том числе 273 страницы основного текста, 67 рисунков и 23 таблицы. Размещенные на отдельных страницах рисунки и таблицы занимают 28 страниц. Список использованных источников включает 372 наименования на 41 странице, 6 приложений размещены на 61 странице.

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

1.1 Обзор публикаций по ремонту и обслуживанию подвижного состава на предприятиях железнодорожного транспорта

Создание высокоэффективных производств, способствующих качественному обслуживанию и ремонту вагонов всегда являлось одной из приоритетных задач вагонного хозяйства. Ведь от того, насколько качественно выполнен ремонт, не в последнюю очередь зависит и безопасность самого перевозочного процесса. Большая роль отводится при этом плановому ремонту вагонов, который способствует не только поддержанию вагонов в работоспособном состоянии, но и продлению их ресурса.

Надо сразу отметить, что Украина всегда находилась на передовых рубежах при внедрении прогрессивных методов ремонта подвижного состава. Ещё в далёком 1885 году инженер А. П. Бородин произвёл большую работу, связанную с внедрением индустриальных методов ремонта вагонов в главных мастерских Киева и Одессы.

Другой украинский инженер Н. М. Хлебников в 1912 году теоретически обосновал и практически внедрил новую форму организации ремонта товарных вагонов на Нижнеднепровских мастерских Екатерининской железной дороги [239]. В этой работе даются предложения, как организовать последовательный ремонт товарных вагонов отдельными бригадами исполнителей без потерь рабочего времени. Приводится большое количество математических формул, показана логика рассуждения и представлены графики производства работ. Упор делается на максимальной параллельности ведения работ и на специализации ремонтных бригад. Процесс ремонта организован таким образом, что вагоны остаются на местах, а перемещаются только бригады исполнителей. Приводятся данные по производительности рабочих каждой специальности, а также указывается плотность исполнителей на вагоне. Работы проводятся в одну смену

продолжительностью 9 часов. Простой вагонов в ремонте – трое суток. Обращается внимание на то, что объёмы работ на вагонах колеблются.

Вопросам совершенствования ремонта вагонов всегда уделялось большое внимание и в бытность Советского Союза. Именно в этот период вагонное хозяйство приобрело прочную производственно-техническую базу для ремонта вагонов. В течение сравнительно небольшого срока было построено значительное количество вагонных депо, существующие главные железнодорожные мастерские были переоборудованы в вагоноремонтные заводы и оснащены необходимым оборудованием. Только в период с 1934 по 1941 год в Советском Союзе было введено в строй 81 вагонное депо [3].

Непосредственно поточный метод ремонта вагонов был впервые разработан и внедрён в помещении бывших Тамбовских мастерских ещё в 1925 году.

Среди вагонных депо первым на поток перешло в начале 60-х годов вагонное депо ст. Ленинград-сортировочный Московский Октябрьской ж. д.

В деле становления вагоноремонтных предприятий можно выделить три основных этапа, на которых решались производственные задачи разного уровня [96]. Первый этап охватывает период примерно до середины 50-х годов прошлого столетия. В этот период преобладал в основном ручной низкопроизводительный труд. Второй этап охватывает период с 1955 по 1964 год. Тогда было положено начало по созданию отдельных машин и механизмов, способствующих повышению производительности труда. Третий этап – этап комплексной механизации и автоматизации, основанный на внедрении поточных механизированных линий, – стал проявляться после 1964 года. Первая поточно-механизированная линия по ремонту вагонов появилась в 1965 году. Всего же в этом году для ремонта различных вагонных узлов функционировало 175 механизированных линий.

По состоянию на 1975 год в различных депо функционировало уже 40 поточных линий для ремонта вагонов. Всего же в вагонных депо было зафиксировано 1744 механизированных линии [96].

Вопросами организации ремонта вагонов на поточных линиях в разное

время занимались очень многие учёные и практики: В. Г. Анофриев [227, 319], Д. К. Аяшева [9], Ю. М. Бакрадзе [361], В. Г. Бакшатова [361], Ю. С. Бараш [12], В. Д. Бехтерев [22], М. М. Болотин [25 – 31, 125, 259], А. Л. Бродовский [42], В. П. Бугаев [43–48, 75, 131], В. И. Букин [49, 134], В. Г. Воротников [25, 26, 28, 29, 66–68, 287], А. Е. Дударев [86 – 91, 227, 319], В. А. Ёжиков [95, 96, 303], А. В. Кирилюк, [114-116], Н. З. Криворучко [75, 129–134], В. Н. Малькова [149], К. Н. Межов [134], Вит. Вас. Мямлин [165, 260], П. Н. Наливайко [354], А. М. Ножевников [233, 234], И. А. Ножевников [235], В. Ф. Разон [272–274], Г. В. Райков [76, 275, 276], В. И. Сенько [12, 286–292], И. Ф. Скиба [303–308], А. К. Сорока [354], П. А. Устич [343], П. Н. Чернышёв [354], М. З. Шильт [361].

Поточным методом ремонта контейнеров занимались А. И. Биленко [23], Е. В. Трушкин [23] и А. А. Огурцов [241].

Поточному методу ремонта и диагностики тягового подвижного состава посвящены работы А. Б. Бабанина, Г. Г. Басова, Б. Е. Боднаря, Э. З. Гизатулина [70, 71], А. Л. Голубенко, Н. И. Горбунова, Е. Л. Дубинского [348], А. И. Иунихина [364], М. И. Капицы, Ю. М. Колесникова [364], М. М. Майзеля [348], Ю. В. Мирошниченко [158], Е. Г. Стеценко [71], Ю. И. Осенина, Б. Г. Постола [266], Э. Д. Тартаковского [322–325], В. Г. Пузыря, [344], Н. И. Филькова [348], Г. Ф. Яковлева [364] и др.

Развитие поточных методов ремонта подвижного состава во многом связано с общим состоянием и прогрессом в ремонтном хозяйстве. Вопросами совершенствования конструкции, технологии, системы ремонта и технического обслуживания подвижного состава, его надёжностью, моделированием, экономическими обоснованиями, а также общими вопросами развития транспорта и реструктуризации предприятий занималось немалое количество специалистов, среди которых можно отметить целый ряд авторов: С. М. Аввакумов [1], М. Ф. Арефьев [330], А. Б. Бабанин, В. А. Балаканов [260], С. Ф. Баратов [11], Ю. С. Бараш [290], Ч. У. Березнякова [244], И. Д. Борзилов [33, 34], С. М. Бородай [38], А. А. Босов [40], В. М. Бубнов, В. И. Букин, Ю. В. Булгакова, Т. В. Бутько, Г. Вайчунас, Н. Г. Винниченко [64], В. В. Готаулин [74], В. И. Гридюшко [75],

И. В. Гундаев [78], В. Л. Дыкань [92], А. А. Долматов [85], А. В. Донченко, А. Е. Дударев [86], Д. Г. Ейтутис, С. В. Калетин [109], Р. Ф. Канивец [242], М. В. Карелина [112], М. Б. Кельрих, В. А. Кленкин [117], К. Х. Клименко [368], Д. Н. Козаченко, С. Г. Комаров [137], С. В. Копачёв [121], С. Н. Коржин [218], В. Б. Костров [85], В. Н. Котуранов [125], В. Колупаев [118], А. Н. Королёв [123], О. Ю. Кривич [128], А. Я. Куличенко, Ф. А. Лапшин [137], Т. В. Лисевич [139], Д. В. Ломотько, П. Р. Лосев [285], К. М. Люльчев [145], И. Э. Мартынов [150, 151], В. Г. Маслиев, В. М. Меланин [242], А. Р. Милянич, А. Ю. Миронов [157], В. Б. Митюхин [159], В. Н. Морозов [162], Р. Г. Морчиладзе [340], К. В. Мотовилов [163, 331], Л. А. Мурадян, Б. Д. Никифоров [229], Ф. Ф. Насибуллин [224], Т. В. Нескуба [228], А. М. Ножевников [233], Г. И. Осадчук [244], С. В. Панченко, В. Н. Пасько [330], С. А. Покровский [244], С. И. Приходько, В. Г. Равлюк [150, 151], В. А. Рудаков [279], В. В. Селиверстов [284], Г. К. Сендеров [285], В. И. Сенько [286–292], К. А. Сергеев [293–295], Н. Ф. Сирина [297–300], И. Ф. Скиба [305, 306], Н. Н. Сосунов [315], В. Н. Стариченков [259], Старых [316], Р. П. Стрекалина [318], В. В. Сычёв [321], А. Ю. Тимченко [332], О. Г. Тухарели [340], П. А. Устич [343], А. П. Фалендыш [344], И. И. Хаба [229, 343], В. Х. Хозло [368], Л. Г. Чупейкина [357], В. А. Шамагин [330], Д. И. Шикина [359], А. В. Шилович [360], А. С. Шипунов [362], Г. Д. Эйтутис, Н. М. Яковлева [365], А. М. Янов [368] и др.

Если рассматривать хронологию событий становления, совершенствования и развития теоретических работ непосредственно по поточному методу ремонта подвижного состава на железнодорожном транспорте, то авторов по выходу в свет их первых трудов на эту тему можно расположить в следующем порядке: А. Л. Бродовский (1940), И. Ф. Скиба (1950), Н. З. Криворучко (1950), С. Г. Комаров (1955), Ф. А. Лапшин (1955), П. Н. Чернышёв (1962), А. К. Сорока (1962), П. Н. Наливайко (1962), А. Н. Королёв (1962), А. И. Попов (1962), А. В. Кирилук (1968), А. М. Ножевников (1968), В. И. Букин (1975), В. Н. Малькова (1975), А. Е. Дударев (1975), В. Г. Анофриев (1975), Г. В. Райков (1976), В. А. Ёжиков (1976), М. М. Болотин (1976), Э. З. Гизатулин (1978),

В. П. Бугаев (1978), В. Ф. Разон (1978), Э. Д. Тартаковский (1980), И. А. Ножевников (1982), А. И. Биленко (1983), Е. В. Трушкин (1983), В. И. Сенько (1983), В. В. Мямлин (1985), Ю. С. Бараш (1987), В. Г. Воротников (1991), П. А. Устич (2004), И. И. Хаба (2004), В. М. Меланин (2008), С. Н. Коржин (2008), К. А. Сергеев (2009).

На железнодорожном транспорте поточные методы нашли широкое применение на практике при ремонте и обслуживании подвижного состава. Так, например, впервые в мировой практике в 1968 году Даугавпилский локомотиворемонтный завод перешёл на поточную форму организации ремонта тепловозов. Это позволило увеличить выпуск тепловозов из ремонта на 150 % и до 45 % сократить их простой в ремонте [71]. Успешное освоение во многих локомотивных депо железных дорог агрегатного метода ремонта тепловозов позволило сделать следующий и решающий шаг по пути развития индустриальной системы деповского ремонта тепловозов, а именно – перейти к поточному методу ремонта.

То же самое касается и ремонта контейнеров. После перехода на поточный метод ремонта контейнеров, например, в вагонном депо Лихоборы производительность труда выросла в два раза [23].

Однако наибольшее распространение поточные методы получили при производстве капитального и деповского ремонта вагонов и их узлов.

После внедрения поточного метода на Барнаульском ВРЗ программа ремонта вагонов возросла на 120 %. Использование поточно-конвейерного метода на Стрыйском ВРЗ позволило увеличить объём выпускаемой продукции почти на 70 %. Переход на поток в вагонном депо Уссурийск дал возможность увеличить выпуск вагонов из ремонта примерно на 40 % и сократить их время пребывания в ремонте на 48 %. Использование потока в депо Волноваха позволило увеличить выпуск вагонов на 65 %. В результате применения комплекса поточных линий в вагонном депо Красноармейск выпуск вагонов с одной ремонтной позиции вырос в 2,9 раза.

Данные факты свидетельствуют о том, что внедрение поточных методов

ремонта на различных вагоноремонтных предприятиях позволило скачкообразно по сравнению со стационарным методом увеличить выпуск вагонов из ремонта и сократить время нахождения их в ремонте.

Однако из всего количества существовавших в СССР вагонных депо, а это около двухсот предприятий, только менее четверти из них перешло на поточный метод ремонта. Как правило, все эти депо были специализированы на ремонте вагонов только одного типа.

Вместе с тем, приведенные выше показатели сильно отличаются друг от друга и говорят о том, что не было разработано единых требований ни к технологии, ни к оборудованию, ни к организации поточного ремонтного производства. Да и не надо забывать, что в советское время, наряду с реальными достижениями, зачастую имели место декларационные и популистские лозунги, скорее выдававшие желаемое за действительное.

Следует обратить внимание также и на то, что вслед за некоторым подъёмом после перехода на поточный метод дальнейшего роста не наблюдалось, а, наоборот, некоторые вагоноремонтные предприятия стали сдавать свои позиции, и он даже пошёл на спад. Это связано со многими причинами, но, прежде всего, с вероятностным характером вагоноремонтного производства и, не отвечающей ему, детерминированной поточной формой его реализации.

Первые потоки, используемые для ремонта вагонов, унаследовали основные признаки потоков машиностроения 30-х годов. К ним следует отнести следующие черты: желание иметь как можно большее число позиций; чрезмерное дифференцирование операций, как по исполнителям, так и по позициям; довольно низкий уровень механизации.

Вместе с тем, ремонт вагонов на потоке имеет свои специфические особенности. К этим особенностям можно отнести большое разнообразие конструктивных отличий вагонов даже одного и того же типа, различные условия и интенсивности их эксплуатации, а также широкий диапазон «возрастных» изменений вагонов.

Совокупность всех этих факторов влияет на трудоёмкость выполнения

ремонтных работ на вагонах, и через неё способствует проявлению неопределённости ремонтного процесса, делает поточное вагоноремонтное производство слишком чувствительным к нарушению хода технологического процесса. Такая вероятностная природа поточного вагоноремонтного производства требует определённого к себе отношения и обязательно должна быть учтена при разработке новых форм организации потоков.

При существующих вариантах организации вагоносборочных участков в депо большинство предприятий предпочитают всё же использовать стационарный метод ремонта вагонов. Хотя этот метод является весьма неэффективным, так как он не способствует росту производительности труда. Только при разделении операций и специализации позиций можно добиться высокой производительности труда и повышения качества ремонта. Но предприятия шли на это, так как не могли добиться стабильности такта на потоке, что приводило к потере пропускной способности вагоноремонтного участка.

Без наличия специализированных позиций, предназначенных для выполнения конкретных операций и оснащённых соответствующим механизированным и автоматизированным оборудованием, поток не может получить максимальную свою реализацию. Само по себе простое перемещение вагонов между производственными позициями, без насыщения позиций специальным оборудованием (выполнение работ вручную), не имеет смысла. Это создаёт только видимость потока и не является потоком по сути. Если одна и та же технологическая операция может осуществляться на разных позициях (двух или более), то нарушается принцип специализации позиций. При существующих «жёстких» схемах так приходится поступать только потому, что многие вагоны из-за регламентированного такта не успевают быть обслуженными на «своих» позициях, и эти работы приходится доделывать на последующих позициях. Такие потоки являются формальными потоками.

Создание того или иного вида потока зависит в первую очередь от конфигурации главного производственного корпуса. Изначально при проектировании и строительстве вагоноремонтных предприятий с «жёсткими»

поточными линиями уже была заложена дисфункция, выражающаяся в очень низкой надёжности самих поточных линий, на которую ещё вдобавок накладывался вероятностный характер объектов ремонта, заключающийся в значительном размахе трудоёмкостей ремонтных работ, выполняемых на позициях потока.

В одной из первых работ, затрагивающих организацию ремонта вагонов поточным методом, сказано, что «поточный метод применим только при таких видах ремонта, которые отличаются постоянной и чёткой характеристикой, когда весь ремонтный процесс может быть разделён на определённое количество постоянных циклов» [42]. И здесь же: «объекты ремонта, пропускаемые по потоку, должны быть по характеру и объёму ремонта примерно одинаковыми». Мы с этим, безусловно, согласны, когда речь идёт о «жёстких» потоках, но ведь возможны и другие типы потоков.

Детальный анализ поточного вагоноремонтного производства позволил сделать вывод, что все вагонные депо, построенные в период существования СССР, предусматривают только «жёсткую» технологическую структуру. Такая структура состоит из последовательно соединённых элементов (позиций), и выход любого элемента из строя отражается на работе всей поточной линии. С ростом интенсивности эксплуатации вагонов, а также производством новых вагонов, имеющих различные конструктивные отличия, значительно стала изменяться и трудоёмкость их ремонта. А для «жёсткого» потока необходимо, чтобы время завершения выполнения работ на всех позициях происходило бы одновременно. Сбой такта на любой позиции в таких условиях оказывает влияние на работу всего потока.

Поэтому дальнейшая теоретическая работа вагоноремонтной науки в области организации производства была большей частью направлена на совершенствование работы «жёстких» поточных линий. Особенно активно это направление разрабатывала «белорусская» вагоноремонтная школа в лице Н. З. Криворучко, В. П. Бугаева, В. И. Букина, В. Ф. Разона [43–49, 75, 129–134, 272–274].

Представители этого направления считали, что наиболее эффективным методом ремонта вагонов в депо есть поточно-конвейерный метод. А раз для поточно-конвейерного метода «узким местом» является соблюдение регламентированного такта, то большинство их рекомендаций в основном были направлены на обеспечение именно внутритактной синхронизации времени выполнения работ на позициях поточных линий.

В качестве мер, которые, по их мнению, способствовали бы более стабильному функционированию «жесткого» потока, предлагались различные организационно-технические мероприятия. Так, например, предлагалось ставить на одну позицию два или более вагонов, подобранных из запаса вагонов таким образом, чтобы усреднённые трудоёмкости групп вагонов по позициям были бы примерно равными, или же ставить на поток поочередно «тяжёлые» и «лёгкие» вагоны.

Вместе с тем, для того, чтобы осуществлять такой подбор вагонов нужно, во-первых, иметь огромный запас вагонов одного типа, чтобы было из чего выбирать и, во-вторых, сам подбор вагонов связан со многими трудностями технического и организационного характера. Да и постоянно содержать большой запас вагонов в условиях крайнего их дефицита – это непозволительная роскошь.

Таким образом, мероприятия, предлагаемые этой группой учёных, годятся только для улучшения работы уже существующих поточных линий. К тому же выполнение этих мероприятий требует постоянных дополнительных усилий, связанных с подбором групп вагонов для постановки на позиции из числа вагонов, ожидающих ремонта. Кроме того, нет никакой гарантии, что подбор вагонов для одной ремонтной позиции по критерию «усреднённой трудоёмкости» окажется в пределах «нормы» и для других ремонтных позиций.

Наиболее простой способ, чтобы хоть как-то исправить ситуацию, – это предварительный ремонт вагонов с повышенными объёмами работ на подготовительных стационарных стойлах. После того, как объём ремонтных работ на этих вагонах будет доведён до «нормы», их можно ставить в общую поточно-конвейерную линию. Однако такой поток является каким-то

половинчатым, неполноценным потоком, так как объекты ремонта предварительно находятся длительное время на стационарных уравнильных стойлах, а не сразу ставятся на поток. В целом такой поток можно назвать потоком только с большой натяжкой. Скорее всего, такая форма организации ремонта может называться «полупоточной». Ну, а на самом деле поток или есть, или его нет.

Таким образом, можно отметить, что все эти рекомендуемые мероприятия носят в основном теоретический характер, практическое их применение весьма затруднительно и совсем неэффективно – в целом противостоять вероятностной природе вагоноремонтного производства они не могут.

Основная ошибка здесь видится в том, что исследователи поточных методов ремонта вагонов основное усилие направляли на совершенствование только одного конкретного вида ремонтного потока, а именно – поточно-конвейерного (поточно-линейного) метода, а не потока как такового вообще. Они старались объекты ремонта адаптировать к возможностям поточных линий.

Наиболее полный анализ поточных линий в вагоноремонтном производстве осуществлён в работах [95, 96, 303]. Обширный анализ работ учёных в области оптимизации системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава приведен в работе [344].

Сейчас трудно сказать, почему в своё время была принята для всех депо только одна структура потока – «жёсткая». По всей видимости, сработала инертность мышления. Раз при движении поезда вагоны следуют друг за другом по одному и тому же пути, то и при ремонте вагонов должно быть, по-видимому, также – ремонтируемые вагоны должны следовать друг за другом по одной и той же колее. Но, одно дело, просто следовать в составе сборного поезда, и совсем другое дело находиться в жёсткой «связке» при выполнении ремонтных работ. Необходимо ещё учитывать и то, что на тот период времени так остро не стоял вопрос о вероятностной природе вагоноремонтного производства – не было такого большого количества модификаций вагонов, и степень их эксплуатации была намного меньше. Да и строительство простых форм зданий для таких

участков не вызывало никаких трудностей. Кроме того, недостаточно был использован существующий опыт машиностроения и приборостроения. И хотя в других отраслях в последующем были применены другие типы потоков, при ремонте вагонов в депо все оставалось по-прежнему. Вагоны представляют собой крупногабаритные изделия, которыми довольно сложно манипулировать, и при уже построенных зданиях не было никакой возможности что-либо существенно изменить в структуре перемещения вагонов на таких поточных линиях.

Хотя следует отметить, что ещё в 50-х годах в работе д.т.н., профессора И. Ф. Скибы [307] упоминались различные нетрадиционные схемы организации вагоноремонтных цехов. Правда, в этой работе шла речь о ремонте вагонов в условиях заводов, и не фигурировало такое понятие, как «гибкие поточные линии». На рис. 1.1 представлена одна из возможных схем организации вагоносборочного цеха поперечно-тупикового типа с транспортной тележкой. Ремонт вагонов предполагается осуществлять по этой схеме стационарным методом.

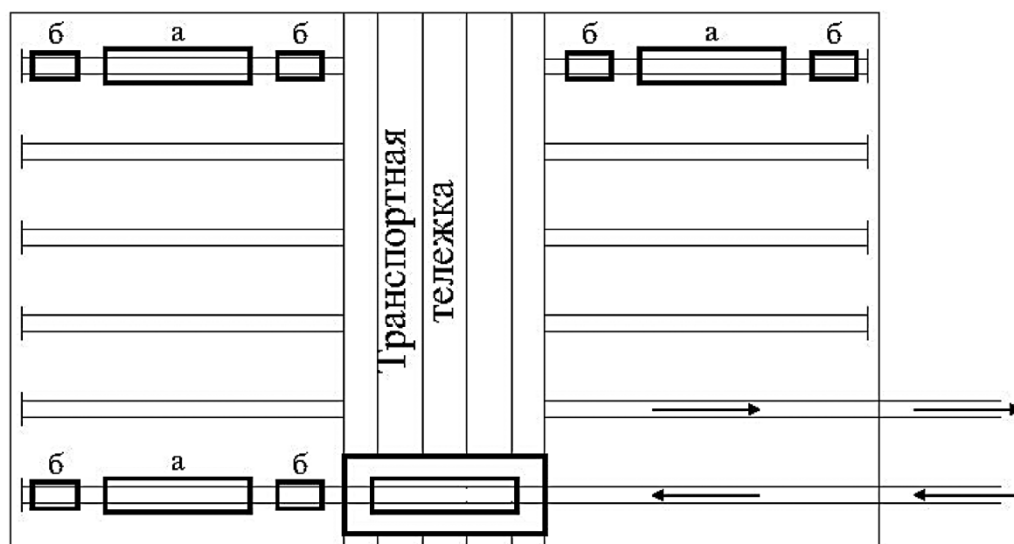


Рисунок 1.1 – Схема вагоносборочного цеха поперечно-тупикового типа с транспортной тележкой:

a – кузов вагона; *б* – вагонная тележка

В качестве ещё одного примера из этой же работы приведём схему вагоносборочного цеха продольно-тупикового типа (рис. 1.2).

Ремонт вагонов в цехе продольно-тупикового типа организован поточным методом. На каждый специализированный ремонтный путь (позицию) устанавливается группа вагонов. Перемещение вагонов между позициями осуществляется поочередно, начиная с последней позиции. К недостаткам такой схемы организации ремонта следует отнести то, что перемещение групп вагонов между позициями связано с большим объёмом маневровых работ и содержанием разветвлённого путевого хозяйства. К тому же пребывание каждого отдельного вагона в ремонте напрямую зависит от простоя всей группы вагонов. Кроме того, каждое перемещение вагонов между позициями связано с выходом за пределы здания, поэтому добавляется ещё негативное влияние погодных условий.

Всё многообразие существующих на сегодняшний день зданий вагоносборочных участков сводится к двум конфигурациям: сквозной и тупиковой (П-образной), причём независимо от того используют они стационарный или поточный методы ремонта вагонов.

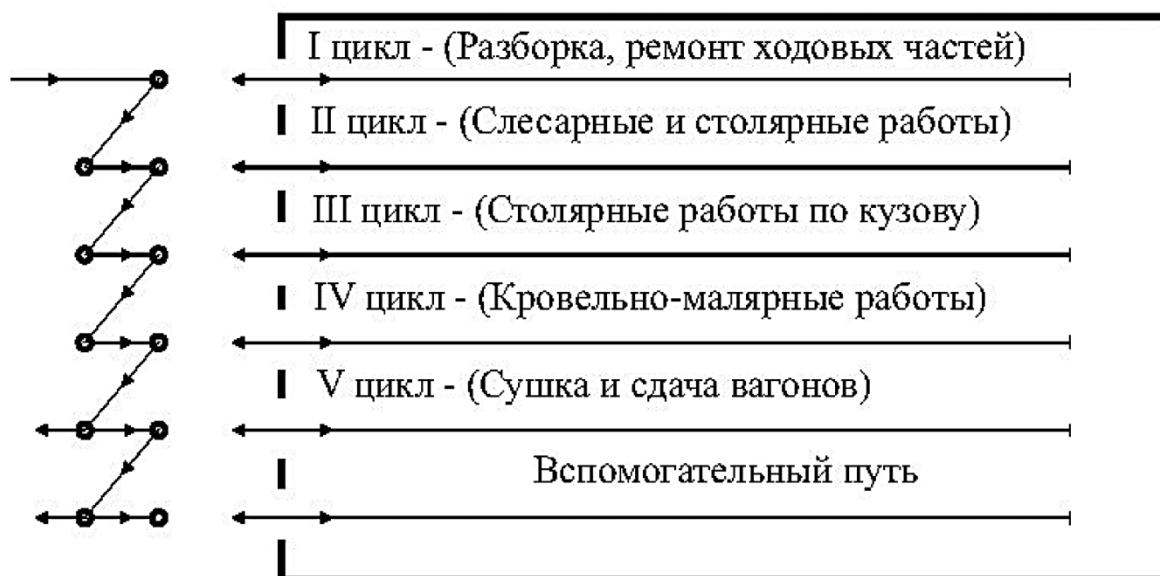


Рисунок 1.2 – Схема вагоносборочного цеха продольно-тупикового типа

При сквозной схеме вагоны поступают в ремонт с одной стороны здания, а выходят из ремонта – с другой. При П-образном варианте подача вагонов в ремонт и выпуск их после ремонта производятся с одной и той же стороны здания.

Формы зданий, выполненные в виде прямоугольников, неукоснительно предполагали размещение только нескольких параллельных путей, на которых можно было ремонтировать вагоны и стационарным, и поточным методами.

При таких структурах постоянно возникают ситуации, когда дальнейшее продвижение вагонов становится невозможным – мешают другие вагоны, на которых ещё ведутся ремонтные работы. Из-за невозможности дальнейшего продвижения или объезда впереди стоящего объекта ремонта, на потоке получают транспортные «пробки».

При «жёсткой» структуре поточной линии и не остаётся другого выбора, как только заниматься вопросами обеспечения внутритактной синхронизации.

Определённый интерес представляет работа [275], посвящённая поиску путей направленных на повышение эффективности организации ремонта полувагонов на потоке. Автор правильно указывает на нестабильность объёмов ремонта, что оказывает влияние на ритмичную работу поточных линий. Для совершенствования работы поточных линий автором был разработан ряд методик для расчёта: рациональных параметров потока, последовательности выполнения операций, технологической надёжности поточных линий и оптимального числа исполнителей в резервной бригаде.

Работа [144] посвящена исследованию и анализу основных параметров поточных линий в вагоноремонтном производстве. В работе рассматривались только «жёсткие» варианты потоков. Дальнейшие работы этого автора связаны с автоматизированными системами управления технологическими процессами ремонта вагонов на поточных линиях. По нашему глубокому убеждению, автоматизированные системы управления своего последнего слова ещё не сказали. И использоваться они должны в системах ремонта более соответствующих природе вагоноремонтного производства, чем нынешние поточные линии.

Вопросам обоснования мероприятий, направленных на совершенствование организации ремонта грузовых вагонов, посвящена работа [112], в которой предложено математическое и программное обеспечение по оптимизации

параметров системы ремонта и сроков службы вагонов.

В работе [359] предложены методики для построения эффективной системы ремонта полувагонов с учётом качества их восстановления при плановом ремонте, дано определение понятию «качество ДР».

В работе [128] предложена методика проектирования технологических процессов для сборочных участков вагонных депо, созданы информационные модели объектов сборки и математические модели параметрического анализа технологических процессов.

Всё большее применение в последнее время находит моделирование технологических процессов. Так, например, в работе [74] разработаны математические модели технологических процессов, а также методики практической оценки состояния технической подготовки производства по ремонту автосцепных устройств.

В работе [78] представлена методика моделирования параллельно выполняемых технологических процессов ремонта колёсных пар на основе сетей Петри и построены модели технологических процессов многовариантного ремонта колёсных пар в депо.

Автор работы [279] показывает взаимосвязи между показателями работы вагоноремонтного комплекса и безопасностью движения поездов. В работе предложены мероприятия, которые будут способствовать повышению общего уровня безаварийной работы.

Основной целью работы [45] является разработка методов по обоснованию мощности вагоноремонтной базы, её размещению и развитию, выдаче рекомендаций по срокам службы вагонов и периодичности их ремонта. Работа полезна, хотя затрагивает в основном экономическую часть вопроса. Но есть предложения, с которыми можно не согласиться. Так, например, автор пишет, что «весьма эффективно развитие направления узкой специализации депо преимущественно на одном типе вагонов». Следует, всё-таки, считать, что, чем больше типов ремонтируемых вагонов, тем больше и выбор, – значит, в депо не

будет дефицита объектов ремонта. Просто ремонт вагонов в депо должен быть организован по совершенно другому принципу.

Работа [269] является практически первым учебным пособием, всецело охватывающим вопросы проектирования вагоноремонтных предприятий. Особое внимание уделяется разработке технологической части проектов, от правильности решений которых в дальнейшем будет зависеть судьба всего вагоноремонтного предприятия. К основному недостатку работы относится то, что авторами работы рассматриваются планировки и методы расчёта только «жёстких» поточных линий, которые совершенно не учитывают вероятностную природу вагоноремонтного производства и, в отличие от гибких потоков, не позволяют полностью реализовать все преимущества поточной формы организации производства. В следующем издании работы необходимо обязательно исправить это упущение, тем более что при строительстве новых вагоноремонтных предприятий обязательно должны быть реализованы гибкие вагоноремонтные потоки.

Таким образом, принятая в своё время ориентация на «жёсткий» поток, связанный с обязательной синхронизацией времени выполнения ремонтных работ на позициях, не оправдала надежды. «Жёсткий» поток для ремонтного производства оказался тактической ошибкой.

Тем не менее, на сегодняшний день в целом альтернативы потоку нет. Это самая эффективная и самая высокопроизводительная форма организации производства. Просто для дальнейшего развития поточных методов ремонта нужны новые организационно-технические формы технологических потоков, позволяющие осуществлять индивидуальное многомаршрутное перемещение каждого вагона.

1.2 Методы ремонта и технического обслуживания подвижного состава за рубежом

Организация технического обслуживания и ремонта подвижного состава различных железных дорог зависит не только от особенностей его конструкции,

но и от принятого регламента выполнения работ в конкретной железнодорожной администрации. Различие в техническом уровне самого подвижного состава и тем более в системах его технического обслуживания и ремонта приводит, с одной стороны, к многообразию, а с другой, к некоторой унификации. При этом немаловажным определяющим фактором является также степень реформирования и разграничения функций подразделений железных дорог.

В Германии в 1993 г. было создано отделение компании Talgo, которое предназначено для проведения технического обслуживания закупленных железными дорогами этой страны испанских поездов-отелей [119]. Компанией построен ремонтный завод, численность персонала которого составляла 75 человек. Техническая оснащенность завода позволяла ему выполнять качественное обслуживание подвижного состава без значительных затрат. Здесь широко использовались разработанные компанией Talgo специальные и вспомогательные устройства. Компания-изготовитель поездов Talgo предлагает также различное оборудование для технического обслуживания подвижного состава, в том числе станки для обточки колес без выкатки колесных пар, дистанционно управляемые тяговые устройства для маневровых перемещений подвижного состава и системы измерения параметров колес. В работах по техническому обслуживанию принимают участие также техники, входящие в состав поездной бригады. Для обеспечения гибкости в использовании персонала его профессиональная подготовка ориентирована на универсальность. В связи с этим руководство компании старается избегать узкой специализации персонала. Компания с самого начала выступала одновременно в качестве и производственного, и ремонтного предприятия. Эта стратегия сохранилась до настоящего времени. Эксплуатационное предприятие освобождается от всех работ по техническому обслуживанию и непосредственно занимается коммерческой эксплуатацией [119].

Непрерывный процесс модернизации позволяет оптимизировать подвижной состав. Одновременно используются лучшие достижения, реализованные на поездах предыдущих серий и обеспечивающие повышение КПД и

ремонтпригодности. Информация о выполненных модернизациях накапливается в течение всего срока службы поездов.

Так как поезда Talgo имеют модульную конструкцию, все мероприятия по техническому обслуживанию выполняются быстро и, как правило, с частичной заменой узлов. Оптимальная эксплуатационная готовность подвижного состава обеспечивается разделением плановых работ большого объема на отдельные пакеты мероприятий, в результате чего не требуется выводить поезда или вагоны из эксплуатации на длительный период.

Система технического обслуживания подвижного состава, разработанная компанией Talgo представляет собой гармоничное сочетание плановых мероприятий с работами, проводимыми с учетом технического состояния узлов.

К плановым мероприятиям относятся:

- профилактические обслуживания (например, замена изношенных деталей, дозаправка смазочного материала);
- технический осмотр деталей и узлов с целью определения их состояния.

Talgo проводит профилактическую замену изношенных узлов только там, где это необходимо по причинам безопасности. В остальном выполняется программа планового техосмотра с целью определения состояния конструктивных элементов и узлов. Задачей этих осмотров является распознавание зарождающихся отказов с последующим предупреждением их развития. Важным моментом является также разделение больших объёмов работ на более мелкие.

В начале 1990-х годов с введением в эксплуатацию высокоскоростных поездов и другого модернизированного подвижного состава значительно возросло количество электронных узлов на подвижном составе. Одновременно появились большие возможности для использования бортовой диагностики, что облегчило поиск неисправностей на ремонтных предприятиях и позволило обеспечивать своевременную предварительную подготовку к техническому обслуживанию [271].

Всё это значительно повлияло на ремонтную инфраструктуру мастерских и

депо. Прежде всего, в значительной степени изменились численность и квалификация обслуживающего персонала. Новые конструкции легче реализовать в модульном виде. Становится возможной организация ремонта с заменой отказавших узлов исправными. Ремонт вышедших из строя модулей оказалось целесообразным проводить в заводских условиях, благодаря чему достигается снижение эксплуатационных затрат. При этом в результате уменьшения времени нахождения подвижного состава в ремонте повышается его эксплуатационная готовность.

Требования к ремонтной инфраструктуре, обусловленные развитием подвижного состава, будут изменяться и далее. Все большее значение приобретает организация испытаний и замены отдельных компонентов. Для грузовых вагонов в основном будет проводиться восстановление механических узлов.

Дальнейшее повышение скорости движения и степени безопасности подвижного состава неизбежно приведёт к более широкому внедрению методов неразрушающего контроля, что предъявит новые требования и к ремонтной инфраструктуре. Эта тенденция сохранится и при дальнейшем развитии средств испытаний. Адаптация ремонтной инфраструктуры к возрастающему техническому уровню подвижного состава в последние годы достигла высокого уровня. Наряду с дальнейшим прогрессом в области измерительной и испытательной техники в будущем главное внимание будет уделяться её более интенсивному использованию, так как это способствует снижению затрат жизненного цикла подвижного состава, несмотря на большие первоначальные инвестиции.

Bombardier Transportation ответственна за техническое обслуживание и ремонт вагонов пригородных поездов МВТА, половина из которых выпущена этой же компанией. Переданные компании МВСР специалисты Bombardier решают в основном проблемы механической части вагонов. Наряду с техническим обслуживанием и ремонтом, специально созданное отделение компании разрабатывает и реализует проекты модернизации подвижного состава,

например, замены на всех вагонах оборудования систем кондиционирования воздуха. МВCR периодически опрашивает пассажиров с целью выяснения их отношения к тем или иным техническим и организационным новшествам, что позволяет лучше удовлетворять потребности большинства пользователей системы.

Компания Siemens Transportation Systems с пониманием относится к желанию компаний-операторов выполнять работы по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава своими силами. В таких случаях целесообразность предложения им услуг компании-изготовителя на контрактной основе определяется экономическими факторами, причем эти услуги могут варьироваться от оказания технической помощи до полного взятия соответствующих работ, также в разном объёме – от ежедневного осмотра и профилактического технического обслуживания до капитального ремонта, на свою ответственность. При этом компания гарантирует высокое качество работ, базируясь на накопленном опыте и квалификации работающих, особенно если речь идет о подвижном составе постройки Siemens TS.

По мнению руководства подразделения фирменного сервиса Siemens TS, современный подвижной состав требует привлечения к его техническому обслуживанию и ремонту специально подобранного персонала, знающего как конструктивные особенности поездов тех или иных серий, так и особенности их эксплуатации в реальных условиях железных дорог. Выполнение этого условия возможно в заблаговременно созданных специализированных депо, также спроектированных и оснащённых с учётом конструктивных особенностей подвижного состава и принятой системы его технического обслуживания и ремонта, и при оптимальном наборе и подготовке необходимых работников. В таком случае обеспечивается благоприятное сочетание технической базы и квалифицированного персонала для фирменного сервиса с самого начала эксплуатации поездов на самом высоком техническом уровне и с удовлетворительными экономическими показателями. Использование оборудования, предназначенного для работы с подвижным составом, его узлами и

детальными определенными конструкциями, значительно повышает эффективность сервиса.

Компания Alstom выполняет фирменное техническое обслуживание поездов Pendolino в нескольких депо с применением совершенно новых технологических решений, отличных от тех, которые использовались в 1970-е годы на Британских железных дорогах [327]. Суть новшеств состоит в том, что объектом обслуживания является не отдельный вагон, а поезд целиком как единая система, так что персонал в общей сложности имеет дело не с 470 вагонами, а с 53 поездами, причём набор оборудования в одном из вагонов поезда не одинаков с набором в любом другом. Распределение оборудования по всему поезду означает, что неисправность в одном вагоне может произойти по причине отказа совсем в другом. Отправить поезд в эксплуатацию, уменьшив число вагонов за счёт изъятия неисправных, в данном случае уже нельзя.

Решение Alstom поставить все депо под единый контроль изменило порядок и сроки определения эксплуатационной готовности поездов. При старом положении, если в депо имелся поезд, не готовый в утренние часы, но с вероятностью готовности в середине дня, его могли оставить в резерве до следующего утра. Требования по обеспечению высокой готовности к эксплуатации и усилению контроля за деятельностью депо со стороны Alstom означали, что подобные ситуации впредь стали невозможными.

Менеджеры Alstom распределяют объёмы выполняемых работ между всеми депо с учётом необходимости соблюдения графика движения поездов и внесения изменений для того, чтобы каждый поезд завершал рабочий день в конкретном депо, предназначенном для его обслуживания именно в это время, и там же оказались необходимые запасные части и узлы.

По состоянию на середину 2009 года в распоряжении Национального общества железных дорог Франции (SNCF) находилось 450 высокоскоростных поездов TGV, 1300 электропоездов, 1100 дизель-поездов, 1600 электровозов, 1400 тепловозов, 1600 мотовозов, 4900 пассажирских вагонов и 53000 грузовых и служебных вагонов. В 39 ремонтных депо и 70 пунктах технического

обслуживания были заняты 24000 человек [263].

При планировании расходов транспортных компаний принято считать, что на техническое обслуживание подвижного состава в течение всего срока службы затрачиваются средства, превышающие в 2 раза цену закупки. Таким образом, техническое обслуживание является достаточно прибыльным бизнесом, на котором можно заработать больше, чем на изготовлении подвижного состава.

В соответствии с регламентом SNCF имеется пять ступеней технического обслуживания подвижного состава. Техническое обслуживание 1-й ступени проводится машинистом локомотива и включает в себя, например, проверку устройств безопасности. При техническом обслуживании 2-й ступени подвижной состав не изымают из оборота, а только лишь проверяют, проводят мойку и очистку на станционном или запасном пути. При техническом обслуживании 3-й ступени подвижной состав отправляют в ремонтные мастерские или депо, где, например, меняют тормозные накладки. При техническом обслуживании 4-й ступени речь идет об общей ревизии с обновлением интерьера. При техническом обслуживании 5-й ступени могут вноситься конструктивные изменения и доработки в соответствии с последними техническими требованиями.

Процесс технического обслуживания подвижного состава предусматривает профилактические и восстановительные мероприятия. Структуры, отвечающие за техническое обслуживание, стремятся по возможности проводить плановые работы, так как при этом значительно сокращаются затраты. Техническое обслуживание должно проводиться в промышленных условиях, что также сокращает эксплуатационные расходы. Важной задачей было также продление интервалов между работами по техническому обслуживанию. На TGVAtlantique в 1999 г. максимальный пробег между работами по техническому обслуживанию составлял 240 тыс. км или 7 месяцев, а затем 480 и 960 тыс. км. В 2009 г. эти интервалы в зависимости от вида подвижного состава увеличились до 450 тыс. км или 10 месяцев, до 900 тыс. и 1,8 млн км.

Другой возможностью снижения расходов на текущее содержание является повышение эффективности работы персонала. В связи с этим необходимо

повышать качество организации труда. Опыт недавнего прошлого показывает, что депо, рассчитанные на обслуживание в течение длительного времени больших парков однотипного подвижного состава, не рентабельны. Кроме того, вследствие высоких темпов технического развития железнодорожной отрасли, оператор, приобретающий новый подвижной состав, не может быть уверенным в том, что через несколько лет он сможет пополнить свой парк поездами этого же типа [314].

На ситуацию с техническим обслуживанием и ремонтом подвижного состава Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB) оказывают влияние несколько факторов: все ужесточающаяся конкуренция, растущее ценовое давление, избыток производственных мощностей в общеевропейском масштабе, интенсификация эксплуатации подвижного состава, проявляющаяся с каждой сменой графика, уменьшение продолжительности простоя и т. п. На этом фоне усиливается стремление к лучшему использованию имеющихся ресурсов и повышению производительности [301].

С учётом конкуренции отделение пассажирских перевозок SBB выбрало систему Kaizen, которую компания Toyota (Япония) применяет и совершенствует в течение уже более 30 лет (слово «kaizen» в переводе с японского означает «улучшение хорошего»). Система включает методы и средства для систематической идентификации и устранения излишних непроизводительных расходов и сосредоточения имеющихся ресурсов на деятельности, приносящей дополнительные доходы. Предполагается продолжить проводящуюся на железных дорогах Швейцарии более 100 лет политику улучшения ситуации в сфере технического обслуживания и ремонта подвижного состава «малыми шагами», что позволяет более гибко реагировать на изменения рыночной конъюнктуры. Считается, что путём соответствующего обучения персонала и внедрения системы Kaizen возможно увеличение эффективности производства на 25 – 30 %.

Вместе с тем система Kaizen требует повышения производственной культуры, изменения мышления и полной поддержки на всех уровнях

менеджмента. Только при соблюдении этих условий осуществим процесс улучшений.

В США текущий ремонт вагонов проходит в специализированных участках вагонных депо. Вместе с тем полностью отсутствует система планово-предупредительных ремонтов. Текущий ремонт вагонов производится путем агрегатной замены вышедших из строя узлов. Если вагон не попадает в текущий ремонт в течение пяти лет, то проводится плановая проверка его тормозной системы. В том случае, когда стоимость ремонта превышает 10 тыс. дол., совместно с собственником принимается решение о дальнейшем использовании вагона [97].

Таким образом, в результате анализа особенностей технического обслуживания и ремонта подвижного состава железных дорог ведущими зарубежными компаниями, определены основные тенденции в этой области, которые возможно использовать на отечественных предприятиях по ремонту подвижного состава с учётом специфики нормативной базы и особенностей технологии ремонта.

1.3 Возможные методы организации ремонта вагонов

1.3.1 Стационарный метод ремонта вагонов

В настоящее время на вагоноремонтных предприятиях используются две принципиально разные формы организации производства: стационарная и поточная.

Более примитивным является стационарный метод. При стационарном методе ремонта весь комплекс работ выполняется как правило на одном рабочем месте. Вне этого места производятся только те операции, которые нуждаются в применении специального оборудования. Этот метод характеризуется низкой производительностью и вследствие этого большой продолжительностью ремонтного цикла. Можно выделить две разновидности стационарного метода ремонта: стационарно-бригадный и стационарно-узловой [306].

Стационарно-бригадный метод основан на принципе концентрации

операций процесса, выполняемых на одном месте. При этом методе весь цикл работ по ремонту вагонов и его частей выполняется последовательно на одной позиции одной бригадой универсальных исполнителей. Все узлы и детали, снятые с вагона, после ремонта устанавливаются на тот же самый вагон.

Стационарно-узловой метод основан на делении операций, т.е. дифференциации процесса на отдельные операции по технологическим узлам. Поэтому в этом случае весь цикл ремонтно-сборочных операций разделяется на узловую и общую сборку. Это позволяет за счёт уплотнения и параллельности операций сократить длительность работ. В связи с этим такой метод ремонта получил большее признание, чем стационарно-бригадный.

Однако обе эти разновидности стационарного метода ремонта имеют недостатки, связанные с потребностью в высококвалифицированных исполнителях и в специальных средствах механизации.

При стационарном методе ремонта вагон не надо перемещать, так как все работы производятся на одном месте. Стационарный метод очень прост в реализации, но он является непроизводительным, так как не позволяет на одной позиции использовать весь необходимый комплекс технологического оборудования: от моечной машины до окрасочной и сушильной камер. Единственно, пожалуй, его позитивным качеством является полная независимость от ремонта остальных вагонов, т.е. объект ремонта будет ремонтироваться ровно столько времени, сколько нужно. Хотя в условиях единого железнодорожного пути для подачи-выдачи вагонов, а так спроектированы все вагонные депо, указанная выше «независимость» приобретает зависимый характер. На рис. 1.3 представлена структурная схема вагонсборочного участка с использованием стационарного метода ремонта вагонов.

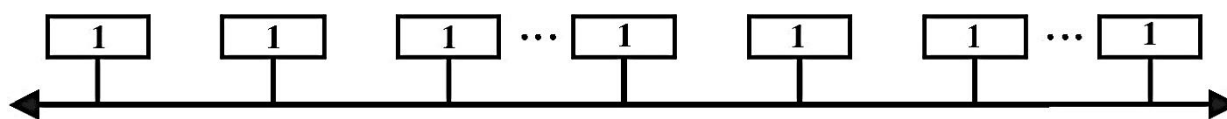


Рисунок 1.3 – Структурная схема размещения стоек при стационарном методе ремонта вагонов

При существующих вариантах организации вагоноборочных участков в депо большинство предприятий предпочитает использовать стационарный метод ремонта вагонов. Этот метод является весьма неэффективным, так как он не способствует росту производительности труда. Только при разделении операций и специализации позиций можно добиться высокой производительности труда и повышения качества ремонта.

1.3.2 Поточный метод ремонта вагонов

1.3.2.1 Жёсткий поток

В отличие от стационарной формы производства, поточная форма имеет целый ряд неоспоримых преимуществ. Особенно это видно при массовом производстве новых изделий.

В общем случае под потоком подразумевается перемещение или передача между элементами системы любого вида ресурса [101]. В нашем случае этим ресурсом являются ремонтируемые вагоны.

Согласно [73] под поточным методом ремонта понимается «метод ремонта, выполняемого на специализированных рабочих местах с определёнными технологической последовательностью и ритмом».

Как правило, поточной называется такая форма организации производства, при которой специализированные позиции располагаются в строгой последовательности с принятым технологическим процессом, а предметы труда постоянно перемещаются между этими позициями до полного завершения цикла. Такой метод носит ещё название «поточно-предметный». Возможен вариант, когда предметы труда находятся на месте, а перемещаются только исполнители. Здесь мы имеем дело с «поточно-бригадным» методом организации производства. Любой поточный метод даже в самой простой своей реализации является более эффективным по сравнению с непоточным, так как позволяет за счёт специализации позиций и оснащения их необходимым технологическим оборудованием повысить производительность труда.

«Классический» поток в идеале предусматривает одновременное перемещение всех объектов через одинаковые промежутки времени, равные

такту. Вместе с тем, необходимо знать, что поток при производстве новых изделий и поток при ремонте изделий – это не одно и то же. Если трудоёмкость изготовления новых изделий является вполне детерминированной величиной, то трудоёмкость ремонта изделий носит вероятностный характер и может изменяться в широких пределах. Эта особенность обязательно должна учитываться при создании поточного ремонтного производства. Слепой перенос поточных методов из машиностроения и приборостроения в ремонтные отрасли совершенно не приемлем.

В настоящее время возможно несколько разновидностей поточного метода ремонта вагонов. Одним из них является поточная линия с «жесткими» связями между позициями (или «жесткий» поток).

На рис. 1.4 представлена структурная схема поточной линии с «жесткими» связями между позициями.

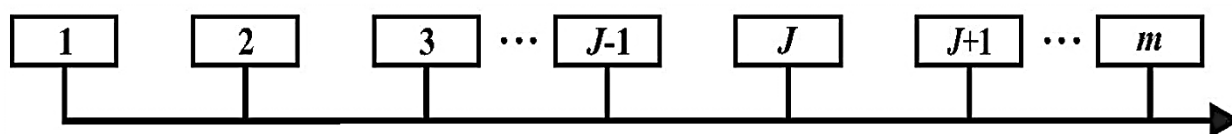


Рисунок 1.4 – Структурная схема поточной линии с «жесткими» связями между позициями

При таком методе ремонта все вагоны располагаются на одной колее и перемещаются все одновременно. Главным недостатком «жесткого» потока при ремонте вагонов явилось постоянное несоблюдение регламентированного такта. Из-за того, что все вагоны отличаются очень большим разнообразием ремонтных работ, время выполнения которых находится в широком диапазоне, вагоноремонтное производство носит вероятностный характер. Попытка добиться синхронизации времени выполнения ремонтных работ на позициях поточных линий явилась «камнем преткновения». При «жесткой» структуре поточной линии постоянно возникают ситуации, когда на одних позициях вагоны уже отремонтированы, а на других – ремонт ещё продолжается. Поэтому рабочие и оборудование тех позиций, на которых ремонт уже завершён, начинают простаивать по причине того, что не поступают новые объекты ремонта. Таким

образом, имеет место большая потеря рабочего времени, которая отражается на производительности всей поточной линии.

Таким образом, основная проблема, возникающая при организации поточно-конвейерных линий (ПКЛ) ремонта вагонов в существующих депо, связана с соблюдением «жёсткого» такта. Для этого необходимо, чтобы выполнение ремонтных операций на всех позициях оканчивалось одновременно. Поэтому требуется точная синхронизация времени выполнения ремонтных работ между отдельными позициями линии, чего достичь на практике не представляется возможным.

Дополнительным подразделением к «жёстким» поточным линиям, как правило, является организация подготовительных участков. Цель этих участков заключается в выполнении части ремонтных работ на вагонах с повышенными объёмами работ и доведением их до «нормы». После этого вагоны могут поступать на поточную линию.

Вагоноремонтная среда, даже при одном и том же типе ремонтируемых вагонов, весьма разнообразна. Трудоёмкости ремонтируемых вагонов варьируют в очень широких пределах. Это моментально сказывается на работе существующих «жёстких» ПКЛ, которые очень чувствительны к любому нарушению принятого такта линии. Как показывает многочисленный опыт, добиться чёткой синхронизации работ из-за огромного количества случайных факторов, присущих ремонтной среде и влияющих на трудоёмкости ремонта вагонов, не представляется возможным. Это приводит к тому, что на одних позициях работы ещё не закончены, а на других – рабочие и оборудование уже простаивают. Поэтому многие вагонные депо возвращаются к стационарному методу ремонта вагонов, который, хотя и менее производительный, но не нуждается ни в каких особых мероприятиях, связанных с его организацией.

При «жёсткой» структуре потока, когда путь движения предметов труда заранее predetermined, т. к. они движутся в «одной связке» строго по одному и тому же маршруту, естественно, что архиважная роль отводится соблюдению регламента времени выполнения ремонтных операций на каждой позиции.

Из теории надёжности хорошо известно, что наименее надёжной является система, состоящая из последовательно соединённых элементов. Отказ любого элемента в такой цепи приводит к отказу всей системы в целом. Нарушение регламентированного такта на одной из позиций по сути дела и является отказом всего потока. Такой подход, когда изначально создаётся «жёсткая» система, состоящая из последовательно соединённых элементов, а потом разными методами стараются заставить её надёжно работать, не может являться примером правильного решения.

При создании поточно-конвейерных линий с жёсткими связями между позициями не была достаточно хорошо изучена природа вагоноремонтного производства, и совершенно не было взято во внимание то обстоятельство, что трудоёмкости ремонтных работ на вагонах могут сильно варьировать даже при выполнении одних и тех же операций. В этом заключается основное отличие ремонтных работ от сборки на конвейере нового изделия в машиностроении.

Вместе с тем проблема не соблюдения жёсткого такта на конвейерах даже в условиях производства новых изделий также существует. И связано это со многими факторами и, в первую очередь, с психофизиологическими особенностями человека. Человек, например, не может в течение всей смены работать с одной и той же интенсивностью. В условиях же ремонтного производства, как мы уже отмечали, появляется ещё целый ряд дополнительных факторов, влияющих на ритмичную работу поточно-конвейерных линий.

1.3.2.2 Полужёсткий поток

Кроме «жёсткого» потока, который был принят повсеместно за основу при организации вагоноремонтного производства, существуют и другие разновидности поточного производства.

В качестве одного из решений, повышающих пропускную способность поточных линий и не требующих больших капитальных вложений, было предложено, например, перейти от «жёсткого» потока к «полужёсткому» [211]. Суть этого предложения сводилась к тому, чтобы вместо одного грузоведущего конвейера, осуществляющего одновременную перестановку всех вагонов между

позициями, перейти к «цепочке» отдельных конвейеров, каждый из которых связывал бы только две соседние позиции (рис. 1.5). Такое решение позволяло внедрить некоторые элементы гибкости, хотя и не решало всю проблему в целом. При моделировании работы таких поточных линий на компьютерах было установлено, что их пропускная способность по сравнению с «жёстким» вариантом возрастает на 5 – 8 % и сокращается продолжительность времени пребывания вагонов в ремонте.

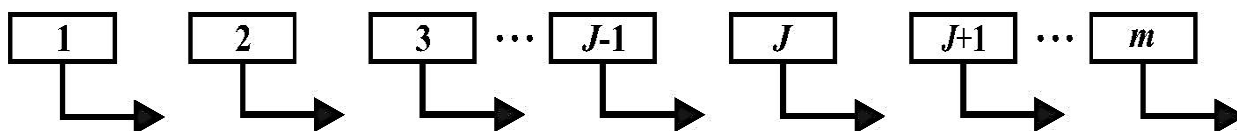


Рисунок 1.5 – Структурная схема поточной линии с «полужёсткими» связями между позициями

Вместе с тем, такая организация ремонта также не позволяет реализовать все преимущества поточной формы организации производства из-за различной трудоёмкости ремонтных работ на вагонах. В этом случае связь между позициями потока продолжает оставаться относительно жёсткой и поэтому она не позволяет осуществить многовариантный сценарий перемещения каждого вагона. Продолжительность нахождения каждого вагона в ремонте продолжает находиться в зависимости от простоя остальных вагонов.

Таким образом, основной проблемой («узким местом») «жёсткого» и «полужёсткого» потоков является сильная зависимость между перестановками вагонов с одной позиции на другую. И хотя во втором случае удаётся немного сгладить эту зависимость, суть от этого всё равно существенно не меняется. Эти потоки представляют собой многофазные одноканальные системы массового обслуживания (вагоны движутся между позициями друг за другом по одной и той же колее), т. е. системы вытянуты в одну линию. Поэтому на практике они так и называются: «поточные линии».

1.4 Поточный метод как высшая стадия развития производства

1.4.1 Предпосылки появления поточного метода организации производства

Наибольшее количество великих изобретений, созданных человечеством, относятся, как правило, к области техники. Испокон веков технические усовершенствования позволяли революционизировать производство, многократно повышая производительность труда. Но «изобретение», о котором идёт речь в данной работе, имеет совсем другую природу – оно не совсем из области техники и является по существу тем, что сегодня принято называть научной организацией труда.

Оказалось, что эта область отношений, на которую долгое время не обращали должного внимания, таит в себе неограниченные возможности и может произвести в промышленности революцию, равную по своему значению внедрению паровой машины или электрического двигателя.

Поточные методы возникли в связи с дифференциацией технологических операций при производстве изделий. Известно, чтобы повысить эффективность общественного производства, его необходимо максимально разделить. Разделение всего технологического процесса на составляющие части позволяет значительно поднять производительность труда. Ещё Декарт в своём втором правиле писал, что необходимо «делить каждую из рассматриваемых мною трудностей на столько частей, сколько потребуется, чтобы лучше их разрешить» [80].

Сложная задача (технологический или производственный процесс) расчленяется на простые задачи, решения которых уже известны или легко могут быть найдены. Для повышения производительности труда каждая операция выполняется с применением специальных механизмов и оборудования. Таким образом, разделение всего технологического процесса на составляющие части позволяет значительно поднять производительность труда.

Пример, уже давно ставший хрестоматийным, связанный с производством булавок, приводил ещё Адам Смит. Рабочий, изготавливающий булавки самостоятельно (без специализации операций), мог за день изготовить только

одну булавку. Но при специализации операций, когда «один рабочий тянет проволоку, другой выпрямляет её, третий обрезает, четвёртый заостряет конец, пятый обтачивает один конец для насаживания головки», значительно увеличивается производительность труда. Так, например, десять рабочих, специализированных на выполнении отдельных операций, могут за день изготовить 48000 булавок [312].

В настоящее время никакой альтернативы, с точки зрения эффективности, поточному методу нет. Просто поточные методы очень многогранны, и не все их потенциальные возможности используются в полную меру.

Человеческий труд, орудия труда и предметы труда в поточном производстве могут найти такие сочетания, которые обеспечат наилучшие технико-экономические результаты.

1.4.2 Основные понятия поточного производства

В общем случае под потоком будем понимать перемещение или передачу между элементами (подсистемами) системы вещества, энергии, ресурса, а также дискретных объектов, которые могут быть носителями упомянутых выше ингредиентов [101].

В поточном производстве можно выделить три группы параметров, которые будут отражать следующие его характеристики: структуру потока и расположение потока в пространстве, работу потока во времени, производительность потока.

В общем случае поточное производство характеризуется следующими основными признаками: дифференциация всего технологического процесса на одинаковые по времени операции; специализация рабочих мест и установление рациональной их последовательности; возможность межоперационной передачи изделий между рабочими местами; высокая степень механизации и автоматизации технологических процессов. Остановимся подробнее на основных понятиях поточного производства в целом.

Под *структурой поточной линии* в общем случае следует понимать состав входящих в неё рабочих мест (технологических участков, позиций, модулей), транспортных средств, управляющих устройств (систем) и производственные

взаимосвязи между ними. Наиболее сложной является структура поточного производства на уровне цеха (предприятия), под которой понимается состав поточных линий различного назначения, робототехнических комплексов, гибких автоматизированных модулей, транспортно-накопительных, управляющих и других систем и форм, а также технологических взаимосвязей между ними.

Выбор типа оборудования для поточной линии предопределяется характером технологического процесса, составом, сложностью и назначением входящих в него операций; габаритами, массой изготавливаемого изделия и требованиями, предъявляемыми к его качеству. При комплектовании поточных линий желательно добиться прямолинейного расположения оборудования, если позволяют производственные мощности и тип выбранных транспортных средств.

Выбор рациональной структуры и продуманная компоновка являются важной предпосылкой разработки оптимальных планировок поточных линий. Основным структурным элементом поточного производства является **поточная линия**, которая представляет собой совокупность рабочих мест (позиций), расположенных строго по ходу технологического процесса. Под **рабочим местом** будем подразумевать часть производственной площади, оснащенную всем необходимым технологическим оборудованием для выполнения отдельных операций производственного процесса и укомплектованную одним или группой рабочих.

Далее осуществляется **планировка поточной линии**, начиная её с разработки схем рабочих мест по всем операциям и выбора рациональных транспортных средств. В результате общей компоновки поточной линии определяется её внешний контур, способ расстановки оборудования, расположение транспортных средств, средств промежуточного и окончательного контроля, мест для заделов. Планировка поточных линий должна обеспечивать прямооточность и наиболее короткий путь движения изделия, рациональное использование производственных площадей, удобство транспортировки заготовок и деталей к рабочим местам, к местам обслуживания и выполнения ремонтов.

Оценка оптимальности варианта **планировки линии** производится по таким

техничко-экономическим показателям, как доля площади, занятой непосредственно технологическим оборудованием, выпуск продукции, приходящийся на 1 м² производственной площади (или 1 производственный модуль), длина пути, проходимого за смену рабочим при обслуживании им нескольких единиц оборудования, и др.

Выбор организационных форм поточных линий определяется тактом работы линии, степенью синхронизации операций технологического процесса, уровнем загрузки рабочих мест на линии.

Под **тактом** понимается промежуток времени между последовательными выпусками изделий. Обратная такту величина называется ритмом. Под **ритмом** понимается количество изделий, сходящих с конвейера в единицу времени.

По способу поддержания ритма различают поточные линии с **регламентированным** и **свободным** ритмом. Линии с регламентированным ритмом характерны для непрерывно-поточного производства. Здесь ритм поддерживается с помощью конвейеров или сигнализации. Линии со свободным ритмом не имеют технических средств, строго регламентирующих ритм работы. Эти линии применяются при любых формах потока, и соблюдение ритма в этом случае возлагается непосредственно на работников данной поточной линии.

Чтобы обеспечить единый такт или ритм поточной линии, при организации поточного производства осуществляется **синхронизация**, т. е. производительность выравнивается по всем операциям технологического процесса. Синхронизация означает достижение равенства или кратности времени выполнения операций технологического процесса установленному такту их работы и является важной предпосылкой непрерывного функционирования линий. К наиболее распространенным **способам синхронизации** относятся: расчленение операции на переходы и комбинирование различных вариантов порядка их выполнения или группирование переходов нескольких операций, концентрация операций, введение параллельных рабочих мест на операциях, длительность которых кратна такту, интенсификация режимов работы, совмещение времени выполнения нескольких переходов, рационализация рабочих приёмов, совмещение времени

машинной и ручной работы и др.

Под *механизацией* технологических процессов понимается применение энергии неживой природы. Благодаря механизации можно заменить труд человека там, где непосредственно изменяется состав и строение объекта переработки, но рабочий должен принимать непосредственное участие в управлении технологическим оборудованием, контролировать его работу, выполнять пуск, наладку и остановку оборудования.

Под *автоматизацией* технологических процессов понимается применение энергии неживой природы для выполнения производственных операций и управления процессом без непосредственного участия людей. В автоматизированном технологическом процессе рабочий участвует в наладке и пуске оборудования только при нарушениях заданного режима эксплуатации оборудования.

Механизацию и *автоматизацию* технологических процессов проводят с целью замены тяжелого и монотонного физического труда, когда имеются вредные условия на предприятии и когда обеспечивается экономический эффект в результате повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемой продукции.

Что касается вагоноремонтного производства, то здесь технологические процессы характеризуются большим разнообразием, что вызывает определённые трудности в комплексной механизации и автоматизации.

Выбор оптимального варианта технологического процесса – сложный этап проектирования потока, поэтому он должен создаваться на основе заранее отработанных технологических процессов для каждого этапа производства.

Технологический процесс для потока следует предусматривать таким, чтобы в его составе было наименьшее возможное число ремонтных позиций и универсального оборудования. Это позволит разместить поток на наименьшей площади, что даст возможность уменьшить производственный объём здания, а также сократить затраты на оборудование, так как один сложный агрегат зачастую стоит дороже, чем несколько более простых.

Если продолжительности времени выполнения работ на позициях, входящих в общий поток, равны между собой, то можно применять сквозную однопоточную компоновку с транспортными устройствами, передающими полуфабрикат от одной позиции к другой, как это имеет место в машиностроении. Если же модули по продолжительности работ существенно отличаются друг от друга, то следует однозначно применять многопоточные линии с параллельной работой однотипных модулей в сходящихся или расходящихся потоках. Для этого необходимо применять специальную компоновку позиций и трансбордерные тележки. В данном случае вследствие технологических причин возникнут независимые участки поточных линий. Каждый из участков должен иметь систему управления, связанную с другими участками, а также независимые системы автоматической транспортировки изделий и их ориентации. Таким образом, поток с различной продолжительностью рабочего цикла на его позициях по существу представляет собой несколько последовательно-параллельных поточных линий, связанных друг с другом единым технологическим процессом.

При большом числе взаимосвязанных машин поточную линию следует делить на участки с промежуточными накопителями так, чтобы время простоев, а, следовательно, и потери производительности на этих участках были одинаковыми. Количество, частота и причины простоев могут быть различными. Они зависят от конструктивного совершенства машин и степени надежности их работы, технического состояния, уровня организации производства, а также ещё целого ряда случайных причин.

Таким образом, технологические линии состоят из комплексов оборудования. Компоновка линии – это, прежде всего, корректировка технологии, модернизация оборудования, создание средств управления технологическими процессами, связывающими их в один большой процесс (технологическую систему), а не простое соединение машин и аппаратов в цепочку с помощью конвейеров разных типов.

Под поточным производством в общем случае подразумевается *прогрессивная форма организации производства, основанная на ритмичной*

повторяемости согласованных во времени технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах, расположенных по ходу следования технологического процесса изготовления одного или нескольких изделий. Применение поточных методов обеспечивает высокую степень организации, а, следовательно, и эффективности производства. Очевидные преимущества поточного производства заставляют искать технические и организационные пути расширения областей его использования.

Обычно в зависимости от имеющихся площадей планировка поточных линий может иметь различную конфигурацию: прямолинейную, круговую, П-, Г-, Z-образную и т. д. При этом исходят из соображений наиболее рационального использования производственных площадей и объемов зданий, сокращения протяженности маршрутов движения транспортных средств и перемещения рабочих, обслуживающих несколько единиц оборудования или операций. В этом состоит проявление принципа *прямоточности*. Принцип *ритмичности* проявляется в ритмичном выпуске продукции с поточных линий и в ритмичном повторении работ на рабочих местах. На каждом рабочем месте поточной линии выполняется одна постоянно повторяющаяся операция или несколько сходных операций, чередующихся через определенные интервалы времени. Ритм является основополагающим параметром при расчете всех видов поточных линий.

Сформулируем основные преимущества поточного производства:

– *повышение производительности труда*, что является результатом механизации и автоматизации операций (включая транспортные), внедрения эффективных технологий и специальных быстродействующих средств технологического оснащения, оптимальной планировки рабочих мест, приобретения рабочими навыков выполнения повторяющихся операций;

– *сокращение длительности производственного цикла*, что становится возможным в результате специализации рабочих мест, бесперебойного их обслуживания в соответствии с ритмом, устранения перерывов в движении изделий по рабочим местам, сокращения расстояния и времени транспортировки, запараллеливания процессов и совмещения операций;

– *уменьшение заделов незавершенного производства и ускорение оборачиваемости оборотных средств* в результате сокращения длительности производственного цикла;

– *повышение качества продукции*, снижение брака как результат улучшения технологической и трудовой дисциплины, применение регламентированного специализированного обслуживания рабочих мест, технического обслуживания и ремонта оборудования, стандартизации и контроля качества продукции;

– *снижение себестоимости продукции*, что является результатом всего комплекса мер по рациональной организации производственного процесса и сокращения затрат всех видов ресурсов.

Широкое распространение поточных методов производства объясняется их высокой эффективностью. В общем случае для поточного производства характерны в первую очередь следующие принципы организации производственного процесса: *специализации, прямоочности, непрерывности, параллельности и ритмичности*.

Принцип специализации в условиях поточного производства воплощается в создании предметно-замкнутых участков в виде специализированных поточных линий, предназначенных для обработки одного закреплённого за данной линией изделия или нескольких технологически родственных изделий.

Поэтому каждое рабочее место линии должно быть специализировано на выполнении одной или нескольких закреплённых за ним операций.

При закреплении за линией одного изделия она называется *однопредметной*. Такие линии характерны для массового производства.

При закреплении за линией нескольких изделий (в чём может возникнуть необходимость при незначительной трудоёмкости обработки либо при небольших программных заданиях) линия является *многопредметной*. Такие линии характерны для серийного производства. За многопредметными линиями изделия закрепляют с таким расчётом, чтобы их можно было обрабатывать с минимальными потерями времени на переналадку оборудования при достаточной

загрузке рабочих мест и полном совпадении операций.

Принцип прямоточности предусматривает размещение оборудования и рабочих мест в порядке следования операций технологического процесса.

Первичным производственным участком является поточная линия. Различают **простую (жесткую)** цепочку рабочих мест на линии, где на каждой операции имеется только одно рабочее место (модуль), и **сложную (гибкую)** при наличии на операциях двух или нескольких мест-дублеров.

Принцип непрерывности на поточных линиях осуществляется в виде непрерывного движения изделий по операциям при непрерывной (без простоев) работе рабочих и оборудования. Подобные линии называются **непрерывно-поточными**.

Принцип параллельности применительно к поточным линиям проявляется в параллельном виде движения партий, при котором изделия передаются по операциям поштучно либо небольшими партиями. Следовательно, в каждый данный момент на линии обрабатывается несколько единиц данного изделия, находящихся на разных операциях процесса. При строгой пропорциональности достигается полная и равномерная загрузка рабочих мест на линии.

Принцип ритмичности в условиях поточного производства проявляется в ритмичном выпуске продукции с линии и в ритмичном повторении всех операций на каждом ее рабочем месте.

Поток в ремонтном производстве имеет свои особенности. Так, например, в вагоноремонтном производстве потоки имеют небольшое количество позиций. Учитывая, что во время технологических перемещений вагонов между позициями потока ремонтные работы не производятся, то таким образом удлиняется продолжительность производственного цикла. В связи с этим, естественно, чтобы количество перемещений было бы как можно меньшим. Поэтому и количество позиций тоже должно быть минимальным.

Обычно каждая позиция связана с технологическим оборудованием, при помощи которого выполняется основная часть ремонтных операций. Это могут быть машины разных типов: вагоноремонтные, моечные, окрасочные,

сушильные, диагностическое оборудование, грузоподъемное оборудование, кантователи, конвейеры и т. п. Кроме того, на позиции могут осуществляться дополнительные работы, не требующие громоздкого технологического оборудования, а выполняемые вручную или с применением необходимой оснастки. Связанные, например, со снятием и постановкой автосцепных устройств, поглощающих аппаратов или крышек люков полувагонов и т. п.

Вагоноремонтные потоки, позиции которых не оборудованы специальным оборудованием, а только различаются комплексами операций, выполняемыми вручную, являются по сути формальными потоками.

Для вагоноремонтного производства нет нужды в сильной дифференциации технологических операций. Обычно весь технологический процесс дифференцируется на группы операций, имеющих привязку к специальному технологическому оборудованию.

Поточное производство создает предпосылки для сокращения брака и повышения качества продукции. Уже сама по себе прогрессивная технология, базирующаяся на широком применении специального оборудования и совершенных приспособлений, является значительным фактором сокращения брака и повышения качества продукции. Кроме того, большую роль играют устойчивые условия работы на каждом рабочем месте поточной линии. Поток дисциплинирует рабочих и повышает индивидуальную ответственность каждого из них за качество выполняемых работ. В силу сопряженности работы отдельных рабочих здесь чрезвычайно трудно скрыть брак.

В поточном производстве в результате уменьшения длительности технологического цикла и доведения до минимума межоперационного времени резко сокращается длительность производственного цикла.

1.4.3 Обзор поточных методов производства в других отраслях промышленности

Наибольшего распространения поточные методы производства первоначально получили в машиностроении и приборостроении. Из этих отраслей они уже потом распространились и на другие отрасли промышленности, в том

числе и на ремонтные. Среди всего обилия работ, касающихся вопросов организации и проектирования поточного производства, можно выделить следующие работы [4, 7, 16, 18, 19, 21, 60, 63, 93, 99, 135, 226, 258, 267, 278, 320].

Впервые огромное значение правильной организации труда при массовом производстве автомобилей продемонстрировал на своих заводах выдающийся американский предприниматель и инженер Генри Форд [349]. Сила Форда заключалась в рациональной организации труда. Все процессы на его предприятиях, от отливки деталей до завинчивания мельчайшей гайки, были рационализированы до такого совершенства, какого до него никто и никогда не достигал. Производственный поток двигался от источников сырья к готовой машине, нигде не поворачивая назад. Поэтому уделим фордовским методам особое внимание.

Но своего совершенства поток сборки автомобилей достиг не сразу. Первоначально на заводе в Хайленд-Парке сборка автомобилей производилась при помощи рабочих бригад, которые передвигались по цеху с ручными тележками и подвозили к каждому автомобилю соответствующие части для сборки. Сборочные бригады переходили от одного автомобиля к другому и таким путём собирали весь автомобиль от начала до конца.

Форд решил изменить принцип работы. В усовершенствованной системе Форд оставил рабочих неподвижными, а материалы стали провозить мимо них вручную. Вскоре была устроена короткая линия для окончательной сборки машин, где части перемещались мимо рабочих с помощью механической силы. Эта система по мере дальнейшего усовершенствования превратилась в конвейер. Впервые опыт со сборочным путем был произведен в апреле 1913 года на сборке магнето. До этого один рабочий в течение девяти часов рабочего дня мог собрать от 35 до 40 магнето, то есть затрачивал на каждое около 20-ти минут. После введения конвейера время, затрачиваемое на сборку одного магнето, сократилось до 13-ти минут. Несколько дней Форд простоял возле работающего конвейера, наблюдая за каждым движением рабочих. Он заметил, что сборщикам приходится нагибаться во время работы из-за того, что конвейер располагается слишком

низко. Он остановил производство и велел поднять конвейер на 0,2 м. После этого время сборки одного магнето сократилось до 7-ми минут. Новые усовершенствования довели его до 5-ти минут. Не затрачивая средств на новые машины или материалы, одним только разложением процесса сборки на 45 простейших операций и передвижением материала мимо стоявших в достаточно удобной позе и неподвижных рабочих Форд добился поразительных результатов, увеличив производительность труда почти в 4 раза.

К негативной стороне следует отнести то, что рабочий в фордовском производстве превратился в настоящий придаток к машине. На конвейере во время работы он не мог сделать лишнего шага или движения. Инструменты его должны были располагаться так, чтобы ему не приходилось искать их или наклоняться за ними. Жёсткий ритм сборки воздействовал сильнее самых суровых надсмотрщиков. Благодаря ему, Форд добивался максимальных темпов, каких только можно было достичь без ущерба для качества работы.

На автомобильном транспорте поточный метод нашёл также применение при профилактическом обслуживании автомобилей. Впервые при обслуживании автомобилей поток был применён в 1928 году [136]. Вопросам исследования поточных линий при ремонте и техническом обслуживании автомобилей посвящены работы [15, 143].

Дальнейшим шагом на пути совершенствования поточных методов производства явились автоматизированные поточные линии. Но и это был ещё не предел. Простое совмещение станков-автоматов в единой поточной линии оказывалось часто экономически нецелесообразным. Это вызвано тем, что технологическая машина в процессе производства изделия совершает две основные и противоположные функции: технологическое движение (обработку заготовки) и транспортное движение (подачу заготовки в рабочую зону машины). Учитывая тот принцип, что поточная линия должна обладать качеством непрерывности технологического и транспортного движений, академик Л. Н. Кошкин предложил решение, при котором обработка изделий могла производиться в процессе их непрерывного транспортирования совместно с

обрабатывающим инструментом. Таким образом, получили развитие роторные и роторно-конвейерные линии [126]. Впервые роторно-конвейерные линии были применены для литья термопластов и сборочных операций.

Как прогрессивная форма организации производственного процесса, поточное производство является важным фактором непрерывного роста и совершенствования производства на базе высшей техники в целях обеспечения максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества.

В поточном производстве в связи со значительным снижением трудоёмкости продукции в результате механизации операций, использования высокопроизводительного оборудования, инструментов и приспособлений, а также специализации рабочих мест и их взаимной связанности сильно возрастает производительность труда. Поточное производство создаёт предпосылки для сокращения брака и повышения качества продукции. Уже сама по себе прогрессивная технология, базирующаяся на широком применении специального оборудования и совершенных приспособлений, является значительным фактором сокращения брака и повышения качества продукции. Кроме того, большую роль играют устойчивые условия работы на каждом рабочем месте поточной линии. Поток дисциплинирует рабочих и повышает индивидуальную ответственность каждого из них за качество продукции. В силу сопряжённости работы отдельных рабочих здесь чрезвычайно трудно скрыть брак. При поточном производстве в результате уменьшения длительности технологического цикла и доведения до минимума межоперационного времени резко сокращается длительность производственного цикла.

Высокая экономическая эффективность поточного производства находит своё обобщающее выражение в относительно более низкой себестоимости продукции. Снижение трудоёмкости изделий в поточном производстве обуславливает соответствующее уменьшение доли производственной зарплаты в себестоимости единицы продукции. Цеховые расходы хотя и возрастают по абсолютной своей величине в связи с повышением технического и

организационного уровня производства, но по относительной величине на единицу продукции уменьшаются вследствие значительного увеличения общего выпуска продукции. Сокращаются также затраты на основные материалы в себестоимости единицы продукции, что является результатом уменьшения отходов материалов благодаря более совершенному технологическому процессу. Сокращение потерь от брака приводит также к снижению себестоимости единицы продукции. Таким образом, себестоимость продукции в поточном производстве снижается по главным её составляющим.

Преимущества поточного метода производства обусловили широкое его внедрение в промышленность СССР. Широко были внедрены поточные методы в автомобильном, тракторном, сельскохозяйственном машиностроении, приборостроении, станкостроении, локомотиво- и вагоностроении, в обувной, швейной промышленности. На заводе «Калибр» освоено производство микрометров поточным методом. Широкое развитие получило поточное производство инструмента на инструментальных заводах. Поточный метод производства в несколько отличном виде, чем в промышленности, применяется также в строительстве – на стройках жилых домов и промышленных зданий.

Требования к технологическим процессам, оборудованию и его комплексам обуславливаются целью создания машинной технологии. Эта работа должна основываться на решении ряда принципиальных вопросов: определении оптимального варианта технологического процесса и деления потока на отдельные участки, подборе технологического оборудования, выборе транспортных устройств, пространственном размещении оборудования потока и т. п. Все эти задачи должны быть решены таким образом, чтобы при соблюдении всех требований к качеству продукции издержки производства были наименьшими и поток имел бы высокие технико-экономические показатели.

На многих передовых авиаремонтных заводах внедрены пульсирующие конвейеры, обеспечивающие поточный метод ремонта большой номенклатуры агрегатов и приборов. На авиаремонтных заводах созданы доки для ремонта и внеангарные доки для технического обслуживания тяжелых самолётов.

Методы организации поточного производства в промышленности зависят от характера продукции и масштабов её выпуска. Наиболее благоприятные условия для внедрения поточного метода имеются в массовом и крупносерийном производстве. На тех промышленных предприятиях, на которых изготавливаются изделия большой и разнообразной номенклатуры, нет необходимых организационных предпосылок для его широкого внедрения.

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелко-, средне- и крупносерийное производства. Для серийного типа производства характерно применение универсального оборудования со специальными приспособлениями и инструментом. В условиях универсального мелкосерийного производства это технологическое требование невыполнимо и приводит к устаревшему методу индивидуального ремонта, при котором технологическая система производства может быть нарушена и организована в любом виде, приемлемом для данной бригады ремонтников. При индивидуальном методе ремонта нарушение увязки отдельных фаз производства и синхронизации работы не приводит к остановке производства в целом, как это имеет место при поточном методе ремонта, а вызывает только удлинение сроков ремонта данной машины.

Для средне- и крупносерийного производств свойственно применение поточного метода ремонта. Технологическое оборудование в условиях серийного производства размещается смешанно – по групповому и поточному принципам. Уровень квалификации рабочих колеблется в широких пределах и с возрастанием серийности понижается.

Однако в ремонтном производстве на широкое внедрение этого метода оказывают влияние многочисленные случайные факторы, присущие ремонтной среде. Ремонт не может быть узкоспециализированным.

Автопредприятия, например, ремонтируют кузова автомобилей различных марок с неодинаковой изношенностью их узлов и деталей. Объёмы работ на

каждом кузове отличаются друг от друга и в большинстве случаев не могут быть определены заранее. Однако, несмотря на различия и особенности в конструкции кузовов, основные условия организации поточного метода ремонта являются общими для всех авторемонтных заводов. К общим условиям организации ремонта относятся все подготовительные работы, оборудование рабочих мест необходимыми ремонтными средствами, инструментами, приспособлениями, материалами, деталями, а также порядок расчёта постов на поточной линии. В США организованы также специализированный ремонт кузовов и окраска автомобилей поточным методом, несмотря на то, что многие специалисты за рубежом считают, будто при поточном методе ремонта кузова и окраски автомобиля нельзя обеспечить высокое качество ремонтных работ и в связи с этим хорошие заработки.

Вопросам создания гибких поточных производств посвящены работы [4, 24, 59, 60, 99, 110, 141, 142, 146, 155, 258, 282, 328, 366, 367].

Нет никаких сомнений в том, что организация поточного производства является одним из величайших изобретений XX века, благодаря которому человечество за последние сто лет получило невиданный прирост материальных благ. С его повсеместным внедрением промышленность развитых стран как бы вышла на новый, качественно другой уровень и оказалась через несколько десятилетий готовой к внедрению новых высоких технологий – всеобъемлющей механизации, автоматизации и роботизации производства, то есть всего того, что принесла научно-техническая революция 50 – 90-х годов прошлого века.

Таким образом, мы видим, что поточное производство может отличаться большим разнообразием форм и широким диапазоном организационно-технической гибкости. Почему же до сих пор при ремонте вагонов используется только один единственный вид потока – «жесткий»?

1.4.4 Гибкий асинхронный поток ремонта вагонов – дальнейший этап развития и совершенствования вагоноремонтного производства

Теоретические методы исследования организации ремонта грузовых вагонов за весь их период использования и выдаваемые при этом рекомендации

претерпели очень глубокие изменения и прошли длительный путь, охватывающий широкий спектр форм: от стационарного – до гибкого поточного.

В своё время при проектировании корпусов вагонных депо совершенно не было учтено то обстоятельство, что технологии меняются значительно быстрее, чем здания отслужат свой нормативный срок. В результате чего появились новые технологии, которые никак нельзя втиснуть в имеющиеся планировки уже построенных зданий.

Для нейтрализации главной негативной причины требуется внедрение новых адаптивных вагоноремонтных систем, а это, в свою очередь, требует использования новых оригинальных планировок. Для возможности индивидуального и надёжного перемещения каждого вагона между позициями ремонтного потока, не мешая при этом остальным вагонам, находящимся на потоке, также нужны оригинальные планировки вагоноремонтного участка, в корне отличающиеся от традиционных планировок существующих вагонных депо, предусматривающих довольно непрактичную систему перемещения вагонов.

Для «сглаживания» возможного разнообразия среды, которую ремонтируют (вагоны), должно быть противопоставлено и разнообразие среды, которая ремонтирует. Таким решением может стать мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный гибкий поток. Асинхронный гибкий поток может быть представлен в виде отдельных технологических позиций, специализированных на выполнении конкретных ремонтных работ, между которыми имеется многовариантная транспортная связь. Каждая позиция в свою очередь может включать в себя определённое количество модулей. Под «модулем» понимается ремонтное место, оснащённое технологическим оборудованием, укомплектованное определённым количеством исполнителей и предназначенное для размещения только одного вагона. Все модули одной позиции идентичны между собой и, следовательно, взаимозаменяемы. Чем больше времени вагон находится на позиции, тем и большее количество модулей должно быть на этой позиции. Такой поток за счёт использования специальных

архитектурно-транспортно-технологических решений позволяет перемещать вагоны с любого ремонтного модуля j -й позиции на любой освободившийся ремонтный модуль $(j+1)$ -й позиции. Структура такого потока хорошо адаптирована к особенностям ремонтного производства, и поэтому широкий разброс трудоёмкостей ремонтных работ на вагонах, не играет для него существенной роли. При этом никакой жёсткий такт не требуется, вагоны перемещаются индивидуально, в зависимости от окончания выполнения ремонтных работ на позициях. Каждый вагон будет находиться в ремонте ровно столько времени, сколько того потребует его техническое состояние. Транспортные устройства расположены таким образом, что позволяют беспрепятственно осуществлять индивидуальное перемещение всех вагонов, соблюдая при этом технику безопасности и не мешая работе технологического оборудования, расположенного на других позициях, а также производственному персоналу.

К преимуществам асинхронного гибкого потока относится то, что продолжительность пребывания каждого вагона в ремонте определяется в основном его техническим состоянием и не зависит (или мало зависит) от простоя остальных вагонов, как это имеет место при организации традиционных поточных линий. Покинуть позицию вагон может только в том случае, если весь комплекс работ, регламентированный для данной позиции, будет полностью выполнен. Учитывая то, что трудоёмкости ремонта вагонов даже одного и того же типа очень сильно отличаются друг от друга, то, естественно, что и простои их также будут разными. В связи с тем, что время пребывания вагонов на позициях гибкого потока не является строго детерминированным, как в случае с жёсткими потоками, когда работа конвейера привязана к величине заданного такта, то появляется возможность в едином потоке ремонтировать вагоны разных типов и даже производить разные виды ремонтов.

Все существующие на сегодняшний день на вагоноремонтных предприятиях поточные линии для ремонта вагонов подвержены одному существенному недостатку: повышенная чувствительность всей системы к нарушению такта.

Сбой хотя бы на одной из позиций приводит к сбою всей поточной линии. Это возникает из-за большого разброса трудоёмкостей ремонтных работ на позициях и невозможности завершать ремонтные работы на всех позициях в одно и то же время. Для соблюдения же такта необходимо, чтобы выполнение ремонтных операций на всех позициях оканчивалось бы одновременно.

Переход со стационарного метода ремонта на поточный при той же самой жёсткой связи между позициями потока вагоноборочного участка, ничего не меняет по существу, а создаёт только иллюзию потока, особенно если работы выполняются при помощи переносных ручных механизмов.

При работе на таких поточных линиях возникает противоречие, которое заключается с одной стороны в необходимости соблюдения регламентированного такта для полной загрузки исполнителей и оборудования, а с другой – в постоянной неравномерности трудоёмкостей выполняемых работ, вызванных вероятностной природой вагоноремонтного производства.

Вагоноремонтное производство имеет свои нюансы. Самая большая проблема, которая появляется при организации поточного вагоноремонтного производства в депо, – это синхронизация времени выполнения ремонтных работ на позициях поточной линии. Для соблюдения такта необходимо, чтобы выполнение ремонтных операций на всех позициях оканчивалось одновременно. Вместе с тем, из-за стохастического характера времени выполнения ремонтных работ, имеющего разброс в довольно широком диапазоне, эта задача не может быть решена в принципе.

Эту ситуацию необходимо максимально нейтрализовать. Борьба с её последствиями бесполезно. А нейтрализовать её можно за счёт снижения зависимости в перемещении вагонов, созданием гибкой транспортной системы.

Поэтому простое копирование поточных методов из машиностроения и приборостроения для использования их в ремонтном производстве нецелесообразно. Большая перспектива здесь видится в создании асинхронных многопредметных гибких потоков.

Известно, что чем выше уровень системности, тем система более стабильна

и лучше приспособлена к выполнению возложенных на неё функций [257].

Согласно принципу разнообразия [363], противостоять разнообразию среды, которую ремонтируют, может только разнообразие среды, которая ремонтирует. Одним из таких решений для среды, которая ремонтирует, является асинхронный гибкий поток.

Асинхронность потока свидетельствует о том, что вагоны перемещаются с одной позиции на другую не все одновременно, через регламентированные промежутки времени, а поочередно – по мере необходимости и возможности.

В первую очередь необходимо решить вопрос независимой (индивидуальной) транспортировки каждого вагона между позициями. Если будет решён этот вопрос, то будет и ликвидировано «узкое место» в работе потоков.

Это противоречие может быть решено, например, за счёт перехода на гибкую систему организации производства. Чтобы сделать пропускные способности позиций потока одинаковыми, совсем не обязательно заниматься строгой синхронизацией операций, надо просто изменить структуру потока. Это можно сделать за счёт перехода от многофазной одноканальной системы массового обслуживания (СМО) к многофазной многоканальной СМО.

Поэтому наиболее правильным решением будет использование асинхронного гибкого потока ремонта вагонов (АГПРВ) с индивидуальным перемещением каждого вагона. При таком потоке каждый объект с любого модуля (ремонтного места) j -й позиции может поступить на любой освободившийся модуль следующей $(j+1)$ -й позиции (рис. 1.6).

Разницу между полужёстким потоком и гибким потоком можно легко проиллюстрировать на примере сравнения трамвайной и троллейбусной системы организации движения. В случае поломки одного трамвая, блокируется движение всех остальных трамваев на линии, идущих сзади. В случае же поломки троллейбуса, следующий троллейбус легко сможет миновать препятствие путём обгона.

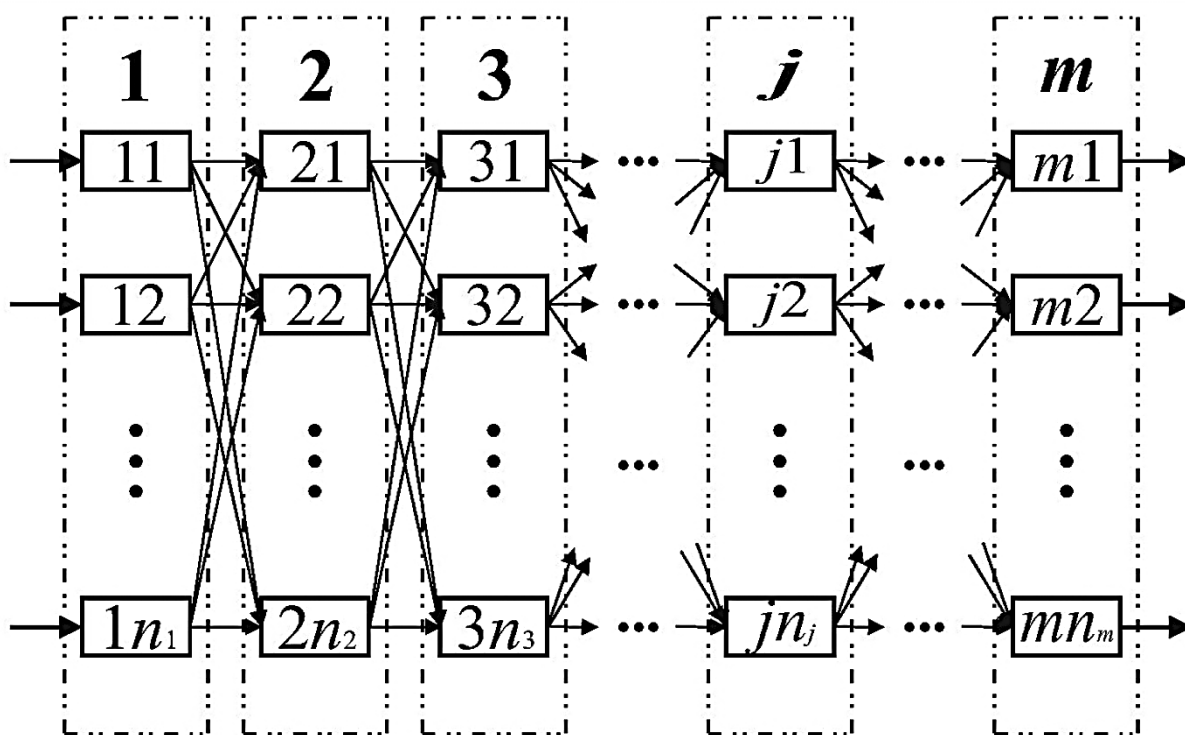


Рисунок 1.6 – Структурная схема асинхронного гибкого потока ремонта вагонов

Таким образом, противостоять вероятностной природе вагоноремонтной среды можно только за счёт адаптации потока к каждому ремонтируемому вагону в отдельности.

Нет сомнения, что в условиях деповского ремонта может быть отремонтирован вагон с любой степенью износа и с любыми повреждениями. Вопрос только в том, сколько потребуется времени для его ремонта. При нормальном темпе работы исполнителей время на выполнение разных объёмов работ будет также различным. Какой-то вагон будет дольше находиться на позиции, а какой-то – меньше. Для традиционных поточных линий характерна «жесткость» потока. При этом надо учитывать, что «жесткий» поток очень чувствителен к любым нарушениям установленного такта. «Жесткость» потока свидетельствует о том, что маршрут движения ремонтируемого вагона заранее predetermined и однозначен (вагоны перемещаются по одному и тому же маршруту, через одни и те же ремонтные позиции), а с другой стороны «жесткость» потока свидетельствует о том, что должен соблюдаться

регламентированный такт (рис. 1.4). Менее чувствителен к сбою такта «полужёсткий» поток, хотя маршрут движения вагонов для него также predetermined (рис.1.5). А ещё менее чувствителен – гибкий поток (рис. 1.6).

Впервые вопрос о возможностях реального использования гибких поточных линий для ремонта вагонов был поднят в теоретических работах днепропетровских учёных [87-89]. С середины 90-х годов и до настоящего времени появилось большое количество теоретических работ, в которых уже делается акцент на использовании в вагоноремонтном производстве гибких поточных линий [2, 12, 25, 29, 66-68, 125, 240, 288, 290, 343]. В этом списке особо следует выделить фундаментальную работу [343], в которой неоднократно подчёркивается идея, что в качестве эталонной технологии при новом строительстве вагонных депо необходимо использовать гибкие поточные линии. Указанные работы представляют новое направление в подходе к организации ремонта вагонов на потоке. Применение гибких поточных линий ремонта вагонов является одним из наиболее важных путей повышения эффективности вагоноремонтного производства.

«Днепропетровское» направление дало также толчок и «московскому» направлению в лице М. М. Болотина, В. Г. Воротникова, В. Н. Котуранова, Т. В. Второвой, П. А. Устича, И. И. Хабы, С. Н. Муравьёва, А. А. Денисенко, В. Д. Евстратова, И. В. Козловского, которые в числе прочих исследований и популяризации гибких потоков занимались вопросами возможности внедрения поточных линий с гибким маневрированием в существующие здания вагонных депо [2, 28, 66–68, 125, 240].

Не обошли эту тему и белорусские учёные [12, 288, 289].

Примерно по такому же направлению пошли и американские специалисты. Так, например, специалистами компании «Дженерал Электрик» предложен гибкий поток ремонта цистерн. В работе [372] описан усовершенствованный метод ремонта грузовых вагонов на основе автоматизированной системы управления. В соответствии с сетевым графиком эта система контролирует загрузку ремонтных позиций и бригад исполнителей, обеспечивает

промежуточный и окончательный контроль качества выполненных работ, а также управляет процессом перемещения вагонов между позициями. На примере организации поточного ремонта цистерн приведены алгоритмы работы системы. На рис. 1.7 представлена схематичная компоновка предприятия, работающего по такому методу ремонта вагонов. Таким образом, зарубежные специалисты также видят пути совершенствования ремонта вагонов в переходе на «гибкий» поток.

Идея технологической гибкости потока была воспринята и поддержана также и специалистами по ремонту и техническому обслуживанию локомотивов [310].

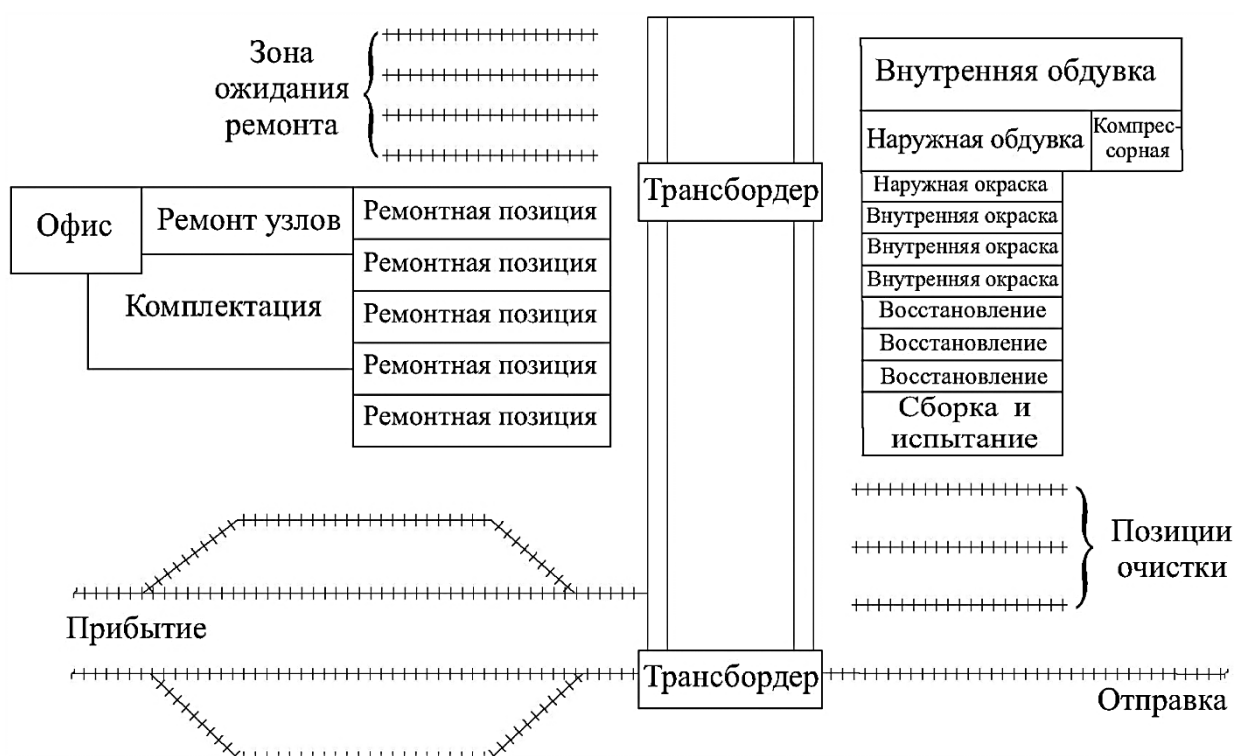


Рисунок 1.7 – Схематичная компоновка предприятия, использующего гибкий поток ремонта цистерн

На необходимость внедрения гибких форм организации ремонта вагонов обратили внимание специалисты и промышленного транспорта. Так, например, в работе [77] сотрудниками кафедры «Промышленный транспорт» Ждановского металлургического института рассматривается ремонт цистерн и делается вывод о том, что их неисправности носят вероятностный характер, а трудозатраты для их устранения различаются в широких пределах, что негативно сказывается на

работе ремонтного потока. В связи с этим предлагается «наличие постов подпора, позволяющих выводить из технологической цепи ремонта цистерны, для выполнения ремонта которых требуется больше трудозатрат». Таким образом, речь идёт о наличии определённой гибкости. Хотя из материалов работы не понятно, как же эта гибкость будет осуществлена на практике, каков, собственно, механизм реализации этой гибкости.

1.5 Выводы по разделу 1

1. В работе проведен глубокий анализ публикаций по ремонту и обслуживанию подвижного состава как у нас в стране, так и за рубежом за последние сто лет. Самая ранняя рассматриваемая публикация датирована 1914-м годом и посвящена «новой» форме организации ремонта товарных вагонов на Нижнеднепровских мастерских Екатерининской железной дороги.

2. Украина всегда находилась на передовых позициях при внедрении прогрессивных методов ремонта подвижного состава железных дорог. Вагонное хозяйство на украинских железных дорогах за предыдущие десятилетия (до деления бывшего МПС) приобрело мощную производственную базу для ремонта вагонов. Показаны этапы становления вагонного хозяйства и связанные с ним процессы по созданию комплексно-механизированных поточных производств. Сначала на предприятиях преобладал в основном ручной труд и стационарный метод ремонта. Примерно с 1955 года было положено начало по созданию механизмов и машин, способствующих увеличению производительности труда. А с середины 70-х годов начался этап комплексной механизации, основанный на внедрении механизированных поточных линий. Особенно в этот период появилось много публикаций по этой тематике. Представлена хронология развития поточных методов ремонта подвижного состава.

3. Рассмотрены основные принципы поточного производства и показаны его преимущества по сравнению с непоточным производством. Прослежена эволюция поточных методов в других отраслях промышленности. В таких ведущих отраслях промышленности, как машиностроение и приборостроение

поточная форма производства появилась раньше остальных. Из этих отраслей она и распространилась на ремонт подвижного состава железных дорог.

4. Массовое строительство вагонных депо осуществлялось в 30 – 40-х годах прошлого столетия. Их планировка как правило предполагала наличие 2 – 3-х параллельных ремонтных путей в вагоноборочном участке, на которых собственно и осуществлялся ремонт вагонов. Внедрение поточных методов ремонта позволило скачкообразно по сравнению со стационарным методом увеличить выпуск вагонов из ремонта и сократить время нахождения вагонов в ремонте. Из-за определённых трудностей на поточные методы перешли не все вагоноремонтные предприятия, а только 25 % от общего количества.

5. При переходе на поточный метод ремонта необходимо было придерживаться регламентированного такта, иначе суть поточного метода теряла смысл. Из-за сложности синхронизировать время выполнения работ на позициях, производство все время работало неритмично. Рекомендации учёных в тот период сводились либо к подбору нескольких вагонов для постановки на позицию с усреднённой трудоемкостью, либо к созданию дополнительных позиций уравнивающего ремонта, на которых бы производились дополнительные работы на вагонах, имеющих повышенный объем ремонта. Иными словами исследовались способы адаптации объектов ремонта к требованиям «жёсткого» потока. Следует отметить, что все эти рекомендации практически ничего существенного не давали – ремонтные потоки функционировали все равно неэффективно. «Жесткие» поточно-конвейерные линии оказались не рациональным решением для ремонтного производства.

6. В настоящее время на вагоноремонтных предприятиях используется две формы организации ремонта вагонов: стационарная и поточная. Причём поточная форма представляет собой не полноценный «классический» поток, когда вагон в процессе ремонта должен проследовать через целый ряд специализированных позиций, а некое подобие потока, напоминающего скорее «ротационно-стационарный» метод ремонта, когда имеется только несколько специализированных позиций, а все остальные работы выполняются на обычных позициях стационарным методом.

7. В ведущих отраслях промышленности поточная форма производства нашла свое дальнейшее продолжение в виде гибких автоматизированных производств. На железнодорожном же транспорте поточные линии для ремонта подвижного состава не получили дальнейшего развития из-за вероятностной природы ремонтного производства и они постепенно пошли на спад. Кроме того, здания вагоноремонтных предприятий уже давно устарели и не отвечают современным требованиям, да и технологическое оборудование изношено на 65–70 %. Всё это сказывается на качестве ремонта и на безопасности движения.

8. Вместе с тем возможны и другие формы организации ремонта подвижного состава, например, гибкие поточные технологии, представляющие собой новое направление в ремонте подвижного состава, который ранее ни теоретически, ни практически глубоко исследован не был. Поточный метод таит в себе колоссальные потенциальные возможности, которые уже нашли применение в других отраслях промышленности и могут быть активно использованы на железнодорожном транспорте при ремонте подвижного состава.

9. Учитывая перспективы интеграции Украины в Европейское Сообщество, очень важно иметь конкурентоспособное производство. Поэтому необходимо активно внедрять новые инновационные технологии ремонта подвижного состава. Одним из таких решений как раз и является создание гибких поточных технологий, которые смогли бы значительно усилить позиции вагонного хозяйства Украины.

10. Проведенный анализ научных публикаций, а также современное состояние вагоноремонтной базы в Украине подтверждают актуальность темы диссертационной работы и позволяют сформулировать цель, основные задачи и направления дальнейших исследований.

РАЗДЕЛ 2

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ХАРАКТЕР ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

2.1 Исследование трудоёмкостей различных видов работ при деповском ремонте вагонов

Как показывает практика, трудоёмкости ремонта вагонов, даже одного и того же типа, очень сильно отличаются друг от друга [44, 96, 103, 303]. Это зависит от целого ряда различных причин, и в первую очередь от модели вагона, качества использованных материалов для его изготовления, срока его службы, условий эксплуатации, качества предыдущих ремонтов и технических обслуживаний и т. п. Все эти случайные факторы, накладываясь друг на друга, сочетаясь друг с другом, создают огромное количество всевозможных комбинаций, результатом чего на выходе является множество случайных значений трудоёмкости ремонта вагонов. В условиях стационарного метода производства различие в трудоёмкостях ремонта вагонов не оказывает существенного влияния на ход протекания производственного процесса. Но стационарные методы ремонта вагонов, как уже подчёркивалось в разделе 1, низкопроизводительны и неэффективны. Более производительными являются поточные методы, которым следует отдавать предпочтение. Вместе с тем, величина трудоёмкости ремонта вагонов является определяющим фактором, влияющим на производительность (пропускную способность) «классических» поточных вагоноремонтных линий. Чтобы правильно организовать ремонт грузовых вагонов на потоке, придать ему необходимую гибкость, оптимизировать структуру потока и его основные параметры, целесообразно использовать имитационное моделирование с помощью компьютеров. Для возможности построения адекватных имитационных моделей в числе исходных данных необходимо иметь и достоверную информацию о трудоёмкостях ремонта вагонов.

В 80-х годах рядом авторов уже проводились определённые исследования в этом направлении. Так в работе [44] были исследованы трудоёмкости деповского ремонта крытых вагонов. В работе [303] были исследованы фактические затраты

труда на поточной линии по ремонту полувагонов на Канашском ВРЗ, а также на поточных линиях по ремонту автосцепок и люков полувагонов. Полученные результаты показали, что трудоёмкости ремонта на позициях поточных линий подчиняются нормальному закону распределения. На проблему нормирования трудоёмкостей технологических процессов с вероятностными составляющими обращено внимание и в работе [270].

Однако за прошедшие годы произошли серьёзные перемены в конструкциях вагонов, на смену старым моделям пришли новые, исчезли вагоны с деревянной обшивкой, изменились условия труда, поменялась технологическая оснастка. Поэтому в настоящее время вновь возникла острая необходимость в исследовании трудоёмкостей ремонта вагонов.

В качестве объектов для исследования трудоёмкостей были выбраны полувагоны, которые проходили деповской ремонт в вагонном депо на ст. Нижнеднепровск-Узел Приднепровской ж. д. По каждому виду работ на основании выявленных дефектов определялись группы однотипных технологических операций, устанавливалось количество таких операций в группе, по каждой операции определялись необходимые объёмы ремонта и рассчитывалась их трудоёмкость. Анализ проводился как по трём видам ремонтных работ в отдельности: слесарным, газорезательным и электросварочным, так и по суммарной и полной трудоёмкостям. По каждому вагону на основании выявленных дефектов и норме времени на каждый дефект вычислялся необходимый объём работ. Норматив времени по дефектам, например, для слесарных работ выбирался согласно типовым нормам времени [335]. Всего было обследовано 125 ($n=125$) вагонов. Полученные эмпирические данные по трём видам работ, выполняемых на вагоноремонтном участке по кузову и раме, представлены в табл. 2.1.

Учитывая, что слесарные, газорезательные и электросварочные работы на кузове и раме вагонов в депо ст. Нижнеднепровск-Узел выполняются одними и теми же исполнителями (электросварщиками), то очень важно знать и суммарную трудоёмкость этих работ (табл. 2.2). Остальные работы выполняются работниками соответствующих специальностей.

Таблица 2.1 – Выборочные данные по трудоёмкостям отдельных видов работ, выполняемых при деповском ремонте полувагонов

№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-ч			№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-ч		
		Слесарные	Газорезательные	Электросварочные			Слесарные	Газорезательные	Электросварочные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	56920499	9,773	0,353	12,612	33	56924897	7,329	7,237	27,83
2	53454484	8,608	8,416	9,254	34	56919897	7,213	1,764	10,28
3	56921695	8,173	1,415	14,992	35	53454971	7,070	4,860	13,76
4	56918097	8,784	0,458	9,901	36	53454864	7,392	4,623	14,99
5	56921497	9,773	1,550	13,830	37	56922693	8,198	4,114	18,24
6	56923295	10,972	0,683	6,072	38	53586913	7,914	4,922	16,29
7	53454575	5,563	2,765	12,030	39	56917495	7,140	4,380	23,98
8	53454872	11,312	8,360	15,804	40	53412771	7,196	6,318	11,03
9	53413803	8,249	6,103	16,726	41	53412854	7,317	3,347	7,142
10	56923394	7,167	2,592	12,621	42	56921091	5,697	2,433	9,125
11	53587408	5,602	5,461	8,645	43	56917297	7,030	6,264	22,42
12	53454625	6,241	6,244	25,135	44	53587374	7,173	3,00	6,940
13	53587424	7,981	3,203	8,006	45	53586756	5,882	4,407	12,08
14	53454567	6,183	4,573	20,352	46	56921190	7,420	2,030	5,760
15	53454732	5,610	4,564	21,654	47	53413639	7,489	6,685	11,00
16	53454526	7,295	3,579	17,772	48	56916497	7,030	6,076	14,92
17	53454617	6,187	6,505	13,356	49	53454831	5,030	2,710	13,88
18	53454914	5,905	6,744	22,689	50	56918592	6,980	3,700	20,56
19	53413688	8,929	5,348	12,419	51	56916992	5,826	2,593	10,67
20	53454641	6,127	5,043	17,128	52	56920390	7,298	2,468	15,84
21	53587903	9,466	11,228	23,672	53	53586905	7,623	4,322	14,36
22	53587341	10,886	6,752	11,664	54	53587382	8,136	3,342	11,10
23	53454963	9,815	3,159	29,492	55	53587937	8,319	5,551	13,77
24	56920291	4,720	4,500	26,100	56	53586889	7,502	6,012	14,28
25	56924996	11,580	7,740	35,000	57	53587861	7,344	5,035	10,36
26	53587150	9,561	12,169	30,419	58	56924293	12,182	1,685	24,26
27	56916091	11,250	4,410	24,530	59	53413084	10,657	7,829	22,12
28	53454922	12,210	4,670	29,500	60	56922594	12,087	2,606	17,88
29	56922990	5,220	4,400	18,270	61	56921299	11,023	2,153	25,93
30	56924699	11,381	3,970	12,880	62	56920796	11,615	2,508	24,90
31	56918394	7,360	3,388	21,727	63	53454906	11,617	2,628	28,70
32	56924392	7,189	2,432	12,281	64	56923592	11,71	1,835	24,36

Окончание табл. 2.1

№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-ч			№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-ч		
		Слесарные	Газорезательные	Электросварочные			Слесарные	Газорезательные	Электросварочные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65	53454765	10,475	9,730	36,720	96	56924194	12,480	5,990	17,770
66	56923899	10,438	5,461	26,108	97	56919590	12,990	5,900	26,520
67	53454690	11,406	2,258	23,989	98	53454674	7,395	4,970	31,057
68	56919996	10,419	2,474	24,663	99	53413902	5,803	5,459	15,305
69	53412953	12,427	4,605	18,806	100	56917396	8,756	3,023	28,780
70	53454492	11,260	3,103	27,433	101	56920093	6,983	2,212	27,993
71	56921398	10,324	2,481	20,773	102	53587036	10,051	3,981	20,328
72	56923097	10,173	3,463	27,269	103	53412763	9,088	4,874	17,300
73	53587317	9,944	1,321	7,849	104	53413571	7,043	7,018	32,145
74	53454898	11,665	3,104	24,070	105	53454591	9,922	4,804	19,483
75	53421805	11,451	5,743	10,399	106	53413456	6,079	6,466	21,373
76	56923691	11,198	2,392	23,799	107	53454518	7,272	3,288	25,092
77	56915895	5,952	5,117	29,608	108	53587853	3,845	6,586	27,037
78	56919798	10,486	2,402	25,338	109	53413373	9,987	4,996	19,611
79	56925191	6,330	5,565	26,192	110	56915390	5,768	6,683	35,865
80	53587168	11,578	6,966	11,803	111	56920697	6,210	3,376	26,941
81	53454724	11,451	3,554	31,599	112	53413506	9,207	5,031	20,174
82	53454609	10,156	3,560	30,665	113	53413167	6,654	7,112	19,924
83	56917891	13,988	6,160	14,501	114	56921596	9,813	1,212	18,652
84	56921794	12,480	3,880	26,170	115	53587101	8,279	5,334	16,876
85	56919491	11,130	3,540	24,600	116	53454534	7,041	3,570	26,869
86	53413746	13,373	11,695	24,255	117	56918998	7,043	3,946	23,333
87	56920192	13,231	7,491	17,631	118	53454757	10,153	4,452	25,287
88	56917990	13,890	8,900	17,165	119	53454666	9,773	2,344	23,401
89	56917792	12,643	1,747	25,104	120	56919392	10,126	1,507	22,455
90	56917693	12,890	2,504	28,739	121	53454658	9,950	3,802	27,699
91	56922792	12,564	2,099	26,692	122	53587572	10,057	4,277	15,996
92	56920994	12,671	1,921	23,293	123	53454815	9,194	3,108	25,577
93	56923493	11,807	1,012	21,812	124	56917594	6,674	4,820	26,640
94	53413308	3,410	6,280	14,360	125	53454948	9,906	2,463	25,174
95	53587267	12,810	10,060	18,840					

Таблица 2.2 – Итоговые данные по трудоёмкостям работ, выполняемых при деповском ремонте полувагонов

№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-мин		№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-мин	
		Суммарная*	Полная**			Суммарная*	Полная**
1	2	3	4	5	6	7	8
1	56920499	1 364,28	1 790,88	34	56919897	1 155,84	1 582,44
2	53454484	1 576,68	2 003,28	35	53454971	1 541,46	1 968,06
3	56921695	1 474,80	1 901,40	36	53454864	1 620,78	2 047,38
4	56918097	1 148,58	1 575,18	37	56922693	1 833,12	2 259,72
5	56921497	1 509,18	1 935,78	38	53586913	1 747,62	2 174,22
6	56923295	1 063,62	1 490,22	39	56917495	2 130,00	2 556,60
7	53454575	1 221,48	1 648,08	40	53412771	1 472,70	1 899,30
8	53454872	2 128,56	2 555,16	41	53412854	1 068,36	1 494,96
9	53413803	1 864,68	2 291,28	42	56921091	1 035,30	1 461,90
10	56923394	1 342,80	1 769,40	43	56917297	2 142,96	2 569,56
11	53587408	1 182,48	1 609,08	44	53587374	1 026,78	1 453,38
12	53454625	2 257,20	2 683,80	45	53586756	1 342,62	1 769,22
13	53587424	1 151,40	1 578,00	46	56921190	912,60	1 339,20
14	53454567	1 866,48	2 293,08	47	53413639	1 510,98	1 937,58
15	53454732	1 909,68	2 336,28	48	56916497	1 681,92	2 108,52
16	53454526	1 718,76	2 145,36	49	53454831	1 297,20	1 723,80
17	53454617	1 562,88	1 989,48	50	56918592	1 874,82	2 301,42
18	53454914	2 120,28	2 546,88	51	56916992	1 145,46	1 572,06
19	53413688	1 601,76	2 028,36	52	56920390	1 536,42	1 963,02
20	53454641	1 697,88	2 124,48	53	53586905	1 578,72	2 005,32
21	53587903	2 661,96	3 088,56	54	53587382	1 354,98	1 781,58
22	53587341	1 758,12	2 184,72	55	53587937	1 658,94	2 085,54
23	53454963	2 547,96	2 974,56	56	53586889	1 667,76	2 094,36
24	56920291	2 119,20	2 545,80	57	53587861	1 364,58	1 791,18
25	56924996	3 259,20	3 685,80	58	56924293	2 287,62	2 714,22
26	53587150	3 128,94	3 555,54	59	53413084	2 436,84	2 863,44
27	56916091	2 411,40	2 838,00	60	56922594	1 954,44	2 381,04
28	53454922	2 782,80	3 209,40	61	56921299	2 346,72	2 773,32
29	56922990	1 673,40	2 100,00	62	56920796	2 341,92	2 768,52
30	56924699	1 693,86	2 120,46	63	53454906	2 577,00	3 003,60
31	56918394	1 948,50	2 375,10	64	56923592	2 274,66	2 701,26
32	56924392	1 314,12	1 740,72	65	53454765	3 415,50	3 842,10
33	56924897	2 544,00	2 970,60	66	56923899	2 520,42	2 947,02

Окончание табл. 2.2

№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-мин		№ п/п	Номер вагона	Трудоёмкость работ, чел.-мин	
		Суммарная*	Полная**			Суммарная*	Полная**
1	2	3	4	5	6	7	8
67	53454690	2 259,18	2 685,78	97	56919590	2 724,60	3 151,20
68	56919996	2 253,36	2 679,96	98	53454674	2 605,32	3 031,92
69	53412953	2 150,28	2 576,88	99	53413902	1 594,02	2 020,62
70	53454492	2 507,76	2 934,36	100	56917396	2 433,54	2 860,14
71	56921398	2 014,68	2 441,28	101	56920093	2 231,28	2 657,88
72	56923097	2 454,30	2 880,90	102	53587036	2 061,60	2 488,20
73	53587317	1 146,84	1 573,44	103	53412763	1 875,72	2 302,32
74	53454898	2 330,34	2 756,94	104	53413571	2 772,36	3 198,96
75	53421805	1 655,58	2 082,18	105	53454591	2 052,54	2 479,14
76	56923691	2 243,34	2 669,94	106	53413456	2 035,08	2 461,68
77	56915895	2 440,62	2 867,22	107	53454518	2 139,12	2 565,72
78	56919798	2 293,56	2 720,16	108	53587853	2 248,08	2 674,68
79	56925191	2 285,22	2 711,82	109	53413373	2 075,64	2 502,24
80	53587168	1 820,82	2 247,42	110	56915390	2 898,96	3 325,56
81	53454724	2 796,24	3 222,84	111	56920697	2 191,62	2 618,22
82	53454609	2 662,86	3 089,46	112	53413506	2 064,72	2 491,32
83	56917891	2 078,94	2 505,54	113	53413167	2 021,40	2 448,00
84	56921794	2 551,80	2 978,40	114	56921596	1 780,62	2 207,22
85	56919491	2 356,20	2 782,80	115	53587101	1 829,34	2 255,94
86	53413746	2 959,38	3 385,98	116	53454534	2 248,80	2 675,40
87	56920192	2 301,18	2 727,78	117	56918998	2 059,32	2 485,92
88	56917990	2 397,30	2 823,90	118	53454757	2 393,52	2 820,12
89	56917792	2 369,64	2 796,24	119	53454666	2 131,08	2 557,68
90	56917693	2 647,98	3 074,58	120	56919392	2 045,28	2 471,88
91	56922792	2 481,30	2 907,90	121	53454658	2 487,06	2 913,66
92	56920994	2 273,10	2 699,70	122	53587572	1 819,80	2 246,40
93	56923493	2 077,86	2 504,46	123	53454815	2 272,74	2 699,34
94	53413308	1 443,00	1 869,60	124	56917594	2 288,04	2 714,64
95	53587267	2 502,60	2 929,20	125	53454948	2 252,58	2 679,18
96	56924194	2 174,40	2 601,00				

Примечание:

* – суммарная трудоёмкость слесарных, газорезательных и электросварочных работ (с + г + э); ** – здесь дополнительно учтены слесарные работы по ремонту автосцепного оборудования (139,20 чел.-мин) и тормозного оборудования (287,4 чел.-мин); трудоёмкости этих видов работ являются нормированными, и поэтому их исследование не проводилось.

Обратим внимание на количество обследованных вагонов. Требуемое число экспериментальных данных определяется исходя из условия обеспечения вероятности отклонения средней выборочной величины от генеральной средней на величину не превышающую величину относительной ошибки ε ; менее принятого уровня вероятности α . Для большой генеральной совокупности ($N > 10000$) необходимое количество вагонов, которое надо было обследовать для получения выборочных данных определялось на основании следующей формулы [44]

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 v^2}{\varepsilon^2},$$

где t_{α} – нормированное отклонение при соответствующей вероятности α ;

v – коэффициент вариации случайной величины;

ε – величина относительной ошибки.

Необходимое количество наблюдений представлено в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчёта количества необходимых наблюдений

Относительная ошибка ε	Доверительная вероятность							
	$\alpha = 0,95$				$\alpha = 0,90$			
	Коэффициент вариации v							
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,20	0,25	0,30	0,35
0,05	61	96	140	190	43	67	96	130
0,10	18	26	34	47	13	19	26	33
0,15	11	13	18	23	8	10	13	17
0,20	6	8	11	14	5	6	8	10
0,25	5	6	8	10	4	5	6	7

При относительной ошибке $\varepsilon = 0,05$; доверительной вероятности $\alpha = 0,90$ и коэффициенте вариации $v = 0,30$, количество необходимых вагонов, подлежащих обследованию, должно быть равно не менее – 96. Для сравнения в работе [273] для сбора аналогичной информации было обследовано 50 вагонов.

Анализ статистических данных можно производить как вручную, так и с использованием, например, программы STATISTICA по методике, изложенной в работах [35, 36, 350].

Опишем кратко методику обработки статистических данных на примере полной трудоёмкости.

Самой простой мерой оценивания является размах. Размах представляет собой разность между наибольшим и наименьшим значениями реализации признака в выборке. Размах варьирования определяется следующим образом

$$R = x_{\max} - x_{\min} . \quad (2.1)$$

Как видно из табл. 2.2 наименьшее значение имеет результат в строке под номером 46 ($x_{\min}=1\ 339,20$), а наибольшее значение имеет результат в строке под номером 65 ($x_{\max}=3\ 842,10$). После подстановки исходных данных в формулу (2.1) получим

$$R = 3\ 842,10 - 1\ 339,20 = 2\ 502,9 .$$

Ориентировочное количество интервалов определим согласно правилу Штюргеса [98]

$$k = 1 + 3,321 \lg n = 1 + 3,321 \lg 125 = 7,96 . \quad (2.2)$$

С целью дальнейшего выделения для наглядности среднего значения случайной величины, количество интервалов зададим нечётным и примем его равным 7.

Определим ориентировочно длину одного интервала по формуле

$$d = R / k . \quad (2.3)$$

После подстановки данных в формулу (2.3) получим

$$d = 2502,9/7 = 357,56 .$$

Пусть имеется целый ряд реализаций x_1, x_2, \dots, x_n случайной величины X . Среднее значение наблюдаемого признака определим по следующей формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i m_i, i = \overline{1, n} . \quad (2.4)$$

Другим важным показателем является эмпирический стандарт (выборочное среднеквадратическое отклонение), который определяется по формуле

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (2.5)$$

Далее определяется выборочное значение коэффициента вариации

$$v = \frac{\bar{s}}{\bar{x}} 100\% . \quad (2.6)$$

Коэффициент вариации представляет собой меру относительной изменчивости наблюдаемой случайной величины. После подстановки данных получим $v = 21,2\%$.

Как правило, если $v < 33\%$, то случайная величина относится к нормальному закону распределения.

По такой же методике были определены характеристики эмпирических распределений случайных величин трудоёмкостей по остальным видам работ.

Основные результаты вычислений представлены в табл. 2.4.

Для лучшей наглядности представим случайные величины трудоёмкостей ремонтных работ в виде гистограмм и плотностей законов распределений (рис. 2.1, а, б, в, г, д).

Таблица 2.4 – Основные результаты вычисления параметров случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ

Наименование параметра	Трудоёмкость ремонтных работ в вагоносборочном участке, чел.-мин				
	Слесарные	Газорезательные	Электро-сварочные	Суммарная *	Полная **
Среднее \bar{x}	538,59	266,59	1203,03	2008,22	2434,82
Стандарт \bar{s}	146,87	138,22	428,25	516,52	516,52
Коэффициент вариации v	0,27	0,52	0,356	0,257	0,212
Минимальное значение x_{\min}	204,60	21,18	345,60	912,60	1339,20
Максимальное значение x_{\max}	839,28	730,14	2203,20	3415,50	3842,10
Размах R	634,68	708,96	1857,60	2502,90	2502,90
Медиана x_{med}	535,74	259,32	122,12	2075,64	2502,24
Мода x_{mod}	586,38	327,66	множеств.	множеств.	множеств.
Асимметрия β_1	0,059	0,89	-0,024	-0,007	-0,007
Эксцесс β_2	-0,98	1,09	-0,809	-0,337	-0,337

Для проверки нормальности распределения воспользуемся методикой среднего абсолютного отклонения САО [144].

САО вычисляется по формуле

$$CAO = \sum \frac{|x_i - \bar{x}|}{n}. \quad (2.7)$$

После подстановки данных получим

$$CAO = \frac{52853,54}{125} = 422,828.$$

Для выборки, которая имеет приближённо нормальный закон распределения, должно быть справедливо выражение

$$|CAO/\bar{S} - 0,7979| < 0,4\sqrt{n}. \quad (2.8)$$

После подстановки данных получим

$$\left| \frac{422,828}{516,52} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{125}},$$

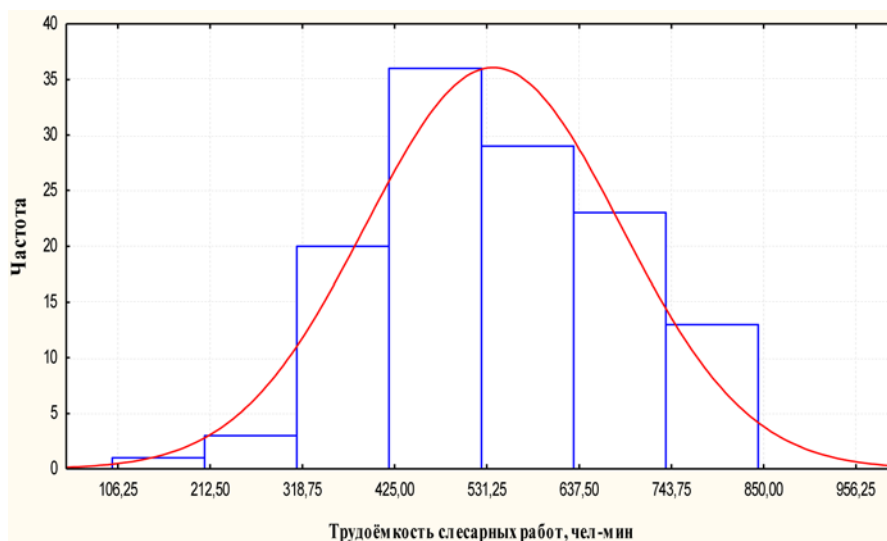
$$0,020709 < 0,035777.$$

Таким образом, гипотеза нормальности распределения выборки полной трудоёмкости принимается.

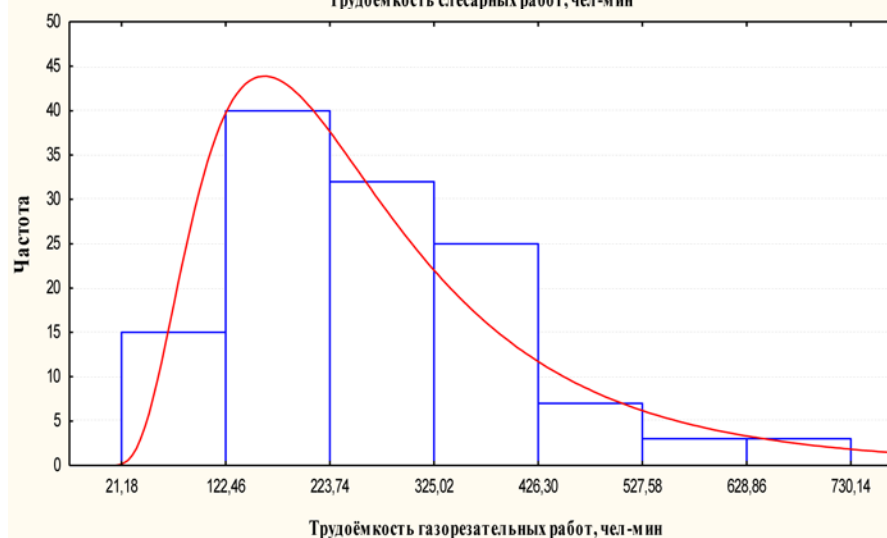
В качестве следующего критерия проверки гипотезы нормального распределения воспользуемся методом размаха варьирования из работы [280]. Определим отношение R/\bar{S} и сопоставим его с критическими верхними нижними границами этого отношения, приведенными в табл. П8 в работе [144].

Если R/\bar{S} больше верхней границы или меньше нижней, то гипотеза о нормальном распределении отпадает. Очень важно, чтобы это условие соблюдалось при $p=0,10$ (10 %-й уровень значимости). В нашем случае $R/\bar{S} = 2502,90/516,524 = 4,845$. При $n=125$ и $p = 0,10$ нижняя и верхняя границы в указанной таблице соответствуют 4,58 и 5,82, т. е. $4,58 < 4,845 < 5,82$. Таким образом, гипотеза о нормальном распределении снова подтверждается.

а)



б)



в)

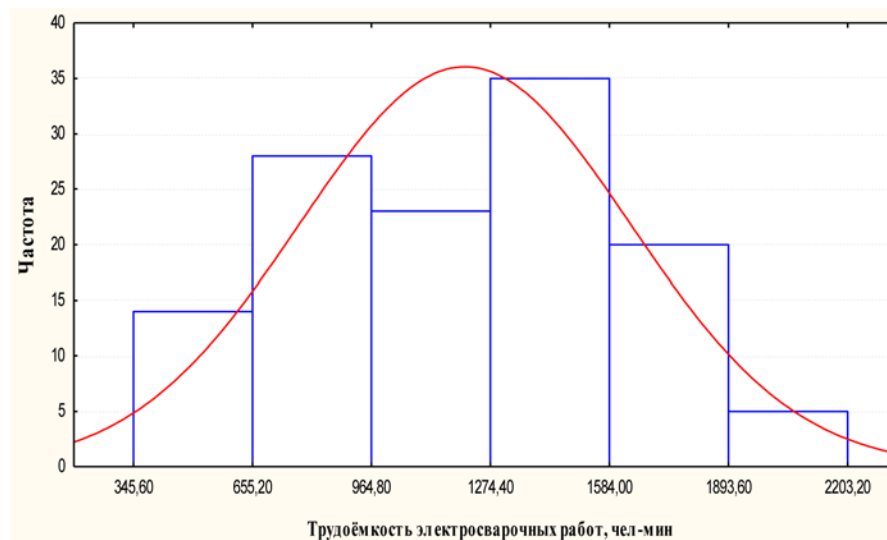
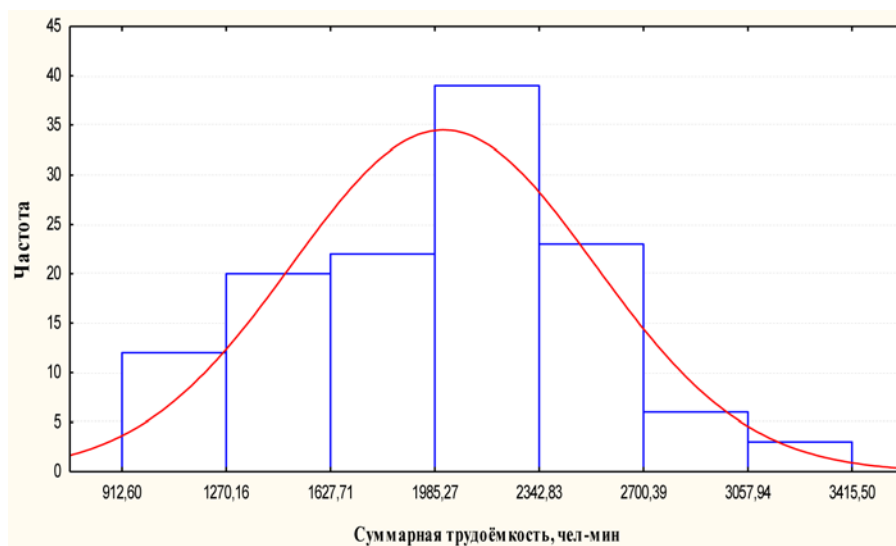


Рисунок 2.1 – Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах:

а) слесарных; б) газорезательных; в) электросварочных

г)



д)

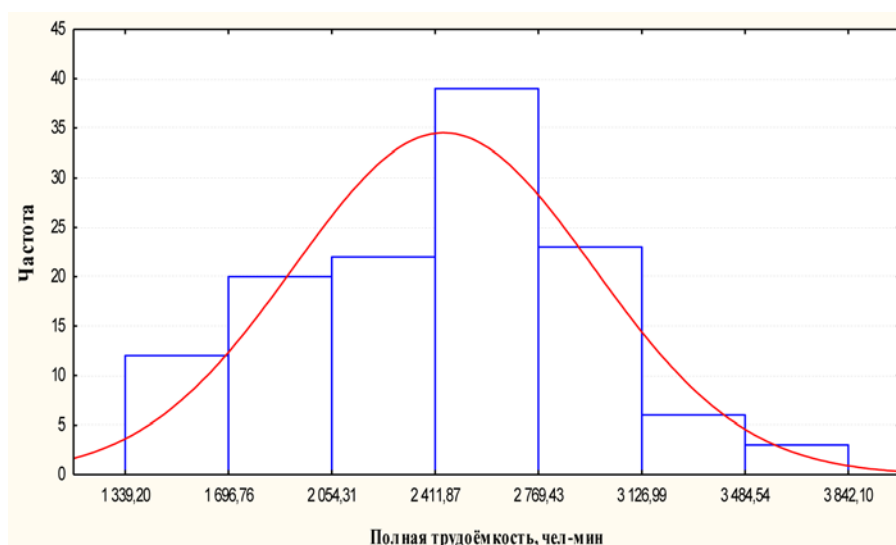


Рисунок 2.1 (окончание) – Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах:

г) суммарная (с + г + э); д) полная

Кроме того, ещё осуществлялась подгонка законов распределения к выборочным данным с помощью программы STATISTICA. Подгонка позволяет оценить степень согласия эмпирических данных с некоторым гипотетическим распределением. Проверка соответствия осуществлялась по критерию χ^2 (« χ -квадрат»), которому соответствует определённый уровень значимости (p -уровень). Количество интервалов определялось программой автоматически. Результаты представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Виды законов распределения случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ и соответствующие им уровни значимости

Наименование трудоёмкостей работ	Теоретический закон распределения	Критерий, χ^2	Количество степеней свободы	Уровень значимости, p
Слесарные	Нормальный	3,66659	3	0,29979
Газорезательные	Логарифмически-нормальный	11,59246	7	0,11478
Электросварочные	Нормальный	10,94212	5	0,05254
Суммарная	Нормальный	9,88553	7	0,19515
Полная	Нормальный	8,72243	7	0,27320

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что законы распределения трудоёмкостей различных работ, выполняемых при деповском ремонте полувагонов, намного сложнее, чем теоретические законы распределения.

Как правило, более высокий уровень значимости (p -уровень) соответствует более низкому уровню доверия найденным в выборке результатам. Например, p -уровень=0,299 свидетельствует о том, что существует 29,9 % вероятности того, что полученные в выборке зависимости между переменными являются всего лишь случайной особенностью данной выборки, т. е. в 30 случаях из 100 будет ошибка – неправильно выбранная гипотеза.

В настоящее время не существует единых правил, которые могли бы однозначно указать границу, годную для всех встречающихся на практике случаев.

Здесь могут иметь место четыре варианта:

1. Гипотеза верна и принимается согласно критерию;
2. Гипотеза не верна и не принимается согласно критерию;
3. Гипотеза верна, но не принимается согласно критерию (ошибка первого рода);
4. Гипотеза не верна, но принимается согласно критерию (ошибка второго рода).

Принятие правильного решения во многом зависит от интуиции и умения

экспериментатора.

Таким образом, фактические значения трудоёмкостей слесарных и электросварочных работ наиболее близки к нормальному закону распределения, а газорезательных – к логарифмически-нормальному, но непосредственно таковыми не являются. Фактические законы распределения трудоёмкости ремонта вагонов носят более сложный характер. Собственно, при организации ремонта вагонов нам важно даже не то, какому именно закону распределения подчиняются трудоёмкости ремонтных работ, а важно то, что они имеют большой размах, который существенно влияет на время простоя вагонов в ремонте, что негативно сказывается на производительности «классического» ремонтного потока. В качестве исходных данных при моделировании значений трудоёмкостей ремонта вагонов лучше всего пользоваться не теоретическими законами распределений, а непосредственно фактическими эмпирическими данными, собранными на передовых вагоноремонтных предприятиях (см. раздел 4).

Выполненные исследования наглядно демонстрируют, что трудоёмкости ремонта вагонов являются случайными величинами, имеющими довольно широкий размах. Исходя из данных табл. 2.4, можно сделать вывод, что трудоёмкости газорезательных работ на вагонах могут отличаться друг от друга в 34,5 раза, трудоёмкости электросварочных работ – в 6,4 раза, трудоёмкости слесарных работ – в 4,1 раза. Для суммарной и полной трудоёмкостей происходит некоторое выравнивание величин. Тем не менее, и здесь разбросы остаются существенными. Для суммарной трудоёмкости ремонта вагонов разброс составляет – 3,74 раза, а для полной – 2,86 раза.

Таким образом, постановка в ремонт на обычный «жёсткий» поток вагонов, имеющих такой большой диапазон величин трудоёмкостей, будет постоянно вызывать срыв такта поточной линии.

2.2 Анализ случайных факторов, влияющих на эффективность ремонта вагонов

2.2.1 Систематизация случайных факторов

Главной задачей грузовых вагонов является перевозка грузов, и чем больше времени вагон будет находиться в исправном состоянии, тем больше грузов он сможет перевезти. Естественно, что перевод вагонов из рабочего парка в нерабочий парк отражается на потенциальных возможностях объёмов перевозок. Поэтому любой владелец подвижного состава, предоставляющий вагоны для перевозок, очень заинтересован в том, чтобы его вагоны как можно меньше времени простаивали в ремонте.

Кроме того, продолжительность простоя вагонов непосредственно в ремонте является одним из основных показателей вагоноремонтного предприятия. Этот показатель напрямую связан с пропускной способностью вагоноремонтного участка. Чем меньше времени вагон будет находиться в ремонте, тем большее количество вагонов может быть отремонтировано. Поэтому и для вагоноремонтного предприятия время простоя вагонов в ремонте также является важным показателем, который необходимо минимизировать. Таким образом, все субъекты хозяйственной деятельности, имеющие отношение как к перевозочному процессу, так и к ремонту вагонов, заинтересованы в сокращении времени простоя вагонов в ремонте.

Вагоноремонтный поток – это сложная производственная система, на эффективную работу которой оказывает влияние огромное количество различных факторов, носящих вероятностный характер. На первый взгляд может показаться, что наилучшим решением для потока, позволяющим организовать стабильную работу, может явиться установление единого такта с согласованием времени выполнения работ на всех позициях. Но, чтобы попытаться осуществить такую синхронизацию, надо хорошо себе представлять, от каких же факторов зависит сама продолжительность ремонтных работ и можно ли вообще на практике реально осуществить такую синхронизацию?

Исследования показали, что на различную продолжительность пребывания вагонов непосредственно в ремонте оказывают действие многие случайные факторы. Углублённый анализ этих факторов позволил разделить их на четыре группы:

1. Конструкционно-эксплуатационные факторы (разные модели вагонов, разные сроки эксплуатации (возраст вагонов), разные условия эксплуатации, разное качество предыдущих ремонтов и технических обслуживаний);

2. Человеческий фактор (разная индивидуальная трудоспособность исполнителей, разный опыт, квалификация, тип характера, психоэмоциональное состояние, здоровье и т. п.);

3. Организационно-технические факторы (внезапные отказы технологического оборудования, ремонтпригодность оборудования, перебои в подаче энергоресурсов, запасных частей и т. п.);

4. Организационно-технологические факторы (метод организации ремонта, технологическая структура, способ перемещения вагонов между позициями).

Каждая из этих групп, в свою очередь, может быть разбита на соответствующие подгруппы (рис. 2.2).

Кроме того, можно выделить экзогенные и эндогенные факторы. То есть существуют факторы внешние, которые совершенно не зависят от предприятия. К этим факторам следует отнести конструкторско-эксплуатационные факторы. Все остальные группы факторов относятся к разряду экзогенных.

Рассмотрим каждую группу факторов в отдельности.

2.2.2 Конструкционно-эксплуатационные факторы

2.2.2.1 Особенности конструкций грузовых вагонов (на примере полувагона)

В настоящее время общий парк полувагонов в Украине насчитывает более 80 тысяч единиц. В обращении на железных дорогах имеется целый спектр различных моделей полувагонов. Следует иметь в виду, что генеральная совокупность полувагонов всё время изменяется как количественно, так и качественно. На смену вагонам прежних лет выпуска, уже отслужившим свой

срок, приходят новые модели вагонов, а также вагоны нового поколения. В табл. 2.6 представлены эксплуатируемые в настоящее время некоторые модели полувагонов, даны их технические характеристики и конструктивные особенности.



Рисунок 2.2 – Классификация факторов, оказывающих влияние на продолжительность нахождения вагонов на ремонтных позициях

Из табл. 2.6 видно, что конструкции полувагонов очень сильно отличаются друг от друга. На одних полувагонах есть торцевые двери, на других нет. Есть полувагоны глуходонные, а есть с крышками люков. Есть с торцевыми дверями, а есть с глухими стенами. Есть полувагоны с гофрированной обшивкой кузова, а есть – с негофрированной. Геометрические размеры кузовов разных моделей также могут отличаться друг от друга. Естественно, что из-за разных конструктивных отличий будет изменяться состав и объём ремонтных работ, что не может не отразиться и на продолжительности ремонта вагонов.

Таблица 2.6 – Модели полувагонов, их характеристика и конструкционные особенности

№ п/п	Модель; габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м ³ ; масса тары, т	Длина по осям авто-сцепок, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (lxbxh)	Площадь пола кузова, м ²	Наличие переходной площадки и стояночного тормоза (ПП/СТ)	Особенности конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12-9046 1-ВМ	Стахановский ВСЗ (Украина)	70,0; 85,0; 24,0	13920; 8650	12732x2930x2300	37,3	-/+	Торцевых дверей нет	Увеличен объём на 9,0 м ³
2	12-955	Стахановский ВСЗ (Украина)	71,0; 88,0; 23,0	13920; 8650	12620x2980x2400	36,3	-/+	Глухой кузов	Увеличен объём до 88 м ³
3	12-175 1-ВМ	ПО «Уралвагонзавод» (Россия)	69,0; 77,0; 25,5	13920; 8650	12480x2965x2544	37,0	-/+	Глухой кузов	-
4	12-295 1-ВМ	Алтайвагонзавод	71,0; 75,2; 23,3	13920; 8650	12690x2890x2050	36,67	-/+	Глухой кузов	-
5	12-1505 0-ВМ	ОАО МЗТМ	65,0; 76,0; 21,7	13920; 8650	12700x2878x2060	36,55	-/+	Глуходонный с торцевыми дверями	-
6	12-127 0-ВМ	Румыния	70,0; 76,0; 23,9	14520; 8650	12700x2878x2060	36,55	-/+	С люками без дверей	-
7	12-1592 0-ВМ	ОАО МЗТМ; ОАО «Армавиртяжмаш»	71,0; 83,6; 22,0	13920; 8650	12700x2878x2240	36,55	-/+	Глуходонный с глухим кузовом	-

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Мо-дель; габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м ³ ; масса тары, т	Длина по осям авто-цепок, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (lxbxh)	Пло-щадь пола кузова, м ²	Наличие переходной площадки и стояночно-го тормоза (ПП/СТ)	Особеннос-ти конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	12-757 1-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 85,0; 25,0	13920; 8670	12228x2964x2315	36,63	-/+	Уширенные дверные проёмы	-
9	12-132 1-ВМ	ПО «Уралвагонза-вод»; Ружхиммаш	69,5; 88,0; 24,0	13920; 8670	12750x2911x2365	37,13	-/+	С люками без дверей	Гофрирован-ный
10	12-141 0-ВМ	ПО «Уралвагонза-вод» (Россия)	71,0; 90,6; 25,60	13920; 8650	12750x2911x2060	36,55	-/+	С люками без дверей	Со съёмной крышей
11	12-726 0-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 73,0; 22,7	13920; 8650	12088x2878x2060	35,4	-/+	С люками и с дверями	-
12	12-753 0-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 74,0; 23,2	13920; 8650	12324x2878x2060	36,15	-/+	С люками и с дверями	-
13	12-1000 0-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 73,0; 22,0	13920; 8650	12088x2878x2060	35,4	-/+	С люками и с дверьми	-
14	12-1302 1-ВМ	ЗАО «Промтрак-тор-Вагон» (Россия)	70,0; 77,0; 24,0	13920; 8650	12750x2911x2065	37,11	-/+	С люками без дверей	-
15	12-1303 1-ВМ	ЗАО «Промтрак-тор-Вагон» (Рос-сия)	70,0; 77,0; 24,0	13920; 8650	12750x2911x2065	37,11	-/+	С люками без дверей	-

Продолжение табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	12-1303-1-ВМ	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	69,0; 88,0; 24,5	13920; 8650	12768x2928x2065	37,40	-/+	С люками без дверей	-
17	12-1304-1-ВМ	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	75,0; 88,0; 24,5	13920; 8650	12768x2928x2385	37,40	-/+	С люками без дверей	-
18	12-9788-1-ВМ	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	71,0; 85,0; 22,5	13920; 8650	12692x2890x2322	36,68	-/+	С люками без дверей	-
19	12-2123-Т _{пр}	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	76,0; 83,0; 24,0	12100; 7880	10870x3070x2700	33,37	-/+	С глухим кузовом	-
20	12-2123-01-Т _{пр}	ОАО «Алтайвагон-завод»(Россия)	71,0; 83,0; 23,0	13920; 8650	10870x3070x2500	33,37	-/+	С глухим кузовом	Скругленный нижний пояс
21	12-1190-ВМ	ПО «Уралвагонзавод» (Россия)	71,0; 76,0; 23,1	13920; 8650	12700x2878x2060	36,55	-/+	С люками без дверей	-
22	12-4102-0-ВМ	ОАО «Днепровагонмаш» Украина)	71,0; 82,0; 23,0	13920; 8650	12668x2904x2240	36,8	-/+	С глухим кузовом	-
23	12-4106-1-ВМ	ОАО «Днепровагонмаш» (Украина)	70,0; 78,0; 23,0	13920; 8650	12674x3000x2070	38,0	-/+	С люками без дверей	-
24	12-532-0-ВМ	ПО «Уралвагонзавод» (Россия)	69,0; 74,0; 23,2	13920; 8650	12118x2878x2060	35,5	-/+	С люками и с дверями	-
25	12-9767-1-ВМ	Рославльский ВРЗ (Россия)	70,0; 88,0; 24,0	13920; 8650	12771x2910x2353	37,1	-/+	С глухим кузовом	-

Продолжение табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	12-7023 1-ВМ	ОАО «КВСЗ» (Украина)	70,3; 90,0; 23,7	13920; 8650	12478x2952x2362	37,9	-/+	С люками в полу	С глухими торцевыми стенами
27	12-146 1-Т	ПО «Уралвагонза- вод» (Россия)	64,0; 88,0; 23,0	13920; 8650	12750x2911x2365	37,9	-/+	С люками в полу	Со съёмной крышей
28	12-159 1-ВМ	ПО «Уралвагонза- вод» (Россия)	64,0; 112,0; 29,4	13920; 8650	12606x2900x2907	36,55	-/+	Есть двери и приварная крыша	Для перевоз- ки автомоби- лей
29	12-196 1-Т	ПО «Уралвагонзавод» (Россия)	73,5; 96,0; 26,0	13920; 8650	13018x2920x2512	38,0	-/+	С глухими торцевыми стенами и люками	-
30	12-282 1-ВМ	ОАО «Алтайвагонзавод»	70,0; 24,0	13920; 8650	10624x2790x900	36,55	-/+		Для перевоз- ки рулонной стали
31	12-288 0-ВМ	ОАО «Алтайвагонзавод»	69,0; 25,0	12530; 7800	10626x1970x800	6,05	-/+		Для перевоз- ки рулонной стали
32	12-284 1-ВМ (0-Т)	ОАО «Алтайвагонзавод» (Россия)	67,0; 27,0	14730; 10000	12900x2790x2000	36,55	-/-		Для перевоз- ки катанки
33	12-296 1-Т	ОАО «Алтайвагонзавод» (Россия)	70,0; 76,0; 24,5	13920; 8650	12722x2911x2060	37,0	-/+	С люками и глухими торцевыми стенами	-

Окончание табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34	12-575 RIV	ПО «Уралвагонзавод»	66,5; 62,0; 23,5	13920; 8650	12750x2765x1770	35,25	-/+	С глухими торцевыми стенами	Без гофр
35	12-581 03-ВМ	ПО «Уралвагонзавод»	67,0; 62,0; 22,5	13920; 8650	12750x2765x1770	35,25	-/+	Глуходон- ный	-
36	12-783 1-ВМ	ОАО «КВСЗ»; СЗАО «Могилев- ский ВСЗ»	70,0; 78,0; 23,0	13920; 8650	12228x2964x2045	36,63	-/+	С люками и глухими торцевыми стенами	-
37	12-781 1-ВМ	ОАО «КВСЗ» (Украина)	70,0; 80,0; 23,4	13920; 8650	12460x3070x2235	22,0	-/+	С глухим цилиндр. дном	-
38	12-1295 1-ВМ	ОАО «Руххиммаш» (Россия)	75,0; 88,0; 25,5	13920; 8650	12752x2928x2352	37,30	-/+	С люками без дверей	Без гофр
39	12-1704 0-ВМ	ОАО «Азовмаш»; ОАО «МЗТМ»	70,0; 79,8; 24,0	13920; 8650	13000x2930x2075	38,1	-/+	С люками без дверей	Без гофр
40	12-2104 1-ВМ	ОАО «Алтайвагонзавод»	69,5; 81,2; 23,0	13920; 8650	12690x2890x2250	36,41	-/+	Глуходон- ный	-
41	12-197 1-Т	ПО «Уралвагонзавод»	74,5; 92,0; 25,5	13920; 8650	12446x2965x2693	36,9	-/+	Скруглен- ный низ ку- зова	-
42	12- 2122- 01-Тпр	ОАО «Алтайвагонзавод» (Россия)	71,0; 83,7; 23,0	12100; 6940	10870x3070x2500	31,5	-/+	С глухими стенами и люками в полу	-

2.2.2.2 Условия эксплуатации вагонов

Полувагон – это самый массовый тип универсального вагона, который используется для перевозки широкой номенклатуры грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков. Вагоны эксплуатируются и в зной, и в холод, при любых погодных условиях. В результате воздействия неблагоприятных условий конструкции вагонов постоянно подвергаются действию коррозии. В результате погрузочно-разгрузочных работ кузова вагонов и крышки люков получают механические повреждения. Особенно сильно сказываются результаты воздействия вагоноопрокидывателей и грейферных механизмов. Зачастую вагоны получают поломки после прохождения сортировочных горок. Устранение повреждений на технических станциях не всегда производится в полном объёме. Большое значение имеет и интенсивность оборота вагонов, а также выполнение в полном объёме технических обслуживаний во время подготовки к перевозкам и текущих отцепочных ремонтов. Бывают случаи поступления вагонов в ремонт после железнодорожной аварии. Таким образом, в результате эксплуатации полувагоны получают целый «букет» всевозможных повреждений, вызванных случайными обстоятельствами. Все эти обстоятельства практически не поддаются никакому прогнозу и учёту. Тем не менее, они оказывают сильное влияние на продолжительность выполнения газорезательных, электросварочных и слесарных работ на кузове и раме полувагонов.

2.2.2.3 Сроки эксплуатации вагонов

Одновременно в ремонт могут поступать вагоны разных лет постройки. Эти вагоны имеют разные сроки эксплуатации. Одно дело, когда в ремонт поступает вагон первый раз после постройки, и совсем другое дело, когда в ремонт поступает вагон последний раз перед списанием. Они, естественно, отличаются между собой и объёмами ремонтных работ. Естественно, что во втором случае объём ремонта и, естественно, его продолжительность будут намного выше. Между этими двумя крайними величинами объёмов ремонтов также существует целый спектр ремонтов, значительно отличающихся друг от друга по объёму.

2.2.2.4 Качество ранее выполненных ремонтов и технических обслуживаний

Большое значение имеет качество ранее выполненных ремонтов и технических обслуживаний. Бывают случаи, когда в ремонт поступает «тяжёлый» вагон, на котором «накладка на накладке» или коррозионные места по всему кузову. Ремонтировать такие вагоны очень трудно, а трудоёмкость их ремонта превышает норму во много раз.

Только после составления дефектной ведомости и определения количества конкретных дефектов, а также использования норматива времени на устранение одного дефекта, можно определить усреднённую (теоретическую) величину трудоёмкости на ремонт вагона. Но эта величина будет только приблизительной (нормированной). Исследования, проведенные в депо для большого количества полувагонов на основании только факторов первой группы, свидетельствуют о большом диапазоне возможных значений трудоёмкостей отдельных видов работ для разных полувагонов. Так, например, величина трудоёмкости электросварочных работ находится в диапазоне от 5,76 до 36,72 чел.-ч, газорезательных – от 0,35 до 12,17 чел.-ч, слесарных – от 3,41 до 13,98 чел.-ч. Таким образом, трудоёмкость (продолжительность) ремонта каждого отдельного вагона, рассчитанная для факторов первой группы, носит случайный характер. Первая группа факторов носит вероятностный характер и способствует образованию поломок с наибольшим диапазоном возможных значений трудозатрат по их устранению.

2.2.3 Человеческий фактор

2.2.3.1 Работоспособность исполнителей

Поточное вагоноремонтное производство – это сложная человеко-машинная система на слаженную работу которой оказывают влияние многие случайные факторы, в том числе и человеческий фактор. Поэтому очень важную вероятностную составляющую представляет также и вторая группа факторов. Человек – сложнейшее психологическое и психофизиологическое существо, и на

его трудоспособность также оказывает влияние огромное количество всевозможных случайных факторов, внутреннего и внешнего характера. Хотя вопросами изучения этих факторов занимаются совсем иные отрасли науки (социология, медицина, физиология и психология труда), мы хотим обратить на них внимание, так как они также определённым образом затрагивают интересующую нас проблему – совершенствование технологии и организации ремонта вагонов на потоке.

Известно, что условия труда, его интенсивность или монотонность, состав рабочих операций в совокупности изменяют психофизиологические показатели жизнедеятельности организма: может постепенно уменьшаться сила мускулов, подниматься кровяное давление, повышаться пульс, расти количество ошибок, снижаться внимание, ослабляться психическая реакция [345]. Усреднённые результаты регистрации этих показателей в течение рабочего дня представлены на рис. 2.3.

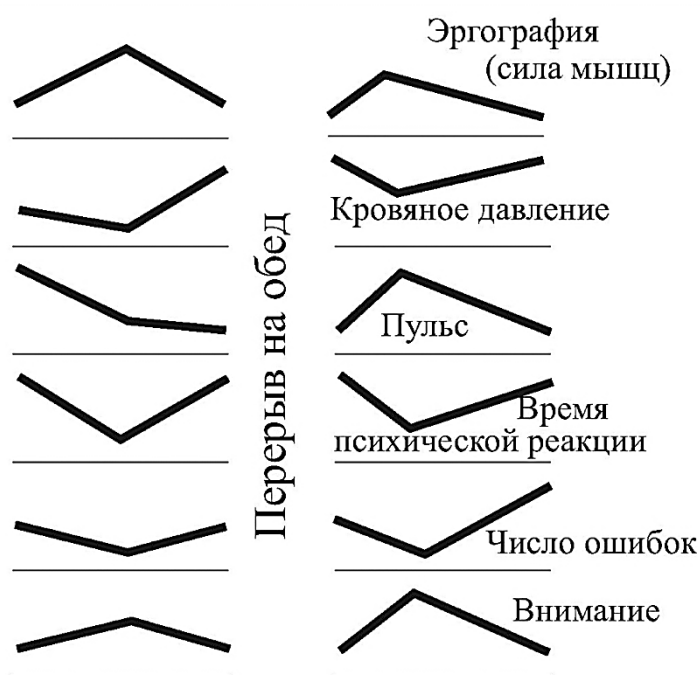


Рисунок 2.3 – Качественные зависимости работоспособности в течение рабочего дня с выделением отдельных психофизиологических показателей

Результатом этих изменений является снижение уровня работоспособности человека в целом. Во время трудовой деятельности работоспособность организма человека всё время изменяется. Существуют общие причины, которые влияют на работоспособность человека во времени. Эти изменения происходят на протяжении рабочего дня, суток и недели. Их принято называть динамикой работоспособности [345].

Рассмотрим вначале изменения уровня работоспособности человека на протяжении рабочего дня (рис. 2.4). Уровень работоспособности человека показан в условных единицах, а сама кривая изображает только общую тенденцию её изменения.

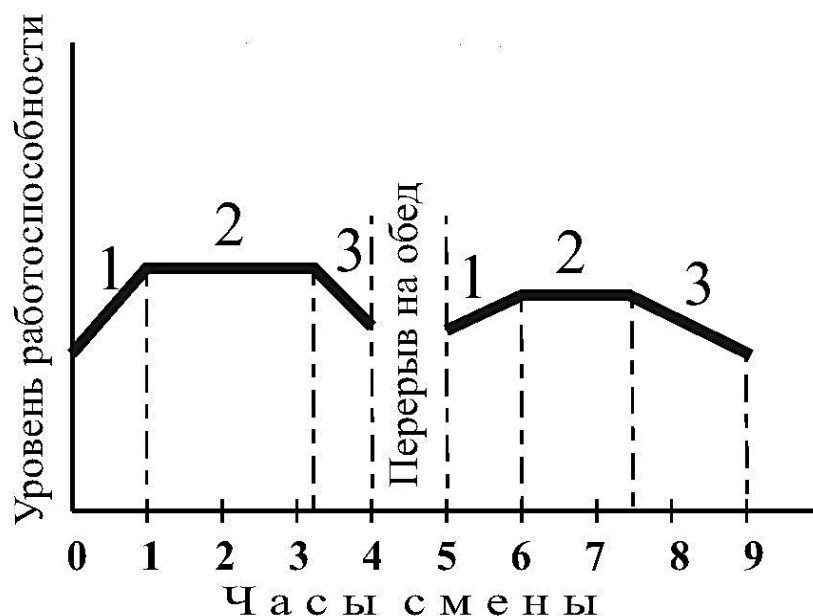


Рисунок 2.4 – Общая тенденция изменения уровня работоспособности человека в течение рабочей смены:

1 – период вхождения в работу; 2 – период устойчивой работоспособности на высоком уровне; 3 – период развивающегося утомления

Таким образом, в течение всей рабочей смены можно выделить несколько характерных стадий работоспособности. Первая стадия работоспособности характеризуется вработываемостью. В период этой стадии работоспособность постепенно увеличивается и в конечном итоге достигает максимального своего

значения. Но в самом начале этого периода работоспособность невысокая. Врбатываемость имеет место потому, что на каждого человека влияют многие побочные факторы, которые возникают ещё до начала рабочей смены. Всё дело в том, что перед тем, как приступить к выполнению производственных функций, человек, как правило, всегда чем-то занят, его что-то отвлекает или волнует. Это может быть, например, причина бытового характера: конфликты в семье, бытовая неустроенность, проблема со здоровьем, с детьми и т. п. Эта причина может какое-то время занимать его мысли, пока не уступит лидирующее положение основной трудовой функции. Вторая стадия характеризуется устойчивой работоспособностью на наиболее высоком уровне для данного человека. Во время этой стадии достигаются самые высокие технико-экономические показатели работы. На третьей стадии уровень производственных показателей постепенно начинает снижаться, уменьшается производительность труда и ухудшается качество работы. Вместе с тем нарастает напряжённость психофизиологических функций. Таким образом, основным признаком третьей стадии является утомление. По сути дела этот период представляет собой конфликт между основной и восстановительной функциональными системами. Для разных людей эта стадия может иметь разную длительность: от нескольких часов до нескольких минут.

Во второй половине рабочего дня все стадии повторяются, хотя и имеют свои особенности. Так, например, стадия врбатываемости имеет более короткую продолжительность, а стадия устойчивой работы не дотягивает до того уровня, который был в первой половине дня.

Общий уровень работоспособности человека меняется также и в течение всей недели (рис. 2.5).

Кривая работоспособности в течение недели позволяет выделить три стадии: врбатывание (понедельник), относительно постоянная работоспособность (вторник, среда, четверг), развивающееся утомление (пятница, суббота) [345]. Знание этой кривой позволяет правильно планировать

производительность труда человека по дням недели. Кроме того, при планировании режима работы предприятия наиболее оптимальным будет пятидневная рабочая неделя с двумя спаренными выходными днями (суббота и воскресенье). Принятый в настоящее время во многих вагонных депо 4-сменный режим работы с двумя сутками подряд по 12 часов (первая и вторая смены) и затем двухсуточным перерывом, совершенно не соответствует рациональному использованию трудоспособности работников.

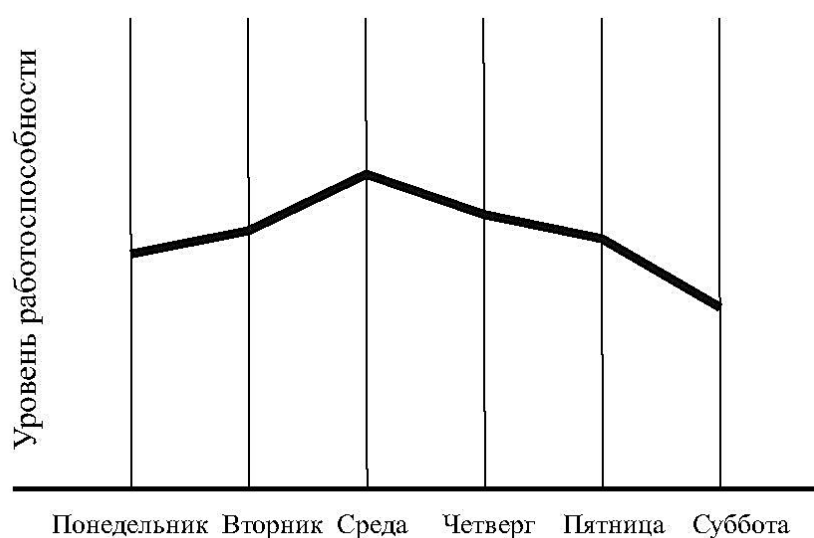


Рисунок 2.5 – Изменение уровня работоспособности в течение всей недели

Ну и, конечно, определённый интерес представляет также изменение уровня работоспособности человека в течение суток (рис. 2.6). Из графика хорошо видно, что в работоспособности человека в течение суток можно выделить три периода. В течение первого периода с 6 часов утра до 14 часов дня работоспособность повышается (кривая А). Своего пика она достигает к 10...11 часам, а потом начинает постепенно снижаться. Во втором периоде она снова повышается (кривая Б). А в течение третьего периода, начиная с 22 часов вечера, начинает падать, причём пик её приходится на 3 часа ночи (кривая В).

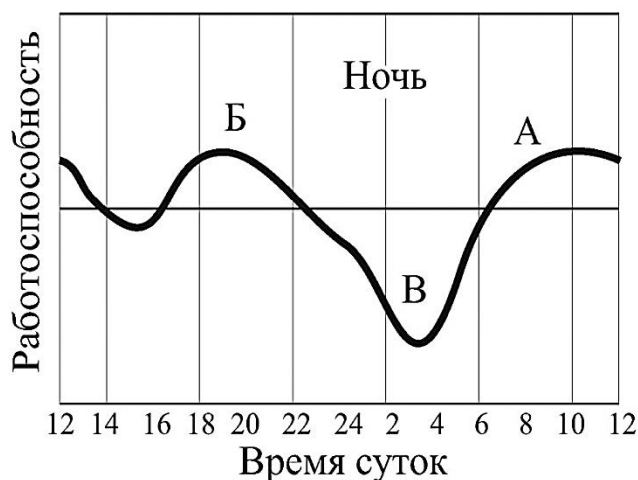


Рисунок 2.6 – Изменение уровня работоспособности человека в течение суток

2.2.3.2 Профессионализм, мастерство, квалификация исполнителей

Кроме общих указанных факторов, влияющих на работоспособность человека, существуют и индивидуальные факторы работоспособности, которые зависят от опыта человека, его возраста, интеллекта, типа характера. Их диапазон в целом может отличаться в 3...4 раза, а то и больше. Учитывая, что для вагоноремонтных предприятий контингент работников относительно равномерен, диапазон индивидуальных способностей, определённый на основании метода экспертных оценок, отличается в 1,3...1,5 раза.

2.2.3.3 Психофизиологические особенности исполнителей

Нельзя исключать и индивидуальные причины, зависящие от психологической и психофизической сущности каждого отдельного человека. Среди психоэмоциональных факторов, оказывающих влияние на всех работающих, существуют факторы, носящие случайный характер. Факторы работоспособности зависят от типа характера, состояния здоровья, настроения, психоэмоционального состояния в данный момент и т. п. Сочетание этих случайных факторов даёт в результате также случайное состояние человека, которое отражается на его работоспособности. Диапазон этих состояний в общем случае может отличаться в несколько раз.

2.2.3.4 Прочие факторы, оказывающие влияние на эффективность работы исполнителей

Кроме представленных графиков изменения работоспособности человека в течение рабочей смены, суток, недели, существуют и другие факторы, оказывающие непосредственное влияние на состояние человека. Так, например, хорошо известно, что на общее состояние человека оказывают сильное влияние разные небесные тела, а также погодные условия. К числу таких факторов можно отнести солнечную активность, магнитные бури, периоды полнолуния, изменения давление атмосферного воздуха и т. п.

Обратим внимание на существование ещё и трёх биологических циклов, которые также затрагивают психологические и физиологические особенности человеческого организма [342]. Это физический цикл продолжительностью 23 суток, эмоциональный цикл – 28 суток, интеллектуальный – 33 суток. Все циклы представляют собой синусоиду. Первая половина цикла протекает в положительной фазе, а вторая половина – в отрицательной. Каждый из биоритмов оказывает влияние на определённые физические и душевные составляющие человеческого организма. Так, физический биоритм оказывает влияние на выносливость, физическое состояние, утомляемость, общий тонус, обострение хронических заболеваний; эмоциональный биоритм воздействует на настроение, напряжённость, эмоциональное состояние; интеллектуальный биоритм влияет на внимательность, способность запоминать, мыслительный процесс. В период положительной фазы показатели трудоспособности повышаются, в период отрицательной фазы – понижаются. Наибольшее значение на человека оказывают периоды времени, когда кривые биоритмов проходят через «нулевую» границу. В этот период возникает «день усталости». В «день усталости» по одному, по двум или по трём ритмам человек подвержен негативным физиологическим изменениям: ухудшается самочувствие, увеличивается риск получения травм, снижается активность и, следовательно, реакция, появляются ошибки, наступает депрессия. Эти биоритмы являются совершенно не зависимыми друг от друга, но

они всегда оказывают на человека совместное влияние.

Необходимо помнить о том, что все люди отличаются друг от друга ещё и темпераментом своего характера, который не может не сказываться на производительности труда.

Согласно классификации И. П. Павлова, существуют четыре ярко выраженных типа высшей нервной деятельности [248]:

1. Слабый тип (меланхолик). Этот тип характеризуется слабостью обоих нервных процессов – и возбуждения, и торможения;
2. Сильный неуравновешенный тип (холерик). У этого типа имеется сильный процесс возбуждения и относительно слабый процесс торможения;
3. Сильный уравновешенный подвижный тип (сангвиник);
4. Сильный уравновешенный, но с инертными нервными процессами (флегматик).

Существуют также и другие бытовые и социальные факторы, которые практически не поддаются контролю, но оказывают непосредственное влияние на возможность выполнения производственным персоналом своих трудовых функций. Обратим внимание на то, что человеческий организм является куда более сложной структурой по сравнению, например, с технологическим оборудованием. Он подвержен не только «поломкам», но и душевным, и психологическим расстройствам, оказывающим влияние на его трудоспособность.

Таким образом, человеческий фактор также является интегральным фактором, зависящим от большого количества случайных причин, и носит вероятностный характер, правда, с меньшим диапазоном возможных значений по сравнению с первым фактором.

На индивидуальную теоретическую (предварительную) трудоёмкость ремонта вагона, определённую с учётом факторов первой группы, накладывается ещё индивидуальная работоспособность каждого конкретного исполнителя. И, таким образом, реальная продолжительность ремонта (время необходимое для выполнения ремонта конкретного вагона конкретными исполнителями) носит ещё

более случайный характер. Лишь после совмещения факторов первой группы с факторами второй группы станет известна фактическая продолжительность выполнения работ. Таким образом, композиция случайных факторов порождает случайную продолжительность выполнения ремонтных работ на позициях. Здесь необходимо подчеркнуть, что нормирование труда имеет значение только для начисления заработной платы, расчёта необходимого контингента работающих, определения конкретной стоимости ремонта вагона, но совершенно никак не связано с научной организацией труда на потоке.

Учитывая, что человеческий фактор оказывает огромное влияние на ход технологического процесса, должна обязательно использоваться такая технология и организация производства, которая бы позволяла свести воздействие этого фактора к минимуму.

Исследователи, которые ранее занимались вопросами анализа работы поточных вагоноремонтных линий, обращали своё внимание в основном только на первую группу факторов [44, 71, 303]. Они изучали вероятностную природу неисправностей на вагонах, не учитывая при этом человеческий фактор, который также самым непосредственным образом влияет на ход технологического процесса. Этот фактор наиболее сложно поддаётся анализу, но учитываться в человеко-машинных системах он должен обязательно. Изучением этого фактора непосредственно занимаются другие науки, но при организации поточного производства ремонта вагонов необходимо обязательно обращать на него внимание и учитывать многие рекомендации, касающиеся научной организации труда человека.

Надо отметить, что факторы этой группы носят общий характер и оказывают своё влияние на ход производственных процессов в различных отраслях промышленности. Поэтому, например, скорость движения сборочных конвейеров на автомобильных заводах уже давно преднамеренно изменяется в течение трудового дня. Для поточного вагоноремонтного производства «скорость» движения потока в конкретный период времени также не в

последнюю очередь определяется трудоспособностью исполнителей и поэтому носит переменный характер.

2.2.4 Организационно-технические факторы

К третьей группе факторов, оказывающих влияние на простой вагонов на ремонтных позициях, по мнению автора, относятся отказы технологического оборудования, ремонтпригодность оборудования (время его восстановления) и перебои в подаче энергоресурсов. Рассмотрим подробнее каждый из них.

2.2.4.1 Отказы технологического оборудования

Согласно исследованиям, проведенным на существующих предприятиях, эти факторы не оказывают существенного влияния на работу производства, если своевременно проводятся планово-предупредительные ремонты и техническое обслуживание, хотя при проектировании нового производства учёт их крайне необходим. Отдельные факторы этой группы при расчёте надёжности поточных линий пытались учесть авторы работы [303]. Исследования, проведенные в вагоноремонтных участках действующих депо, свидетельствуют о том, что учёт этих факторов практически не ведётся, и на предприятиях даже отсутствуют журналы по ремонту оборудования. Опрос мастеров вагоноремонтных участков и работников участков по ремонту оборудования показал, что крупные механизмы (машины для правки кузова вагонов, пресса для правки хребтовой балки и крышек люков полувагонов, мостовые краны, домкраты) выходят из строя очень редко. Причины отказов технологического оборудования в основном связаны с их износом. Новое оборудование при проведении своевременного технического обслуживания практически не выходит из строя.

2.2.4.2 Ремонтпригодность оборудования

Самая сложная поломка любого крупного механизма вагоносборочного участка устраняется в течение суток. Продолжительность устранения поломки влияет на то, как скоро оборудование продолжит свою работу. Естественно, чем старше оборудование, тем чаще и происходят поломки.

2.2.4.3 Перебои в подаче энергоресурсов и материалов

Эти факторы имеют место очень редко и незначительно сказываются на ходе технологического процесса. Но совсем пренебрегать ими не стоит.

Таким образом, отказы этой группы факторов, хотя и имеют место, но на ход выполнения технологического процесса они оказывают незначительное влияние. Вероятность воздействия этой группы факторов на ход производственного процесса составляет $P=0,05$. Факторы третьей группы так же, как и второй, носят общий характер, т. е. могут иметь место в разных отраслях промышленности.

2.2.5 Организационно-технологические факторы

К четвёртой группе факторов, оказывающих влияние на простой вагонов на позициях ремонта, по мнению автора, относятся метод организации ремонта, технологическая структура потока и способ перемещения вагонов между позициями. Рассмотрим каждый из них.

2.2.5.1 Метод организации ремонта

Метод организации ремонта самым непосредственным образом влияет на эффективность ремонта. В разделе 1 уже были подробно рассмотрены возможные методы организации ремонта вагонов и даны им соответствующие оценки.

2.2.5.2 Технологическая структура потока

Технологическая структура во многом определяется принятым методом ремонта, но имеет и самостоятельное значение. От того, насколько правильно продумана технологическая структура, зависит пропускная способность вагоноремонтного потока. Более подробно это будет показано в разделе 3.

2.2.5.3 Способ перемещения вагонов

Способ перемещения объектов ремонта связан с предыдущими двумя факторами, но от него также зависит не мало (см. раздел 3.3).

Факторы этой группы большей частью являются эндогенными и могут быть сведены к минимуму за счёт научной организации поточного ремонтного производства. Правда при новом проектировании и строительстве они целиком определяются внешними структурами (проектными организациями). При

стационарном методе ремонта организационно-технологический фактор играет небольшую роль, так как нет необходимости в постоянном перемещении вагонов. Но стационарный метод является низкопроизводительным из-за того, что не позволяет использовать полный комплекс технологического оборудования. В целом от последней группы факторов зависит 50...60 % успеха и именно её исследованию посвящена большая часть данной работы.

2.3 Выводы по разделу 2

1. Осуществлено параметрическое описание отдельных сторон исследуемого процесса, основанное на эмпирических наблюдениях, которое является исходным уровнем исследования.

2. Проведены экспериментальные исследования по определению фактических данных по трудоёмкостям деповского ремонта вагонов по видам работ, а также по дефектам, встречающимся при ремонте вагонов, и выполняемым операциям. Осуществлена их статистическая обработка и выполнен анализ.

3. Выполненные исследования показывают, что трудоёмкости ремонта вагонов как по отдельным видам работ, так и в целом являются случайными величинами, имеющими довольно широкий разброс. Так, например, трудоёмкости газорезательных работ на разных вагонах отличаются друг от друга в 34,5 раза, трудоёмкости электросварочных работ – в 6,4 раза, трудоёмкости слесарных работ – в 4,1 раза. Для полной трудоёмкости разброс составляет – 2,86 раза. Таким образом, постановка в ремонт на обычный «жесткий» поток вагонов, имеющих такой большой диапазон величин трудоёмкостей, будет непременно вызывать срыв регламентированного такта поточной линии, что и подтверждается реальными данными функционирования поточных линий в существующих вагонных депо.

4. Проведен анализ основных причин, вызывающих непостоянство трудоёмкостей ремонтных работ. Анализ показал, что в эксплуатации находится

значительное количество различных моделей вагонов, имеющих конструкционные отличия. Естественно, что эти отличия сказывается и на видах ремонтных операций, и на их продолжительности. Большое значение имеют условия эксплуатации вагонов, особенно применяемые методы погрузки и выгрузки вагонов. При этих видах операций вагоны наиболее часто получают различные повреждения. Очень важное значение имеет срок эксплуатации вагонов, а также количество и качество ранее выполненных ремонтов и технических обслуживаний. Все эти причины носят эндогенный характер и ремонтное предприятие влиять на них никак не может.

5. Затронуты вопросы влияния человеческого фактора на ход выполнения технологического процесса, который очень сложно поддается анализу, но оказывает самое непосредственное влияние на продолжительность выполнения ремонтных работ и, тем самым, на простой вагонов на позициях. Даже при одной и той же трудоёмкости ремонта разные исполнители могут потратить раное время на выполнение работы.

6. Рассмотрены организационно-технические и организационно-технологические факторы производства и их влияние на стабильность технологического процесса. Эти факторы являются экзогенными и могут быть скорректированы в рамках самого предприятия.

7. Показано, что для вагоноремонтного производства, носящего ярко выраженный вероятностный характер, целесообразно использовать такие организационно-технические решения производственных систем, которые бы обеспечивали индивидуальное асинхронное перемещение каждого вагона вдоль позиций потока. Таким потоком может быть гибкий вагоноремонтный поток (поточная ремонтная сеть).

РАЗДЕЛ 3
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРЫ
 ГИБКИХ ВАГОНРЕМОНТНЫХ ПОТОКОВ.
МЕТОДЫ РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА

3.1 Современные требования к проектированию вагоноремонтных предприятий

Повышение качества ремонта вагонов, сокращение времени пребывания вагонов в ремонте, создание условий для постоянного роста производительности труда являются наиболее важными требованиями для вагоноремонтных предприятий. Поэтому переход на использование современных индустриальных методов ремонта вагонов является одной из ключевых задач вагонного хозяйства. Однако эта задача решается крайне медленно. Как показал опыт ряда существующих депо, переход со стационарного метода ремонта вагонов на «жесткий» «классический» поток не дал тех результатов, которых от него ожидали. При его использовании возникает серьёзное противоречие между случайной трудоёмкостью ремонта вагонов, которая может принимать значения в очень широком диапазоне, и регламентированным тактом поточной линии. Известно, что «жесткие» поточные линии для ремонта вагонов очень сильно зависят от синхронизации времени выполнения работ на позициях. Поэтому сбой такта на любой из позиций мгновенно приводит к сбою всего потока. Если для «жестких» поточных линий предусмотрено одновременное перемещение всех вагонов, то для «полужестких» поточных линий – поочерёдное. Но, тем не менее, и для «жестких», и для «полужестких» поточных линий существует только один-единственный вариант маршрута перемещения вагонов между позициями, так как они имеют одну транспортную степень свободы.

Решить эти задачи можно только за счёт внедрения индустриальных методов производства, в основу которых должен быть положен не «жесткий» поток ремонта вагонов, как это было раньше, а «гибкий» поток. Для этого типа

потока синхронизация времени выполнения операций на позициях не актуальна, так как перемещение вагонов осуществляется независимо друг от друга (индивидуально). К главному достоинству гибкого потока относится то, что он позволяет адаптироваться к трудоёмкости каждого конкретного вагона, а это благоприятно сказывается на общем времени простоя вагонов в ремонте – оно значительно сокращается. Как будет показано в дальнейшем гибкие потоки в зависимости от своей структуры позволяют реализовывать до нескольких тысяч возможных вариантов маршрута перемещения вагонов.

Таким образом, речь идёт о строительстве вагоноремонтных предприятий нового поколения, основанных на гибких системах, адаптируемых к ремонту каждого конкретного вагона. Для возможности реализации данной вагоноремонтной парадигмы на практике, а также для более полного изучения всех преимуществ гибкого потока, необходима более глубокая теоретическая база, позволяющая на прочной научной основе дать исчерпывающие ответы на многие вопросы, касающиеся совершенствования промышленных методов ремонта вагонов, и в том числе анализа структур гибких потоков.

Внедрение гибких потоков в вагоноремонтное производство является новым направлением и поэтому требует серьёзных проработок ещё на предпроектных стадиях. Большое внимание здесь должно быть уделено разработке моделей и использованию имитационного моделирования для анализа функционирования будущего производства с целью оптимизации его структуры и основных технико-экономических параметров.

Необходимо ещё отметить и такой немаловажный факт, касающийся «классических» поточных линий. Для того, чтобы выполнить внешнее условие поточного производства – заданный ритм линии, исполнителям приходится работать неритмично – создаются авральные бригады, рабочие перебрасываются с одних позиций на другие, приходится ускорять темп работы, заниматься штурмовщиной и т. п. Нам же видится, что более рациональным решением является такая организация производства, когда в первую очередь именно

исполнители работают ритмично на своих рабочих местах (внутренний ритм), а ритм поточной линии (внешний ритм) отодвигается уже на второй план.

Поэтому наиболее правильным представляется решение, связанное вообще с отходом от какой-либо синхронизации, с переходом на свободный режим перемещения вагонов.

Одним из таких решений для среды, которая ремонтирует, является асинхронный гибкий поток. Разнообразие такого потока проявляется в возможности адаптироваться к каждому ремонтируемому вагону. Для каждого отдельного вагона может быть реализован свой индивидуальный «плавающий» такт и свой индивидуальный маршрут перемещения. Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов (АГПРВ) представляет собой следующий, более эффективный этап в совершенствовании и развитии поточного ремонтного производства, обладающий громадными потенциальными возможностями. При его создании, однако, требуется использование более точных методов проектирования и расчёта. АГПРВ может быть получен в результате трансформации «классических» поточных линий за счёт изменения их структуры и связей между элементами. АГПРВ имеет более высокий уровень системности по сравнению с существующими поточно-конвейерными линиями (ПКЛ).

АГПРВ позволяет значительно расширить номенклатуру типов ремонтируемых вагонов и осуществить переход от однопредметной специализации (один тип вагона) к многопредметной (несколько типов вагонов и даже несколько видов ремонта: деповской, капитальный).

Дадим основные понятия поточного производства применительно к АГПРВ. К основным понятиям относятся: «поток», «поточная ремонтная сеть», «асинхронность», «гибкость», «технологический участок», «технологическая позиция», «ремонтный модуль», «транспортный модуль», «модуль для ожидания», «усреднённый такт».

Асинхронность потока свидетельствует о том, что вагоны перемещаются с одной позиции на другую не все одновременно, через регламентированные

промежутки времени, а поочерёдно – по мере необходимости и возможности. Асинхронность – это временной показатель.

В общем случае термин «гибкость» – это интегральное понятие, затрагивающее технические, технологические, организационные, управленческие аспекты современного производства. В машиностроении и приборостроении под «гибкостью» в первую очередь подразумевается возможность быстрого перехода к выпуску продукции иного типоразмера (другая модель). В вагоноремонтном же производстве, в виду сильного разброса трудоёмкостей ремонтных работ, каждый очередной вагон – это уже «другая модель». Поэтому здесь при разработке концепции гибкости следует исходить, прежде всего, из гибкости транспортной системы, разрешающей производить многовариантные индивидуальные перемещения вагонов между ремонтными позициями, и от свободного режима перемещения вагонов. В общем случае под гибкостью потока необходимо понимать свойство, позволяющее обеспечивать ему эффективное и качественное выполнение ремонтных работ, не изменяя свою организационную структуру.

Основное преимущество гибкого потока состоит в том, что транспортная система между позициями организована таким образом, что позволяет перемещать вагон с любого ремонтного модуля j -й позиции на любой свободный ремонтный модуль $(j+1)$ -й позиции (образуется поточная ремонтная сеть).

Под технологическим участком понимается часть территории производственного корпуса, предназначенная для выполнения отдельного завершённого этапа производственного процесса. На рис. 3.1 показаны основные технологические участки главного вагоноремонтного корпуса. Большими стрелками показано направление движения главного потока ремонта вагонов; маленькими стрелочками показаны возможные направления перемещения трансбордерных тележек.

Количество производственных участков определяется, исходя из технологии ремонта, применяемого крупногабаритного технологического оборудования, специфики работы, категории помещений по взрывопожарной и пожарной

опасности и т. п.

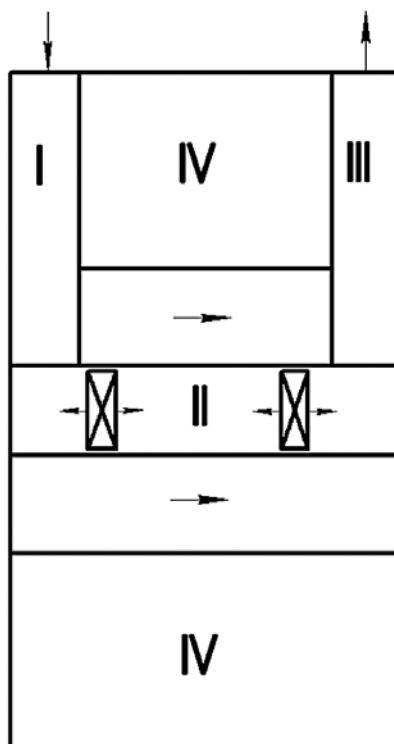


Рисунок 3.1– Укрупнённая компоновка главного вагоноремонтного корпуса, где I– участок подготовки вагонов к ремонту; II– главный вагоноремонтный участок; III– участок окраски и сушки вагонов; IV– остальные участки и отделения для ремонта узлов и деталей вагонов

Участки I, II и III представляют собой разные стадии (этапы) генерального потока ремонта вагонов.

Продолжительности выполнения операций на позициях участков I и III носят относительно стабильный характер, чем на позициях участка II. Поэтому на этих участках может быть организован полужёсткий поток. На участке II, где трудоёмкости ремонтных работ на вагонах могут отличаться друг от друга в широком диапазоне, представляется целесообразным организовать асинхронный гибкий поток.

Таким образом, генеральный вагоноремонтный поток (ГВРП) включает в себя следующие потоки:

III– поток подготовки вагонов к ремонту (участок I);

ГПР– гибкий ремонтный поток вагонов (участок II);

ПО– поток окраски вагонов (участок III).

На каждом технологическом участке может быть расположен целый ряд технологических позиций.

Под технологической позицией будем понимать часть технологического участка, специализированного для выполнения строго определённого комплекса технологических операций. Каждая технологическая позиция может включать в себя определённое количество идентичных ремонтных модулей.

Перестановка вагонов между технологическими позициями осуществляется при помощи трансбордерных тележек. С увеличением числа позиций увеличивается и число перестановок вагонов. Поэтому для сокращения потерь времени на транспортировку вагонов количество перестановок должно быть как можно меньше, т. е. минимально необходимым.

Все технологические модули, которые входят в структуру потока ремонта вагонов, можно разделить по функциональному назначению на три группы. Первая группа – это ремонтные модули (*РМ*), на которых непосредственно осуществляется ремонт вагонов. Вторая группа – это транспортные модули (*ТМ*), которые служат для транспортировки объектов ремонта между остальными модулями. Третья группа – это буферные модули, или модули для ожидания (*ОМ*), которые служат для выравнивания неравномерности движения объектов ремонта между *РМ*.

3.2 Структурно-параметрический анализ перспективных вагоноремонтных предприятий с гибким потоком ремонта вагонов

Работа потока осуществляется в пространстве и во времени, поэтому и исследования надо проводить по двум направлениям. С пространством связана структура потока, которая является его консервативной составляющей, изменяющейся крайне редко, и представляет собой сложную организационно-техническую систему. Вместе с тем эта составляющая самым непосредственным

образом влияет на функционирование потока. А функционирование потока во времени является его динамической составляющей. В данном разделе проведём структурно-параметрический синтез и анализ возможной архитектуры потоков.

Таблица 3.1 – Вид поточной линии в зависимости от пространственного и временного параметров

Вид поточной линии	Наименование параметров	
	Путь перемещения вагонов	Время между перемещениями вагонов (такт)
Жёсткая	жёсткий	жёсткое
Полужёсткая	жёсткий	гибкое
Гибкая	гибкий	гибкое

Важной задачей при проектировании перспективных вагоноремонтных предприятий является построение рациональных компоновок участков. Структура генерального вагоноремонтного потока (ГВРП) определяет компоновку и конфигурацию всего здания вагоноремонтного предприятия, поэтому остановимся на ней по-подробнее. Для вагоноремонтных предприятий нового поколения, исходя из технологии ремонта, ГВРП должен состоять из трёх последовательно соединённых между собой участков, различающихся не только по технологическому признаку, но и по величине размаха трудоёмкостей, выполняемых работ: I – участка подготовки вагонов к ремонту (УПР), II – главного вагоноремонтного участка (ГВРУ) и III – малярного участка (МУ). Как показали исследования, трудоёмкости работ на участке подготовки вагонов к ремонту и на малярном участке носят относительно стабильный характер. Но как было показано в разделе 2 на примере полувагонов, самый большой размах трудоёмкостей работ, выполняемых при ремонте вагонов, приходится на главный вагоноремонтный участок, на котором производится весь основной комплекс ремонтных работ по кузову и раме. Поэтому именно на этом участке и должен быть обязательно использован гибкий поток ремонта вагонов. На остальных участках успешно могут применяться «полужёсткие» потоки.

Как мы уже отмечали, фактические трудоёмкости одних и тех же видов

ремонтных работ, даже на вагонах одного и того же типа, очень сильно отличаются друг от друга (раздел 2). Поэтому в условиях «жесткого» (одновременное перемещение вагонов) и «полужесткого» (поочередное перемещение вагонов) потоков, когда вагоны следуют друг за другом по одному и тому же пути, они сильно взаимозависимы между собой и оказывают огромное влияние на перемещение друг друга, что сказывается на их общем перемещении и снижает пропускную способность всего потока в целом. Так, например, если на вагоне, находящемся на j -й позиции, ремонтные работы уже будут завершены, а на следующей $(j+1)$ -й позиции в этот момент работы на другом вагоне ещё будут продолжаться, то, естественно, что перемещение вагона не состоится. Он будет продолжать оставаться на j -й позиции до тех пор, пока не освободится место на $(j+1)$ -й позиции. Исходя из широкого размаха трудоёмкостей ремонтных работ на вагонах и применения «жесткой» транспортной системы, можно предположить, что такая негативная ситуация с перемещениями вагонов в существующих депо будет иметь место постоянно. Маневренность вагонов на таких потоках равна нулю, т. е. количество возможных вариантов пути перемещения вагонов равно единице. Таким образом, у вагонов, не смотря на их различное техническое состояние, и вытекающий отсюда ожидаемый различный простой в ремонте, нет никакого выбора варианта маршрута перемещения. Какой-либо «обгон» при такой организации потоков просто не возможен. Вагоны находятся в единой «связке», которая исключает всякую мобильность.

В случае же гибкого потока мы будем наблюдать совсем иную картину. Здесь вагон с любого модуля j -й позиции может быть легко перемещён на любой модуль $(j+1)$ -й позиции. Но, даже не вдаваясь глубоко в отдельные тонкости функционирования гибкого потока, можно с уверенностью предположить, что в той системе, где есть определённая транспортная свобода (а гибкий поток обладает двумя степенями свободы), где всегда имеется потенциальная возможность выбора пути перемещения вагона вдоль позиций потока, там пропускная способность потока будет больше, а простои вагонов в ремонте будут

меньше.

Обычно под структурой системы понимается устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени совокупность элементов и связей между ними [230]. В качестве «элементов» вагоноремонтного потока будем рассматривать технологические модули. Структура «жесткого» потока ремонта вагонов определяется количеством ремонтных путей, количеством позиций на каждом пути и количеством мест, размещаемых на одной позиции. Под структурой гибкого вагоноремонтного потока будем понимать количество позиций, количество модулей на каждой позиции и технологические связи между ними. В общем случае структура гибкого потока зависит от программы ремонта, выбранного технологического процесса и номинального годового фонда времени работы предприятия.

Для лучшего понимания мобильных свойств гибкого потока введём показатель «структурной гибкости потока». Под «структурной гибкостью потока» будем понимать количество возможных вариантов пути (маршрутов) перемещения вагонов между позициями потока. Наличие структурной гибкости является архиважным условием для нормального функционирования вагоноремонтных потоков. Величина структурной гибкости является дискретной величиной, которая изменяется скачкообразно с изменением структуры потока.

Общее количество возможных маршрутов перемещения вагонов через ремонтные модули гибкого потока может быть определено по формуле

$$\Psi = \prod_{j=1}^m n_j \quad (3.1)$$

где n_j – количество ремонтных модулей на j -й позиции, $j=1, 2, 3, \dots, m$;

m – общее количество позиций гибкого потока.

Для «жестких» или «полужестких» потоков Ψ определяется исходя из количества используемых параллельных путей на участке ($\Psi = 2$ – если два пути; $\Psi = 3$ – если три пути, и т. д.).

На разных участках генерального вагоноремонтного потока из-за разной

структурной компоновки могут быть приняты разные системы перемещения вагонов. На участке подготовки вагонов к ремонту и малярном участке для перемещения вагонов вдоль позиций могут быть предусмотрены обычные грузоведущие конвейеры, толкающие вагоны по рельсам. На главном вагоноремонтном участке должны быть предусмотрены специальные транспортные агрегаты, перемещающиеся в транспортном пролёте, которые переставляют вагоны между параллельно расположенными модулями. В связи с этим появляются места сопряжения участков – «узлы». «Узлом» будем называть те позиции, которые обслуживаются одновременно несколькими типами транспортных систем. В нашем случае можно выделить два таких узла, которые условно обозначим: узел «А» и узел «Б». Узел «А» расположен в месте сопряжения участка подготовки вагонов к ремонту с главным вагоноремонтным участком, а узел «Б» – в месте сопряжения главного вагоноремонтного участка с малярным участком. В узел «А» вагоны подаются при помощи грузоведущих конвейеров, а забираются оттуда с помощью транспортного агрегата. В узле «Б» всё происходит наоборот, вагоны подаются в него с помощью транспортного агрегата, а забираются при помощи грузоведущих конвейеров.

По технологической принадлежности узел «А» может быть последней позицией участка подготовки вагонов к ремонту или первой позицией главного вагоноремонтного участка. Соответственно, узел «Б» может быть последней позицией главного вагоноремонтного участка или первой позицией малярного участка.

На рис. 3.2 схематично показаны соединяемые участки генерального вагоноремонтного потока и возможные варианты принадлежности узлов участкам. Здесь I, II, III – участки ГВРП; IV – остальные участки и отделения вагоноремонтного предприятия.

Возможны следующие варианты сочетаний принадлежности узлов участкам по технологическому признаку:

- вариант 1. Узел «А» принадлежит участку подготовки вагонов к ремонту, а

узел “Б” – малярному участку (рис. 3.2, а);

- вариант 2. Узел “А” принадлежит участку подготовки вагонов к ремонту, а узел “Б” – главному вагоноремонтному участку (рис. 3.2, б);

- вариант 3. Узел “А” принадлежит главному вагоноремонтному участку, а узел “Б” – малярному участку (рис. 3.2, в);

- вариант 4. Узлы “А” и “Б” принадлежат главному вагоноремонтному участку (рис. 3.2, г).

Если узел “А” относится к участку подготовки вагонов к ремонту, то будем обозначать его как “А_I”, в противном случае – как “А_{II}”. Для узла “Б” возможны следующие варианты: “Б_{II}” и “Б_{III}”.

Возможные варианты принадлежности узлов участкам ГВРП и соответствующие им формулы расчёта его структурной гибкости представлены в табл. 3.1.

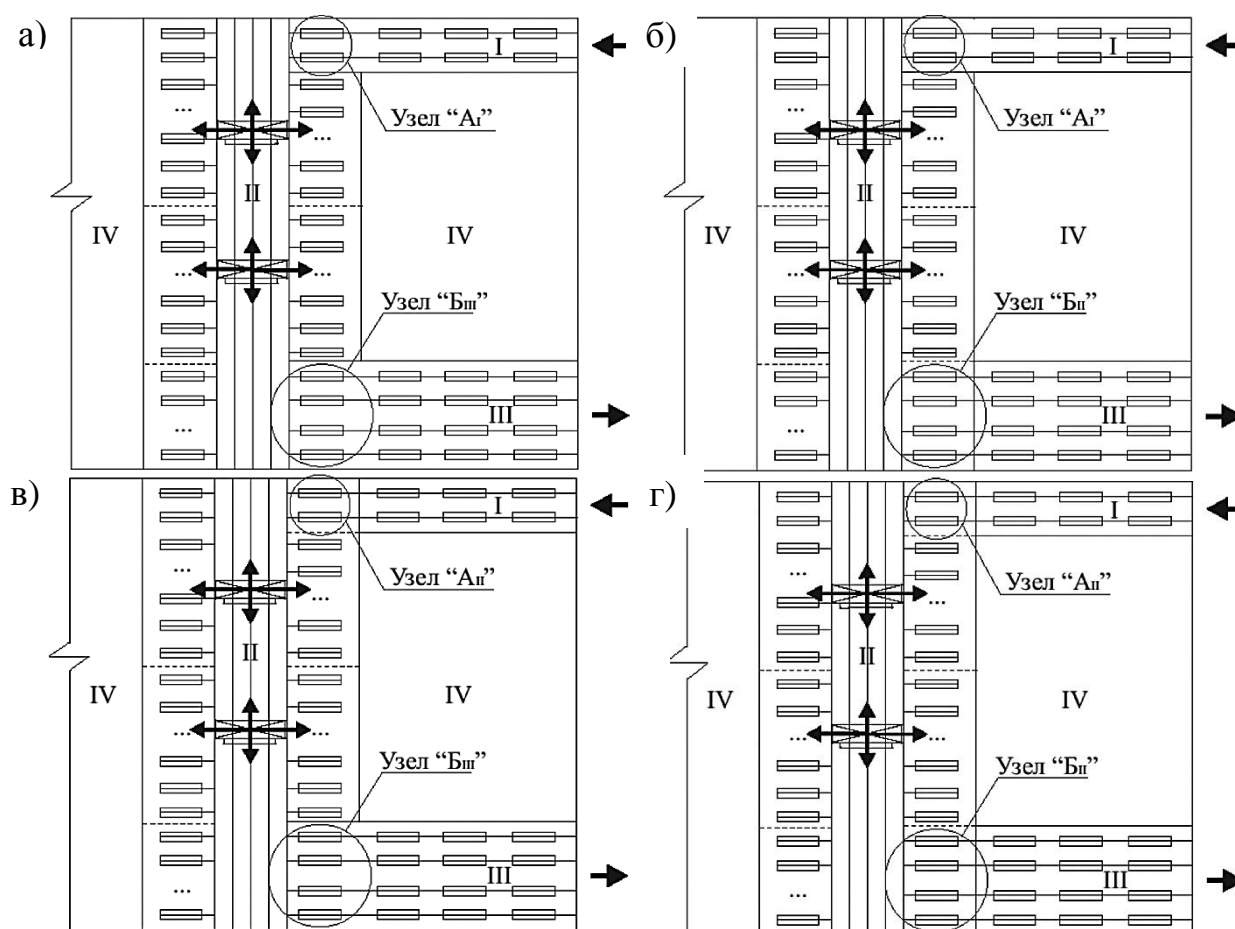


Рисунок 3.2 – Возможные варианты стыковки участков генерального вагоноремонтного потока

Таблица 3.2 – Возможные варианты принадлежности узлов участкам генерального вагоноремонтного потока и формулы расчёта его структурной гибкости

Номер варианта	Наименование участка ГВРП			Формула расчёта структурной гибкости
	Участок подготовки вагонов к ремонту	Главный вагоноремонтный участок	Малярный участок	
1	Узел "А _I "	-	Узел "Б _{III} "	$\Psi_0 = \Psi_I \cdot \Psi_{II} \cdot \Psi_{III}$
2	Узел "А _I "	Узел "Б _{II} "	-	$\Psi_0 = \Psi_I \cdot \Psi_{II}$
3	-	Узел "А _{II} "	Узел "Б _{III} "	$\Psi_0 = \Psi_{II} \cdot \Psi_{III}$
4	-	Узел "А _{II} "; Узел "Б _{II} "	-	$\Psi_0 = \Psi_{II}$

Так как узлы сопряжения связаны с одной стороны с грузоведущими конвейерами, то, следовательно, для возможности перестановки вагонов количество модулей в них должно совпадать с количеством путей (конвейеров) на соответствующих участках. В зависимости от принадлежности этих узлов различным участкам, изменяется гибкость всего генерального вагоноремонтного потока. Если первая и последняя позиции главного вагоноремонтного участка будут непосредственно сопряжены с остальными участками (вар. 4), то общая гибкость всего генерального вагоноремонтного потока будет полностью определяться только гибкостью главного вагоноремонтного потока $\Psi_0 = \Psi_{II}$. В случае, если указанные позиции не будут сопряжены с остальными участками, то общая гибкость генерального вагоноремонтного потока определится следующим образом: $\Psi_0 = \Psi_I \cdot \Psi_{II} \cdot \Psi_{III}$.

Из отдельных ремонтных позиций формируются участки, а из участков – ГВРП. Количество позиций (фаз) на потоке должно устанавливаться, исходя, прежде всего, из принятого технологического процесса. Первым и самым главным условием организации вагоноремонтных потоков должна стать специализация ремонтных позиций, что равносильно дифференциации всего технологического процесса на отдельные группы технологических операций, закреплённых за позициями. Перемещение вагонов между позициями должно носить индивидуальный характер и осуществляться только после того, как будет

выполнен весь комплекс ремонтных работ, закреплённых за данными позициями. Все позиции потока должны быть специализированы либо на выполнении конкретных операций (моечных, дефектовочных, слесарных, газорезательных, электросварочных, разборочных, сборочных, малярных, испытательных, приёмосдаточных), либо быть привязаны к специальному технологическому оборудованию, позволяющему производить несколько видов работ. Специализация позиций создаёт благоприятные условия для повышения качества ремонта и роста производительности труда, так как позволяет максимально оснастить рабочие места специальным оборудованием и механизмами, организовать подачу запасных узлов и деталей к строго определённым позициям, а также повысить дисциплину труда и культуру производства.

Чтобы вся запланированная программа ремонта вагонов могла быть выполнена в течение года, на потоке должно быть предусмотрено достаточное количество мест (модулей) для постановки вагонов. Зная программу ремонта, нормативное время пребывания вагонов в ремонте, а также номинальный годовой фонд времени работы предприятия, можно по известной классической формуле определить фронт работ (количество модулей) на потоке [307]

$$R = \frac{NT_{\text{н}}}{Fc}, \quad (3.2)$$

где N – программа ремонта вагонов;

$T_{\text{н}}$ – нормативный простой вагонов в ремонте, ч (для полувагонов $T_{\text{н}}=18$ [237]);

F – номинальный годовой фонд времени работы участка в одну смену, ч ($F=2002$) [268];

c – число рабочих смен, $c=2$ [238].

Общий простой вагонов на потоке должен складываться из простоев на отдельных участках

$$T_{\text{o}} = T_{\text{I}} + T_{\text{II}} + T_{\text{III}}. \quad (3.3)$$

Следует обратить внимание на то, что при проектировании новых вагоноремонтных предприятий время простоя вагонов в ремонте, указанное в нормах [237], должно быть обязательно откорректировано с учётом реальных возможностей производства.

Вся совокупность операций технологического процесса должна быть строго распределена между специализированными позициями. Средняя продолжительность простоя вагонов непосредственно в ремонте равна сумме средних продолжительностей времени простоя вагонов на каждой позиции

$$T^{cp} = t_1^{cp} + t_2^{cp} + \dots + t_j^{cp} + \dots + t_m^{cp}, \quad (3.4)$$

где t_j^{cp} – среднее время простоя вагонов на j -й позиции, $j=1, 2, 3, \dots, m$.

Общее количество ремонтных модулей, определяемое по формуле (3.2), должно быть распределено между всеми позициями потока пропорционально среднему времени выполнения ремонтных работ на этих позициях.

Конкретное количество модулей на j -й позиции зависит от средней продолжительности времени выполнения ремонтных работ на j -й позиции и может быть определено следующим образом

$$n_j = \frac{R t_j^{cp}}{T^{cp}} \quad (3.5)$$

Общее количество ремонтных модулей на всём потоке складывается из количества модулей на отдельных позициях

$$R = \sum_{j=1}^m n_j. \quad (3.6)$$

Количество позиций на потоке связано с особенностями технологического процесса, а число модулей на каждой позиции напрямую зависит от продолжительности времени выполнения работ на позициях. Чем дольше продолжительность времени выполнения работ на позиции, тем большее количество ремонтных модулей (мест) должно на ней находиться.

Существует определённая (но не строгая для некоторых операций) последовательность выполнения ремонтных работ. Поэтому структурой потока для ремонта вагонов можно варьировать. Это подтверждается широким спектром различных структур поточных линий, имеющихся на сегодняшний день в существующих вагонных депо [234].

На первом этапе проектирования гибкого потока необходимо выбрать несколько наиболее подходящих альтернативных вариантов структур его реализации. А на втором этапе, уже при помощи имитационного моделирования этих вариантов, более точно определить реальную пропускную способность каждого из них и принять наиболее приемлемый вариант структуры. Сколько же должно быть позиций на потоке? В типовых проектных решениях для депо по ремонту полувагонов предлагается на вагоноремонтном участке организовать четыре позиции, в том числе последняя – малярная [337]. При этом предварительные разборочные и газорезательные работы рекомендуется производить на отдельном участке уравнительного ремонта, который находится вне вагоноремонтного участка. В инструктивно-методических указаниях и нормативах по организации поточного деповского ремонта грузовых вагонов рекомендуется иметь на вагоноремонтном участке от 3 до 5 позиций [103]. В работе [277] рассматриваются 4...6 позиций на поточной линии. Надо обратить внимание на то, что с момента выхода данных работ прошло уже много лет. За этот период вагонный парк сильно изнашивался, и трудоёмкость ремонта вагонов выросла в несколько раз. Кроме того, указанные работы предполагают наличие «жёстких» поточных линий, перед постановкой на которые вагоны должны предварительно пройти через стационарные позиции уравнительного ремонта, расположенные вне вагоноремонтного участка, на которых частично производятся разборочные и газорезательные работы. Простой же вагонов на этих позициях иногда соизмеримы с простоями на самой поточной линии. Поэтому, считать полноценным потоком такой способ организации ремонта вагонов можно только с большой долей условности. Гибкий же поток ни в каких

предварительных «уравнительных» позициях не нуждается – на него сразу же могут поступать все вагоны подряд, независимо от их технического состояния. Так как это, естественно, будет способствовать увеличению объёмов работ на потоке, то количество позиций при гибком потоке должно быть больше, чем при «жёстком» потоке. Вместе с тем, каждая дополнительная позиция – это лишнее перемещение. Чем больше позиций на потоке, тем больше и число перемещений между этими позициями. А каждое дополнительное перемещение – это и дополнительные материальные потери, связанные с этим перемещением, а также удлинение ремонтного цикла.

Получается, что при небольшом количестве позиций на потоке невозможно осуществить комплексную механизацию ремонтных работ, а излишнее же количество позиций создаёт дополнительные сложности, связанные с перемещением вагонов между позициями. Поэтому позиций на потоке должно быть минимально необходимое, но достаточное для полного технического оснащения количество. Исходя из практики, с целью широкого использования комплексной механизации и автоматизации производства, применения специальных машин и механизмов, целесообразно на главном вагоноремонтном участке иметь шесть-семь специализированных позиций. Весь объём ремонтных работ должен быть рационально распределён между этим числом позиций. Учитывая, что структура потока самым непосредственным образом влияет на возможность независимого перемещения вагонов между ремонтными позициями, то оптимальное решение следует искать в разумном компромиссе между количеством позиций и количеством модулей на позициях. При одном и том же общем количестве модулей на гибком потоке, но различном количестве позиций и различном количестве модулей на позициях возникает разное количество потенциальных вариантов пути перемещения вагонов между модулями.

Желательно, чтобы средние продолжительности времени выполнения работ на позициях совпадали бы между собой. Тогда бы количество модулей на позициях было бы одинаковым, что позволило бы получить наибольшее

количество возможных вариантов пути перемещения вагонов между модулями потока (при заданном числе позиций). Но это идеальный случай. В реальных же технологических процессах ремонта вагонов этого добиться практически невозможно, так как технологический процесс включает в себя очень разнородные группы операций, которые характеризуются совершенно разными временными показателями. Поэтому средние продолжительности времени выполнения работ на позициях будут существенно отличаться друг от друга, и, естественно, позиции будут отличаться количеством ремонтных модулей. Мы говорим о средней продолжительности времени выполнения работ на позициях, потому что из-за большого различия трудоёмкостей работ на разных вагонах даже на одних и тех же позициях простои будут различными, так как трудоёмкости ремонта являются случайными величинами и носят вероятностный характер.

Хорошо, если продолжительность технологических операций на позициях удастся «вписать» в структуру потока, обладающего существенной гибкостью. В противном случае структура должна приниматься такой, какой она получается в результате конкретного расчёта. Если выбирать между готовой абстрактной структурой, обладающей даже значительным числом вариантов возможных перемещений, и реальной структурой, соответствующей принятой технологии, то предпочтение следует отдавать последней, так как именно технология является определяющей (структурообразующей) при формировании структуры потока.

При проектировании вагоноремонтных потоков может быть создано огромное количество различных вариантов структур, отличающихся между собой числом позиций и числом модулей на позициях, что будет отражаться на их пропускной способности.

Воспользуемся методом морфологического анализа и определим возможные варианты распределения ремонтных модулей между позициями потока, а также определим их структурную гибкость. Суть метода морфологического анализа состоит в том, чтобы с помощью комбинаторики путём построения

морфологической матрицы постараться получить все теоретически возможные варианты реализации структуры объекта с требуемым критерием.

В табл. 3.2 представлены окончательные результаты морфологического анализа, соответствующие тем вариантам структур потоков, при которых значения возможных сценариев перемещения вагонов оказались наибольшими.

Из результатов анализа, представленных в табл. 3.2, можно наблюдать общую тенденцию изменения числа возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока. Эта тенденция проявляется в том, что при заданном общем количестве модулей на потоке, с постепенным увеличением числа позиций, вначале количество возможных путей перемещения вагонов возрастает, а после того, как оно достигает своего максимального значения, при дальнейшем наращивании числа позиций наблюдается спад. По отдельным вариантам ($R = 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28$) видно, что после достижения «пикового» значения очередное увеличение общего числа позиций на единицу уже не отражается на увеличении общего количества возможных вариантов пути перемещения вагонов. В остальных же случаях оно вообще начинает сразу же уменьшаться.

Определим рациональную структуру гибкого вагоноремонтного потока на конкретном примере. Предположим, что необходимо спроектировать вагонное депо с программой ремонта – 8000 полувагонов в год. Рекомендуется следующий алгоритм выбора рациональной структуры гибкого потока.

Вначале определим время нахождения вагонов на этом потоке. Если исходить из общего нормативного времени нахождения полувагона непосредственно в ремонте ($T=18$ ч) [237], то предположим, что это время может быть распределено между тремя участками следующим образом: участок подготовки вагонов к ремонту – 1,5 ч, малярный участок – 4,5 ч и главный вагоноремонтный участок – 12 ч ($18-1,5-4,5$). Следует отметить, что нормативное время пребывания вагонов в ремонте определено на основании данных

действующих предприятий, а это равносильно их простою при стационарном методе ремонта.

Таблица 3.3 – Зависимость максимального числа маршрутов перемещения вагонов от количества модулей и их возможного распределения между позициями

Общее к-во моду- лей R	Количество позиций на потоке m									Ориенти- рочная про- грамма ре- монта ваго- нов* N
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Количество возможных маршрутов перемещения вагонов Ψ									
2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	674
3	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1011
4	4	2	1	-	-	-	-	-	-	1335
5	6	4	2	1	-	-	-	-	-	1668
6	9	8	4	2	1	-	-	-	-	2002
7	12	12	8	4	2	1	-	-	-	2336
8	16	18	12	8	4	2	1	-	-	2670
9	20	27	18	9	8	4	2	1	-	3003
10	25	36	36	32	16	8	4	2	1	3337
11	30	48	54	48	32	16	8	4	2	3670
12	36	64	81	72	64	32	16	8	4	4004
13	42	80	108	108	96	64	32	16	8	4338
14	49	100	144	162	144	128	64	32	16	4671
15	56	125	192	243	216	192	128	64	32	5005
16	64	150	256	324	324	288	256	128	64	5337
17	72	180	320	432	486	432	384	256	128	5672
18	81	216	400	576	729	648	576	512	256	6006
19	90	252	500	768	972	972	864	768	512	6340
20	100	294	625	1024	1296	1458	1296	1152	1024	6673
22	121	392	900	1600	2304	2916	2916	2592	2304	7341
23	132	448	1080	2000	3072	3888	4374	3888	3456	7674
24	144	512	1296	2500	4096	5184	6561	5832	5184	8009
25	156	576	1512	3125	5120	6912	8748	8748	7776	8344
26	169	648	1764	3750	6400	9216	11664	13122	11664	8676
27	182	729	2058	4500	8000	12288	15552	19683	17496	9010
28	196	810	2401	5400	10000	16384	20736	26244	26244	9342
29	210	900	2744	6480	12500	20480	27648	34992	39366	9677
30	225	1000	3136	7776	15625	25600	36864	46656	59049	10010
31	240	1100	3584	9072	18750	32000	49152	62208	78732	10345
32	256	1210	4096	10584	22500	40000	65536	82944	104976	10674

Примечание:

*– программа ремонта N определена из формулы (3.2), исходя из заданного общего количества модулей и нормативного времени простоя полувагонов в ремонте. Эта программа соответствует предварительной (наименьшей) пропускной способности потока при заданном количестве модулей.

Из табл. 3.3 находим, что для выполнения заданной программы ремонта наиболее близко подходит вариант, соответствующий структуре потока, имеющей 24 ремонтных модуля. Весь технологический процесс ремонта вагонов разобьём, например, на шесть позиций. Этим параметрам (24 и 6) наилучшим образом соответствует структура гибкого потока, которая имеет ($\Psi=4096$) вариантов пути перемещения вагонов между позициями. Это самая лучшая структура для указанных параметров по критерию многовариантности перемещения вагонов, но она может совсем не совпадать с реальным технологическим процессом. Тем более что могут быть и другие варианты структур потока. Одно и то же количество ремонтных модулей ($R=24$) можно полностью распределить между заданным числом позиций ($m=6$) разными способами. Общее количество возможных сочетаний может быть определено по следующей формуле [62]

$$C_{R-1}^{m-1} = \frac{(R-1)!}{(m-1)!(R-m)!} \quad (3.7)$$

В нашем случае для двадцатичетырёхмодульного потока, состоящего из шести позиций, количество возможных вариантов распределения модулей между позициями составит $C_{23}^5 = 33\,649$.

В табл. 3.4 в качестве примера представлены некоторые возможные структурные варианты шестипозиционного двадцатичетырёхмодульного гибкого потока и соответствующие им значения возможных вариантов пути перемещения вагонов. Видно, что наибольшему количеству вариантов ($\Psi=4096$) соответствует структура потока, которая имеет по 4 модуля на каждой позиции. Если весь технологический процесс удаётся разбить по времени между специализированными позициями таким образом, чтобы оно было примерно одинаковым, то этот вариант будет наиболее предпочтительным. Если же время не удастся разбить одинаково, то необходимо выбирать ту структуру, которая будет ближе всего соответствовать реальным продолжительностям выполнения работ на специализированных позициях. Чем дольше простой вагона на позиции, тем больше должно быть на ней модулей. На этой структуре и надо делать свой

выбор. Хотя в этом случае количество возможных вариантов пути перемещения вагонов и будет меньше, тем не менее оно может быть вполне достаточно и сыграет положительную роль в отличие от «жестких» потоков, имеющих только один возможный вариант движения вагонов.

Таблица 3.4 – Зависимость количества возможных маршрутов перемещения вагонов на шестипозиционном гибком потоке от числа модулей на позициях

№ п/п	Условные номера позиций						Количество модулей на участке R	Количество воз- можных маршрутов перемещения ваго- нов Ψ
	I	II	III	IV	V	VI		
1	4	4	4	4	4	4	24	4096
2	3	5	4	4	4	4	24	3840
3	3	5	3	5	4	4	24	3600
4	3	5	3	5	3	5	24	3375
5	2	6	4	4	4	4	24	3072
6	2	6	3	5	4	4	24	2880
7	2	6	3	5	3	5	24	2700
8	2	6	2	6	4	4	24	2304
9	2	6	2	6	3	5	24	2160
10	2	5	2	8	4	3	24	1920
11	2	6	2	6	2	6	24	1728
12	2	5	2	7	2	6	24	1680
13	2	5	2	9	3	3	24	1620
14	2	5	2	8	2	5	24	1600
15	2	5	2	9	2	4	24	1440
16	2	4	2	10	2	4	24	1280

Обратим внимание на то, что структура потока, которая может быть приемлема с точки зрения транспортной гибкости, необязательно может быть приемлема с точки зрения предусматриваемой технологии.

Из формулы (3.2) видно, что количество модулей зависит от программы ремонта, времени простоя вагонов в ремонте и номинального годового фонда времени работы предприятия. Так как последние два параметра являются постоянными, то количество модулей напрямую зависит от программы ремонта.

Ещё в качестве одного примера приведена разбивка того же количества модулей ($R=24$) уже между семью позициями потока. В случае использования

семипозиционного потока для этого же количества модулей, количество возможных вариантов распределения модулей между позициями составит $C_{23}^6 = 100947$. В этом случае наиболее приемлемым вариантом по количеству возможных сценариев перемещений вагонов будет структура соответствующая 5184 вариантам пути перемещения вагонов между позициями потока (табл. 3.5). Но если по условиям технологического процесса более подходящим будет, например, вариант 6 ($\Psi=3840$), то на этом варианте и необходимо делать выбор при таком количестве позиций.

В табл. 3.5 представлены некоторые возможные структурные варианты семипозиционного двадцатичетырёхмодульного гибкого потока и соответствующие им значения возможных маршрутов перемещения вагонов.

Распределение модулей между позициями по каждому варианту в табл. 3.4–3.5 показано условно, и может быть при тех же абсолютных значениях перераспределено в иной последовательности. Таким образом, потоки могут быть разными по структуре, но иметь одно и то же количество вариантов пути перемещения. Структуры, состоящие из одного и того же количества модулей на позициях, но размещенных в разных последовательностях, будем условно называть равнозначными. Итоговое количество возможных сценариев пути перемещения вагонов в равнозначных структурах совпадает.

Из табл. 3.4 и 3.5 можно заметить, что наибольшее количество возможных сценариев перемещения вагонов будет в том случае, когда число модулей на позициях примерно равно между собой. В общем же случае для получения наибольшего количества вариантов возможных перемещений, разница между количеством модулей на позициях должна быть наименьшей. Чем больше потенциальных вариантов пути перемещения вагонов на потоке, тем лучше для пропускной способности потока. Вместе с тем, погоня за большим количеством вариантов перемещений не должна являться самоцелью. Уже несколько сотен возможных маршрутов перемещения вагонов между позициями может быть вполне достаточно для нормального функционирования потока.

Таблица 3.5 – Зависимость количества возможных маршрутов перемещения вагонов на семипозиционном гибком потоке от числа модулей на позициях

№ п/п	Условные номера позиций							Количество модулей на участке R	Количество воз- можных маршрутов перемещения вагонов Ψ
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
Количество модулей на условных позициях									
1	3	3	3	3	4	4	4	24	5184
2	3	3	2	4	4	4	4	24	4608
3	3	3	3	3	3	3	6	24	4374
4	3	3	3	4	4	5	2	24	4320
5	4	4	4	4	4	2	2	24	4096
6	2	3	4	5	4	2	4	24	3840
7	4	4	3	6	3	2	2	24	3456
8	2	2	2	4	5	4	5	24	3200
9	2	2	2	4	6	4	4	24	3072
10	2	2	2	4	6	3	5	24	2880
11	2	2	2	3	7	4	4	24	2688
12	2	2	3	3	8	3	3	24	2592
13	2	2	2	3	7	3	5	24	2520
14	2	2	2	2	6	5	5	24	2400
15	2	2	2	3	8	3	4	24	2304
16	2	2	3	3	7	3	2	24	1512

На рис. 3.3 наглядно показаны варианты альтернативных схем распределения модулей между позициями гибкого потока, соответствующие предыдущим примерам.

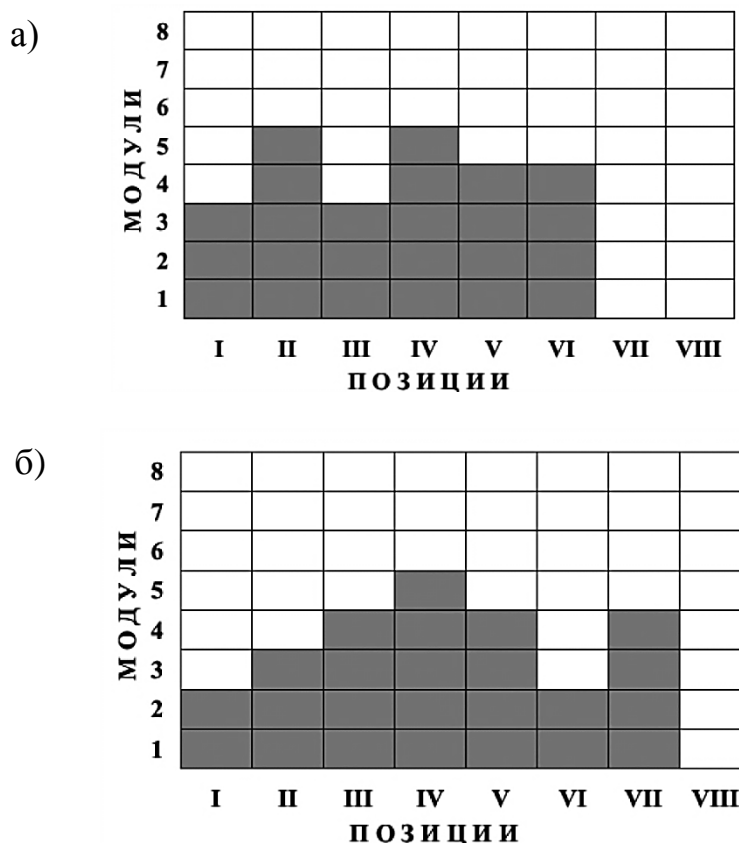


Рисунок 3.3 – Схема распределения модулей между позициями:

- а) шестипозиционного гибкого потока (табл. 3.4, вар. 3);
 б) семипозиционного гибкого потока (табл. 3.5, вар. 6)

На рис. 3.4 схематично показаны варианты структур гибких потоков.

В аналитическом виде структуры потоков могут быть записаны следующим образом:

- для гибкого потока $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_j \times \dots \times n_m |R|\psi$
- для «полужёсткой» поточной линии $n_1 + n_2 + \dots + n_j + \dots + n_m |R|\psi$;
- для «жёсткой» поточной линии $n_1 - n_2 - \dots - n_j - \dots - n_m |R|\psi$.

Так, например, структура шестипозиционного гибкого потока в аналитическом виде может быть записана следующим образом: $3 \times 5 \times 3 \times 5 \times 4 \times 4 |24|3600$, а для семипозиционного гибкого потока запись примет вид: $2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 4 \times 2 \times 4 |24|3840$. Продолжительность выполнения работ на позициях зависит от многих факторов, среди которых есть и внутренние факторы, сугубо присущие каждому конкретному предприятию.

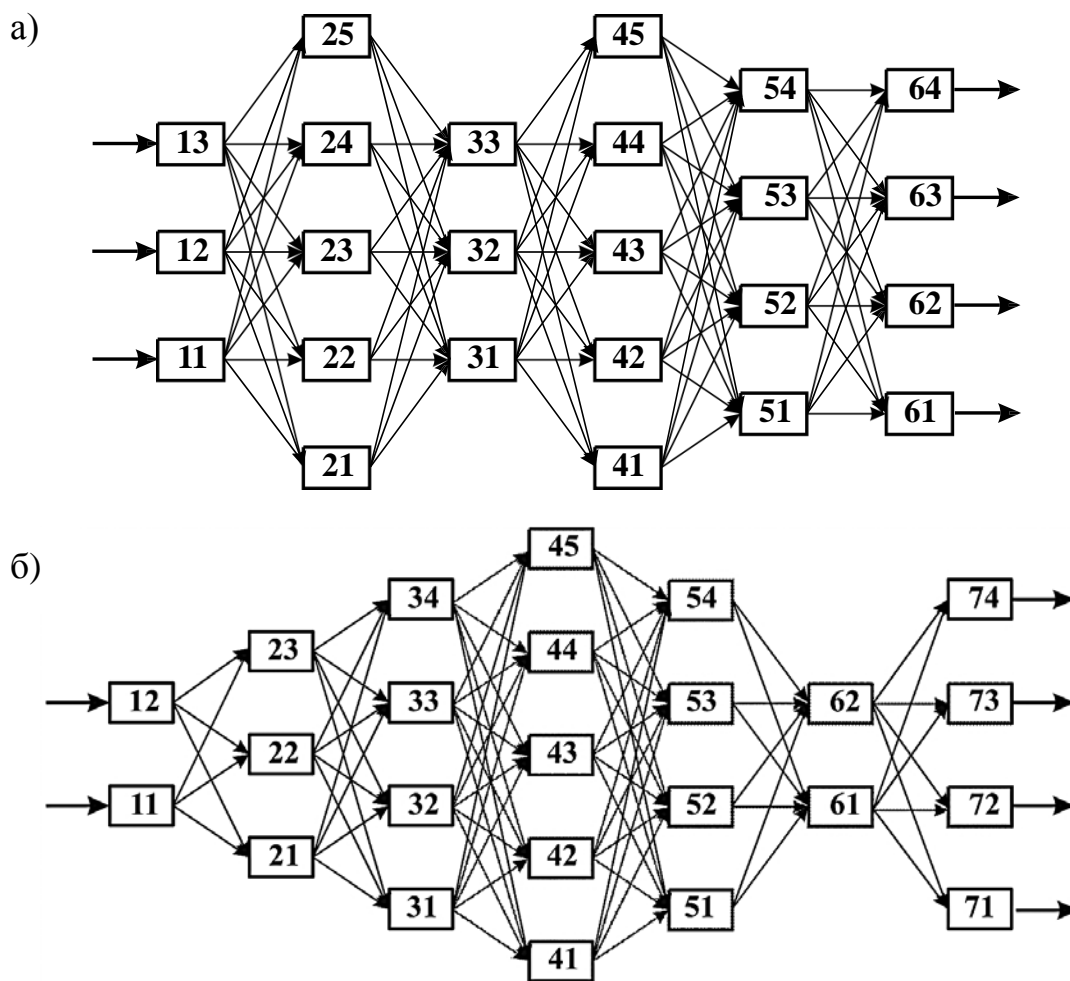


Рисунок 3.4 –Варианты структурных схем гибких потоков:

- а) структурная схема шестипозиционного гибкого потока (табл. 3.3, вар. 3);
 б) структурная схема семипозиционного гибкого потока (табл. 3.4 , вар. 6)

В связи с этим, заложенные в проекте статистические данные, основанные даже на данных, взятых, как правило, на передовых существующих предприятиях, не всегда могут адекватно отражать показатели работы вновь строящегося предприятия. В связи с тем, что каждой структуре потока присуща своя пропускная способность, для более точного определения количества модулей на каждой позиции, необходимо в период от ввода объекта в эксплуатацию до вывода его на проектную мощность, осуществить их рабочую корректировку. Суть корректировки состоит в следующем. Необходимо предварительно организовать на каждой позиции как минимум по два модуля (чтобы появилась возможность «обгона»), а затем наращивать их количество методом «расширения

узких мест». К той позиции, которая будет являться «узким местом» (высокий коэффициент загрузки) при данной структуре потока, необходимо добавить ещё один модуль. Когда количество модулей на проблемной позиции увеличится на единицу, её пропускная способность возрастёт, а, следовательно, возрастёт и пропускная способность всего потока, но зато «узкое место» переместиться на другую позицию. Таким образом, добавляя по одному модулю ко всем возникающим «узким местам», предприятие со временем выйдет на проектную мощность, но с уже правильно подобранной структурой потока.

Обратим ещё внимание и на такой важный показатель гибкого потока, как число возможных состояний системы. Если в общем случае под процессом будем понимать изменение состояний системы во времени, то в ходе функционирования гибких вагоноремонтных потоков может возникать огромное количество различных состояний. Каждое новое состояние возникает в тот момент, когда в любом из ремонтных модулей что-то либо начинает происходить, либо заканчивается.

Каждый модуль может находиться в одном из трёх возможных состояний:

1. Модуль свободен (в нём отсутствует вагон);
2. Модуль занят и функционирует (в нём находится вагон, на котором производятся ремонтные работы);
3. Модуль занят, но не функционирует (работы на вагоне уже завершены, но модуль он ещё не покинул).

Общее число возможных состояний, в которых может находиться вся система в целом, определяется по формуле

$$S = Z^R, \quad (3.8)$$

где Z – количество возможных состояний, в которых может находиться ремонтный модуль, $Z = 3$;

R – количество ремонтных модулей.

Так, например, при количестве модулей на потоке, равном 24, число возможных состояний системы составит

$$S = 3^{24} = 282\,429\,536\,481.$$

Таким образом, и по количеству возможных маршрутов движения вагонов и по количеству возможных состояний гибкого потока можно судить о том, что такие системы являются динамичными и маневренными (многомаршрутными). Поэтому они наилучшим образом подходят для использования их в ремонтном производстве.

3.3 Способ перемещения вагонов между позициями гибкого вагоноремонтного потока при помощи транспортных агрегатов

В настоящее время существуют две очень важные причины, негативно влияющие на эффективную организацию традиционного поточного метода ремонта вагонов. Это трудоёмкость ремонта вагонов, имеющая очень широкий диапазон значений и носящая вероятностный характер, а также затруднение в удобном и надёжном перемещении вагонов между позициями поточной линии. Первый из этих факторов самым непосредственным образом влияет на соблюдение регламентированного такта, что существенно сказывается на производительности потока, а второй – вообще ставит под сомнение реализацию самого поточного метода ремонта крупногабаритных изделий из-за сложности с перемещением их между позициями.

Последний фактор является очень важной проблемой, требующей решения при организации ремонта вагонов на потоке, но на который мало кто вообще обращает внимание. Это связано с тем, что вагоны являются довольно крупными изделиями, имеющими большую массу и габариты, и поэтому их перемещение вдоль ремонтных позиций вызывает определённые трудности. Как правило, при организации традиционных поточных линий для перемещения вагонов по рельсовому пути используются грузоведущие конвейеры, которые перемещают отдельные объекты по направляющим рельсам либо на собственном ходу, либо на технологических тележках [3]. Обычно грузоведущий конвейер состоит из следующих частей: приводного устройства, натяжного устройства, цепи,

звёздочек, тягового элемента, ходовых катков с кулаками для толкания. Как правило, все грузоведущие конвейеры находятся непосредственно в зоне ремонта и к тому же расположены внизу (в полу цеха), и таким образом подвержены попаданию в механизм различных посторонних предметов, имеющих в изобилии при производстве ремонтных работ, что зачастую является причиной выхода конвейеров из строя. Причём они так часто выходят из строя, что их ремонтом просто прекращают заниматься. Обследование целого ряда существующих вагонных депо показало, что ни в одном из них грузоведущие конвейеры не функционируют. Перемещением вагонов занимаются либо локомотивы (тяговые агрегаты), либо мостовые краны. Последние просто тянут вагоны по рельсам, что является грубым нарушением техники безопасности. Локомотив же используется только в начале или в конце смены, когда надо подать в цех вагоны для ремонта или когда их надо убрать уже после окончания ремонтных работ. Таким образом, из-за отсутствия в депо реальной возможности перемещать вагоны в процессе ремонта, как правило, используется стационарный метод. Для внедрения же высокопроизводительных индустриальных методов ремонта вагонов обязательным условием является возможность их перестановки между специализированными позициями, предназначенными для выполнения строго определённых комплексов работ и оснащёнными специальным технологическим оборудованием.

Учитывая выше сказанное, можно сделать вывод, что для перемещения вагонов между позициями ремонтного участка целесообразнее всего использовать тяговые устройства, механизмы которых не находятся непосредственно в зоне ремонта. Для гибких потоков этому требованию в полной мере удовлетворяют трансбордерные тележки (транспортные агрегаты), которые самостоятельно осуществляют погрузку на себя и выгрузку вагонов, и перемещаются в отдельном транспортном пролёте (коридоре), что исключает попадание в их механизмы случайных посторонних предметов из ремонтной зоны.

Один из возможных вариантов компоновки позиций главного

вагоноремонтного участка, использующего асинхронный гибкий поток, представлен на рис. 3.5.

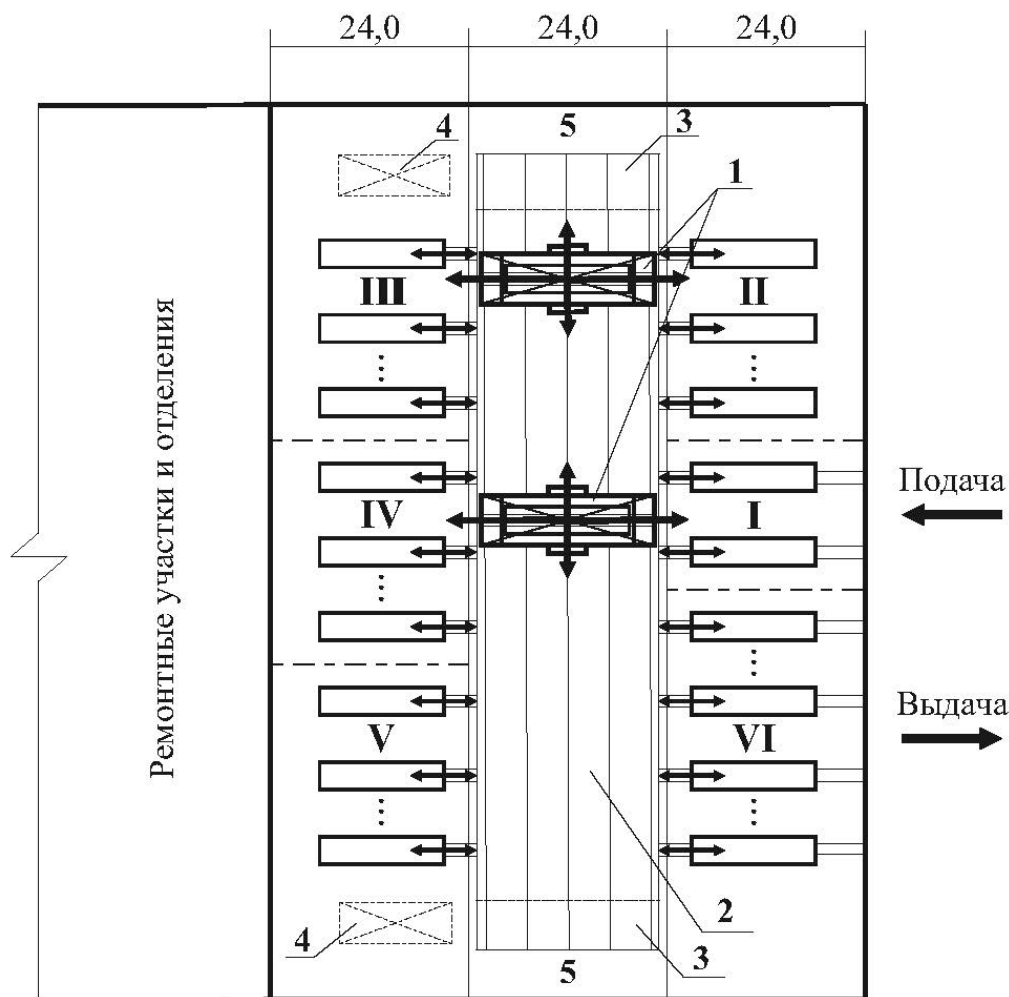


Рисунок 3.5 – Схематичная компоновка позиций главного вагоноремонтного участка, использующего асинхронный гибкий поток: I–VI – позиции вагоноремонтного участка (пунктиром показаны условные границы ремонтных позиций);

1 – транспортный агрегат (ТА); 2 – траншея для перемещения ТА;

3 – технологическая ниша для отстоя, технического обслуживания и ремонта ТА;

4 – участок для ремонта ТА; 5 – проезд для напольного электротранспорта

Главный вагоноремонтный участок компактно размещается в трёх параллельных строительных пролётах: два крайних пролёта – ремонтные, а средний – транспортный. Перестановка вагонов между позициями осуществляется при помощи транспортного агрегата. Места для постановки вагонов (модули) расположены не вдоль пролётов здания, а – поперёк. Ремонтные

пролёты расположены по обе стороны от транспортного пролёта. Такое расположение связано, прежде всего, с тем, чтобы трансбордер имел бы возможность одновременно обслуживать ремонтные позиции, находящиеся по обе стороны от него.

Движение вагонов при перемещении осуществляется по П-образной схеме (если вагон переставляется на позицию, расположенную в том же ремонтном пролёте) и по Z-образной или прямолинейной схемам (если вагон переставляется на позицию, расположенную в смежном ремонтном пролёте).

Перемещение вагонов осуществляется через отдельный транспортный пролёт (коридор). Это вызвано, прежде всего, необходимостью использования для этих целей современных мощных механизмов, которым для осуществления транспортных операций необходимо определённое пространство, и снижением риска травматизма на ремонтных позициях. Использование отдельного транспортного пролёта для перемещения вагонов между ремонтными позициями позволяет не только обезопасить работу исполнителей в ремонтных пролётах, но также и не отвлекать их от работы на соседних модулях при совершении межпозиционных перемещений. Кроме того, такая схема перемещения вагонов совершенно не будет затрагивать работу транспортных и грузоподъёмных средств, непосредственно обслуживающих ремонтные позиции. Кроме того, данная архитектурно-транспортно-технологическая компоновка со специализацией ремонтных позиций будет просто вынуждать предприятия использовать исключительно поточный метод ремонта, так как при стационарном методе вагон попросту не сможет пройти полный ремонтный цикл.

По краям транспортного пролёта предусмотрены проезды 5 для внутреннего электротранспорта, расположенные на уровне пола ремонтных пролётов.

Исходя из того, что стандартная длина 4-осного вагона по осям сцепления автосцепок составляет 13,92 м, то длина самого транспортного агрегата, учитывая его конструктивные особенности, будет составлять около 21 м, что позволит использовать строительный пролёт шириной 24 м. Следует отметить, что ширина

транспортного пролёта (коридора), в зависимости от принятого транспортного устройства, может быть 18, 21 или 24 м. В случае, если используется транспортный агрегат, который имеет возможность самостоятельно производить загрузку-выгрузку вагонов, то желательно использовать пролёт шириной 24 м. В случае, если используется обычная трансбордерная тележка, которая осуществляет только поперечные перемещения вагонов, а для продольного перемещения нужны дополнительные транспортные устройства, то может быть использован пролёт шириной 18 м.

Для ремонтных участков должен быть однозначно использован пролёт шириной 24 м, позволяющий организовать в этих пролётах транспортный проезд для внутрицехового напольного транспорта в продольном направлении. Расстояние между осями путей соседних ремонтных модулей должно быть 8 –9 м.

Асинхронные гибкие потоки ремонта вагонов особо нуждаются в очень надёжной и эффективной системе транспортировки изделий между ремонтными позициями. Транспортное устройство является главным рабочим органом гибкого вагоноремонтного потока. От его надёжной работы зависит пропускная способность потока в целом.

В политехническом словаре [262] термин «агрегат» трактуется как «механическое соединение нескольких машин, работающих в комплексе». Учитывая, что предлагаемое транспортное устройство как раз и состоит из нескольких механизмов, решено было назвать его «транспортным агрегатом» (ТА).

В случае выхода ТА из строя, работа всего потока может быть приостановлена. Поэтому в целях обеспечения непрерывной и надёжной работы потока должно быть предусмотрено два ТА: один – рабочий, другой – резервный. В «пиковые» ситуации возможна работа двух ТА одновременно. При одновременной работе двух ТА, каждый из них должен обслуживать только свою зону.

ТА размещается в специальной технологической траншее таким образом, чтобы уровень головок рельсов, расположенных на трансбордерной тележке, совпадал с уровнем головок рельсов, находящихся в ремонтных пролётах. По обоим концам траншеи должны быть предусмотрены технологические ниши («карманы»), в которых ТА могут находиться во время технического обслуживания, ремонта или просто отстоя. Ниши должны быть расположены на таком расстоянии от рабочей зоны траншеи, чтобы позволять смежному ТА беспрепятственно обслуживать примыкающие к данной нише ремонтные модули. На случай возникновения аварийной ситуации транспортный пролёт может быть оборудован мостовым краном грузоподъёмностью 20 т (на схеме не показан). Продолжительность перестановки вагона с одной позиции на другую составляет от 6 до 8 мин.

Связь с внешней средой, т. е. подача вагонов на первую позицию гибкого вагоноремонтного потока и выдача их с последней позиции, осуществляются уже другими тяговыми устройствами, без помощи ТА. Поэтому количество перемещений одного вагона между позициями гибкого потока при непосредственном участии ТА будет на единицу меньше, чем само количество ремонтных позиций. Общее количество перемещений вагонов в течение года зависит от числа ремонтных позиций и от программы ремонта. Так, например, при количестве ремонтных позиций, равном, например, шести, число перемещений для одного вагона будет равно на единицу меньше, т. е. пяти. При мощности предприятия, равной, например, 6000 вагонов в год, общее число перемещений составит $5 \times 6000 = 30000$.

В настоящее время на различных предприятиях по ремонту подвижного состава уже используются разные типы трансбордерных тележек. Как правило, все трансбордерные тележки задействованы в «вилкообразных» схемах, т. е. с одной стороны трансбордера имеется один путь подачи подвижного состава, а с другой стороны находится много параллельных путей, на любой из которых может быть подан подвижной состав.

Кроме того, предложено много разных конструктивных решений транспортных устройств для перемещения подвижного состава между параллельными путями [2, 28, 29, 240, 250, 255, 261].

Исследованиями в области организации поточных линий с гибким маневрированием на базе действующих вагонных депо активно занимаются специалисты Московского государственного университета путей сообщения [2, 28, 29, 240, 253]. Ими разработаны различные варианты транспортно-технологических схем ремонта. Основная идея заключается в том, что ремонт вагонов организован по циклам, имеющим разную продолжительность. Если для вагона с нормальным износом достаточно короткого технологического цикла (меньшее число ремонтных позиций), то для вагона с повышенным объёмом необходим более длительный цикл (большее число ремонтных позиций).

Использование транспортных устройств позволяет придать некоторую гибкость поточной линии. Хотя сам термин «гибкое маневрирование» является не совсем корректным, так как «маневрирование» уже само по себе предполагает определённую «гибкость» и свободу перемещения.

К недостаткам такой организации потока следует отнести то, что структура поточной линии в принципе остаётся жёсткой, и на выходе вагоны, проходящие разные ремонтные циклы, будут друг другу мешать. И потом, какая вероятность того, что ежедневно в ремонт будут поступать вагоны, нуждающиеся в разных циклах, а не в одном и том же. Кроме того, данная организация является сильно упрощённой и не учитывает многие «тонкости» ремонтного производства, которые имеют место на практике. Такие схемы возможны в том случае, если работы на позициях выполняются вручную. При наличии же специального ремонтного технологического оборудования (передвижные правильные установки, кантователи, передвижные подъёмные площадки т. п.) такая схема организации ремонта будет вызывать определённые трудности. Да и сама градация ремонта: «с нормальным объёмом ремонтных работ» и «с повреждённым кузовом» – носит весьма условный характер. Между этими двумя

крайними полюсами находится целый спектр промежуточных значений трудоёмкостей.

В работе [253] предлагается подъёмно-транспортный механизм для перемещения вагонов между позициями размещать непосредственно в зоне ремонта. Механизм опирается на подкрановые пути, расположенные вдоль всего пролета здания. Подъёмка вагонов осуществляется при помощи специальных захватов. Такой принцип перемещения вагонов позволяет внедрить элементы гибкого потока на существующих предприятиях. Однако, на наш взгляд, в данном случае решение одних вопросов создаёт целый ряд дополнительных проблем.

В работе [261] описана трансбордерная тележка, состоящая из несущей рамы мостового типа, которая смонтирована на приводных тележках, вся конструкция располагается в траншее, для продольного перемещения вагонов используется тросовая лебедка.

В работе [250] представлен трансбордер, который состоит из двух порталов, которые смонтированы на приводных тележках и опорной части, которая связана с порталами, причём опорная часть выполнена в виде отдельных несущих элементов, которые включают в себя подъёмники с опорными площадками. Колея трансбордера и подъездные пути находятся на одном уровне. Перемещение транспортного средства осуществляется в поднятом положении.

Трансбордерная тележка, описанная в работе [251], состоит из несущей металлоконструкции, на нижнем поясе которой находится рельсовый путь для вагонов, ходовых тележек с индивидуальным приводом (4 шт.), уровень головок рельсов, расположенных на трансбордере, совпадает с уровнем головок рельсов подъездных путей, тросовых лебёдок, поворотных консолей с реверсивными розетками, двух диагонально расположенных кабин управления, троллейной системы подвода электропитания. Сам трансбордер располагается в траншее.

Авторами работы [252] предложено следующее транспортное устройство: приводные тележки (12 шт.) расположены по обе стороны трансбордера и соединены между собой продольными балками, на тележках смонтированы опоры

и подъёмники, между которыми размещены распорные элементы. Колея движения трансбордера и подъездные пути находятся на одном уровне. Транспортное средство поднимается при помощи подъёмников и в таком положении перемещается на параллельный путь.

Трансбордер [254] имеет четыре приводные тележки; подъездные пути и пути, по которым движется трансбордер, находятся на одном уровне, имеются опорные площадки, которые опираются на шпалы безрельсового пути, на приводных тележках с обеих опорных площадок установлены подъёмники, соединённые с опорными площадками, расстояние между опорными площадками соответствует базе перемещаемого рельсового транспортного средства. В случае необходимости через трансбордерную тележку можно переместить и маневровое транспортное средство.

Трансбордерная тележка [255] включает в себя следующие основные узлы: горизонтальную платформу, выполненную в виде отдельных секций рамной конструкции, на которой расположен участок рельсовой колеи, ходовые тележки (5 штук), тяговое устройство, аппарели для возможности въезда-выезда транспортного средства, устройства для фиксации транспортных средств. Уровень головок рельсов, расположенных на платформе, выше уровня головок рельсов подъездных путей.

Все эти трансбордерные тележки имеют конструктивные отличия, которые затрагивают в основном наличие или отсутствие траншеи для перемещения самого трансбордера, конструктивные особенности горизонтальной рамы, конструктивные особенности боковых стен, конструктивные особенности и количество ходовых тележек, различные системы подвода электропитания, дизайн и т. п. Но они не рассматривают различные способы продольного перемещения вагонов – на всех трансбордерах задействованы обычные тросовые лебёдки и всё. Таким образом, существующие трансбордеры предназначены для движения только в поперечном направлении, в продольном направлении они перемещаться не могут, а подача вагонов в этом направлении осуществляется при

помощи, находящейся на них тросовой лебёдки. Для подсоединения же троса к вагону необходимо личное участие человека.

Описанные конструкции трансбордерных тележек могут быть в принципе использованы и для перемещения вагонов между позициями гибкого потока. Однако эти тележки являются низкопроизводительными, так как требуют затрат времени на выполнение стропальных работ для захвата вагонов, что удлиняет период цикла. Вместе с тем, для более эффективного функционирования гибких потоков нужно транспортное устройство, которое позволило бы минимизировать участие человека в операциях подачи вагонов на трансбордерную тележку и снятию их с неё.

В отличие от тягового подвижного состава, который может въезжать на трансбордерную тележку самостоятельно, для перемещения вагонов в продольном направлении должны быть использованы различные принудительные устройства. Поэтому для успешного функционирования гибкого вагоноремонтного потока необходимо устройство, которое бы без участия человека, наравне с поперечным перемещением вагонов могло бы осуществлять и продольное перемещение. Причём не просто перемещать вагоны в продольном направлении, а выставлять их на определённое расстояние в ремонтные модули и забирать их оттуда.

Предлагаемый ТА предназначен для перемещения вагонов между позициями гибкого ремонтного потока, расположенными по обе стороны от транспортного пролёта. К специфике работы ТА относится то, что он должен не просто «столкнуть» с себя вагон, а выставить его без посторонней помощи в ремонтный модуль, расположенный не только на расстоянии 3 – 4 м от края траншеи, в которой перемещается ТА, но и в другом строительном пролёте.

ТА состоит из трансбордерной тележки, предназначенной для перемещения вагонов в поперечном направлении (между параллельно расположенными модулями), и телескопического транспортного портала, предназначенного для перемещения вагонов в продольном направлении (между трансбордерной

тележкой и ремонтным модулем). Для захвата вагона используется специальное захватное устройство, которое расположено в самоходном внутреннем портале. Захватное устройство смонтировано на раме, которая может перемещаться по вертикальным направляющим.

ТА играет важную роль в организации гибкого потока, так как от его чёткой работы зависит пропускная способность всей ремонтной системы. В связи с этим предусматривается, что во время «пиковых» ситуаций в работу будет включаться дополнительный ТА. Кроме того второй ТА нужен как резерв, на случай поломки или технического обслуживания первого ТА.

Автором предложена конструкция ТА, позволяющая осуществлять перемещение вагонов самостоятельно, без привлечения каких бы то ни было устройств извне. К достоинствам ТА относится то, что перестановку вагонов он может осуществлять по обе стороны транспортного пролёта, в том числе перемещать вагон между противоположными модулями в продольном направлении без какого-то ни было вмешательства человека.

На рис. 3.6 упрощённо показана конструкция транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого асинхронного потока.

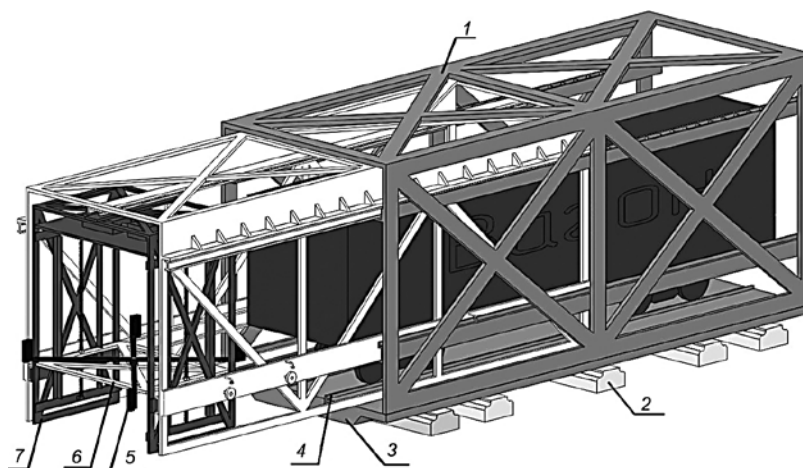


Рисунок 3.6 – Схема конструкции транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого асинхронного потока:

- 1 – телескопический портал; 2 – приводные тележки; 3 – горизонтальная платформа; 4 – участок рельсовой колеи; 5 – гидромеханический захват; 6 – захватное устройство; 7 – передвижной внутренний портал

Важной характеристикой ТА должна являться возможность быстрого осуществления перемещения вагонов между позициями.

Весь процесс перестановки вагонов между ремонтными позициями можно условно разбить на несколько этапов:

- первый этап состоит в перемещении ТА в поперечном направлении к тому месту транспортного пролёта, напротив которого находится ремонтный модуль, из которого необходимо забрать отремонтированный в этом модуле вагон;

- второй этап заключается в перемещении телескопического портала в продольном направлении к вагону, находящемуся в ремонтном модуле в зоне ремонтного пролёта, и стыковка с ним;

- во время третьего этапа телескопический портал уже совместно с «захваченным» вагоном перемещается в продольном направлении назад, на трансбордерную тележку;

- четвёртый этап состоит в перемещении ТА в поперечном направлении к тому месту транспортного пролёта, напротив которого находится следующий ремонтный модуль, в который необходимо поставить вагон;

- на пятом этапе при помощи телескопического портала вагон подаётся в продольном направлении в ремонтный модуль, находящийся в ремонтном пролёте;

- шестой этап является завершающим этапом цикла. Во время этого этапа телескопический портал уже без вагона возвращается назад, на трансбордерную тележку.

После этого ТА находится в ожидании перестановки следующего вагона. Как только поступит команда о том, что из какого-то модуля необходимо забрать очередной вагон, цикл повторяется.

Любое перемещение ТА в продольном направлении сопровождается предупреждающими звуковыми и световыми сигналами.

ТА может работать как в ручном режиме, так и в автоматическом. Для удобства работы в ручном режиме ТА оборудован двумя кабинами оператора, по одной с каждой боковой стороны (на рис. 3.6 не показаны).

Вместо ТА для перемещения вагонов можно использовать тандем в виде обычной трансбордерной тележки и тягача на комбинированном ходу. Трансбордерная тележка будет осуществлять транспортировку вагонов в поперечном направлении, а тягач – в продольном.

Дальнейшие исследования в области организации вагоноремонтных потоков должны идти по пути создания надёжных транспортных устройств для перемещения вагонов, а также поиску оригинальных компоновочных решений зданий депо, позволяющих осуществлять в рамках единого потока различные виды ремонтов для разных типов подвижного состава.

3.4 Морфология структур гибких потоков ремонта вагонов

Генеральный вагоноремонтный поток (ГВРП) включает в себя следующие технологические потоки:

- участок подготовки вагонов к ремонту (УПР);
- главного вагоноремонтный участок (ГВРУ);
- малярный участок (МУ).

На рис. 3.7 представлена общая структурная схема генерального вагоноремонтного потока.

Возможны различные варианты организации генерального вагоноремонтного потока. На рис. 3.8–3.10 схематично показаны возможные варианты основных компоновочных решений потока.

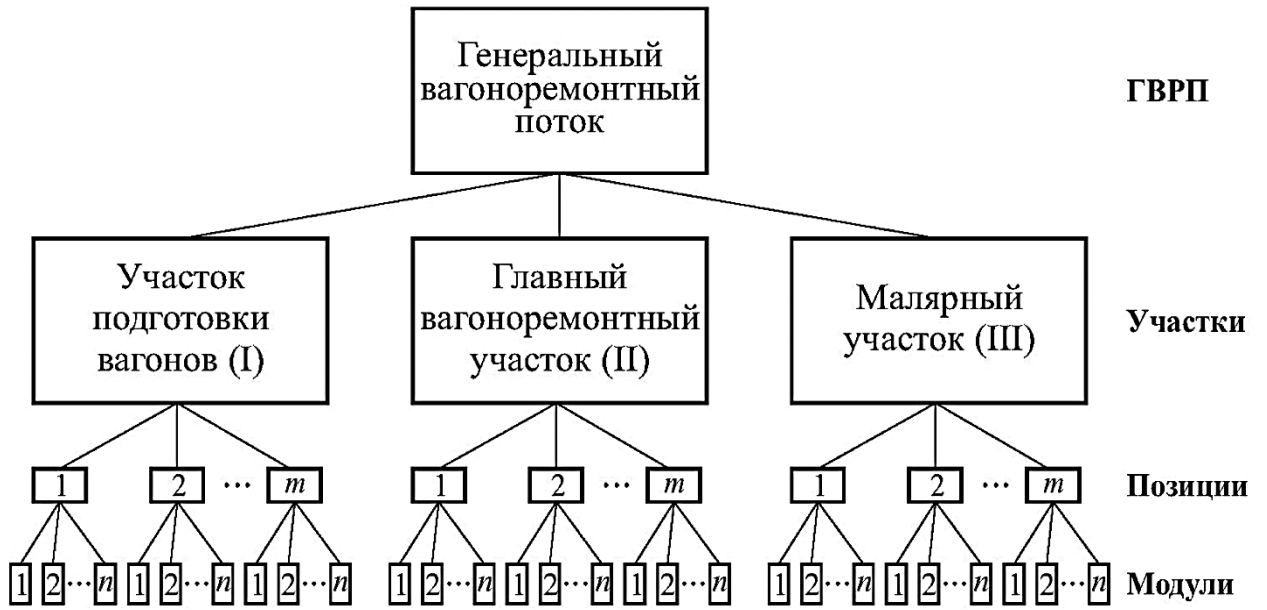


Рисунок 3.7 – Общая структурная схема генерального вагоноремонтного потока

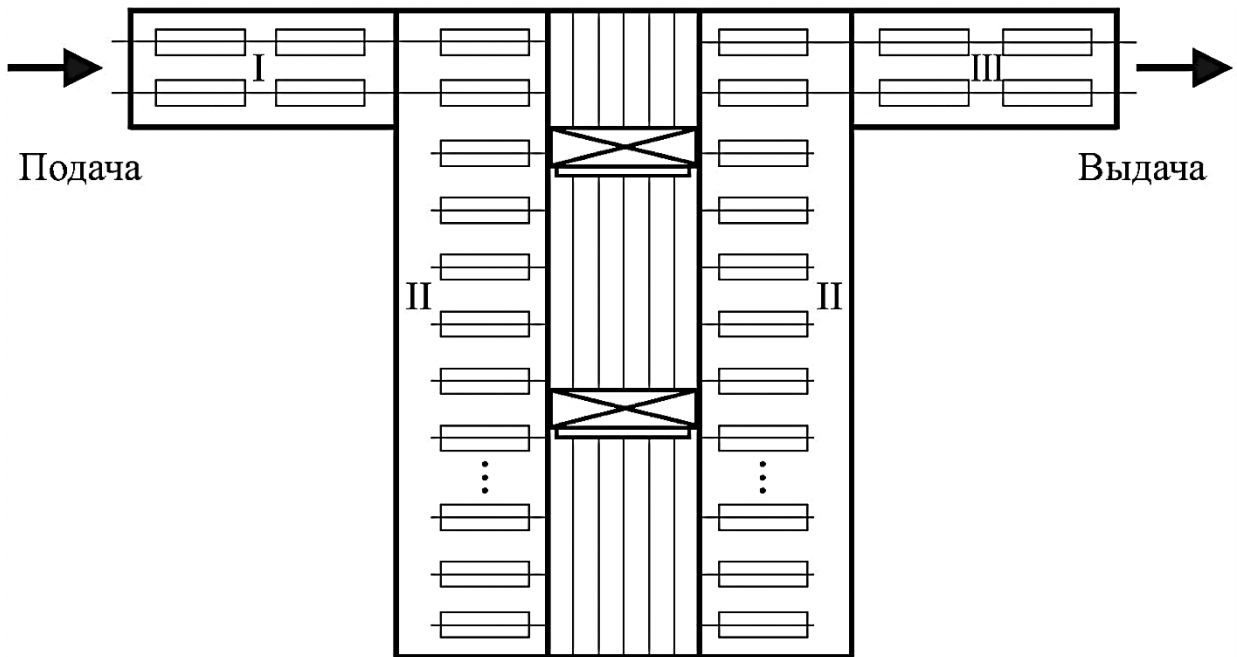


Рисунок 3.8 – Т-образный вариант потока

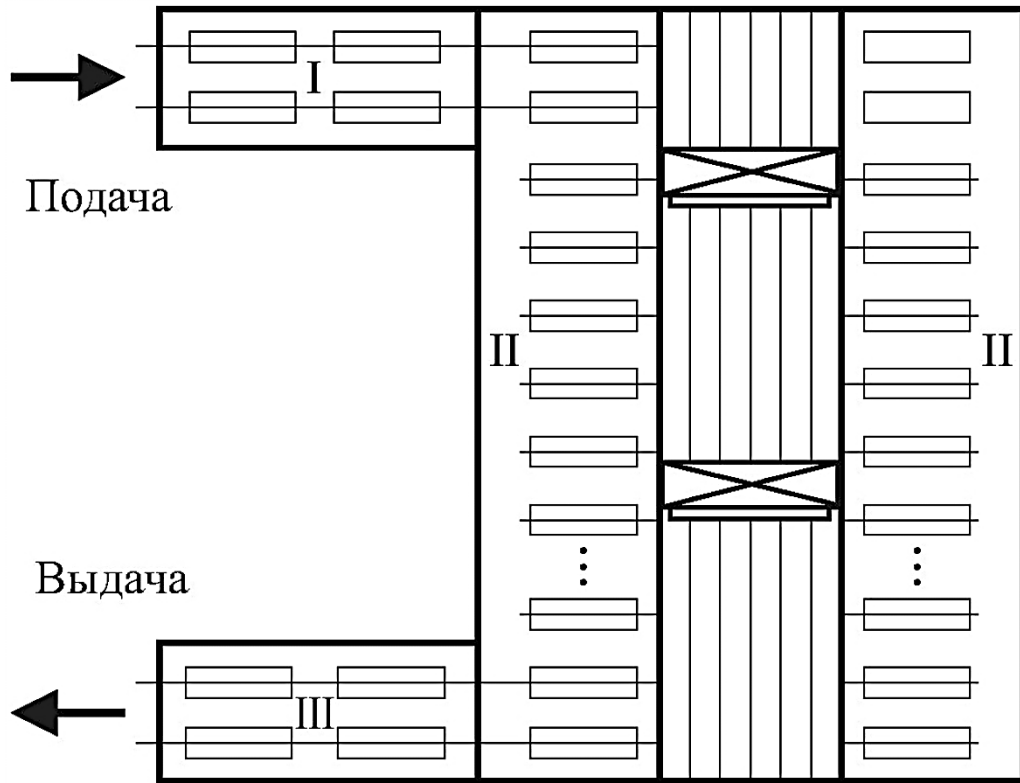


Рисунок 3.9 – II-образный вариант потока

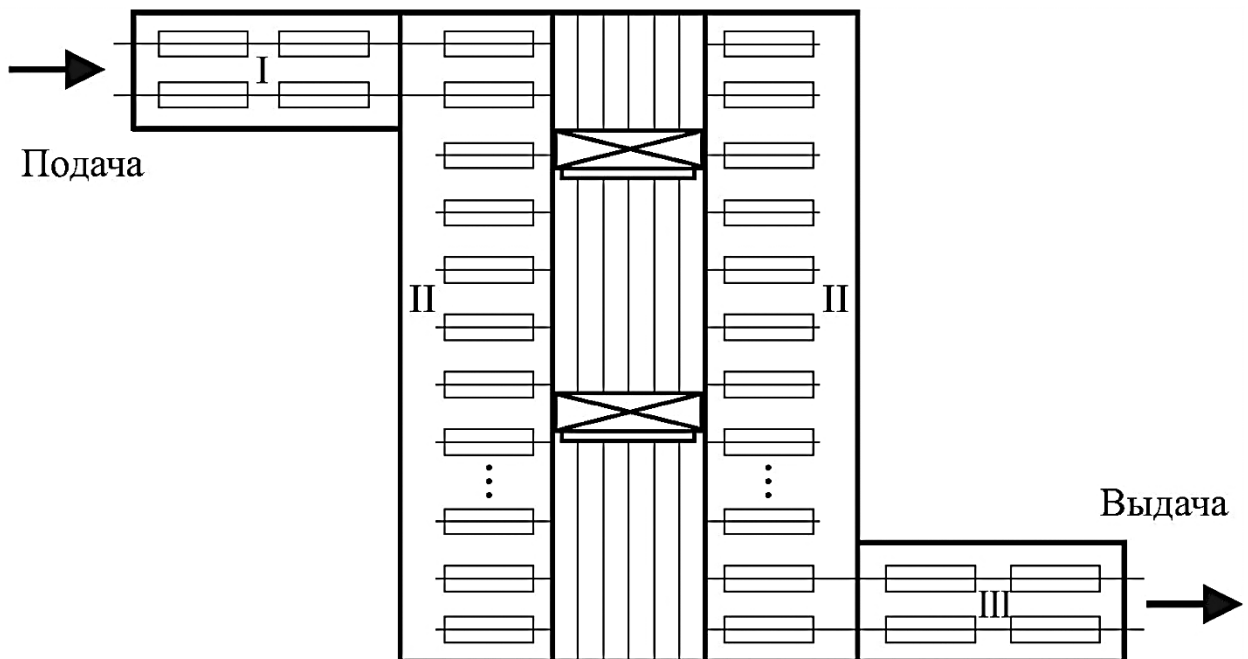


Рисунок 3.10 – Z-образный вариант потока

В основу организации ремонтных работ на главном вагоноремонтном участке (ГВРУ) положен асинхронный гибкий поток. Остановимся более подробно на компоновке этого участка. Этот участок включает в себя ремонтные пролёты и транспортные пролёты. В формуле структуры участка ремонтный пролёт будем обозначать буквой «Р», а транспортный пролёт – буквой «Т».

Количество транспортных агрегатов в каждом транспортном пролёте должно быть равно двум (один – рабочий, другой – резервный). В случае необходимости оба транспортных агрегата могут работать одновременно, каждый в своей зоне.

На рис. 3.11–3.14 представлены возможные структурные схемы организации асинхронного гибкого потока на участке. Для наглядности в качестве примера выбрана форма участка с односторонней подачей и выдачей вагонов (П-образный вариант ГВРУ). Рассмотрим эти варианты:

- вариант расположения ремонтного пролёта с одной стороны от транспортного пролёта (рис. 3.11). Формула структуры участка – Р/Т (Т/Р). Однако при этом варианте нерационально используются возможности транспортного устройства;

- вариант расположения ремонтных пролётов по обе стороны от транспортного пролёта (рис. 3.12). Формула структуры участка приобретает вид – Р/Т/Р. В этом случае возможности транспортного устройства могут быть использованы более эффективно;

- вариант поочерёдного расположения ремонтных и транспортных пролётов (рис. 3.13). Формула структуры участка – Р/Т/Р/Т. Этот вариант может иметь место при большой программе ремонта. С целью уменьшения нагрузки основного транспортного пролёта используется дополнительный транспортный пролёт;

- вариант симметричного расположения пролётов (рис. 3.14). Формула структуры участка – Р/Т/Р/Т/Р. В этом варианте каждый транспортный пролёт имеет возможность, кроме «своего» ремонтного пролёта (крайнего), обслуживать ещё и «общий» (средний) пролёт.

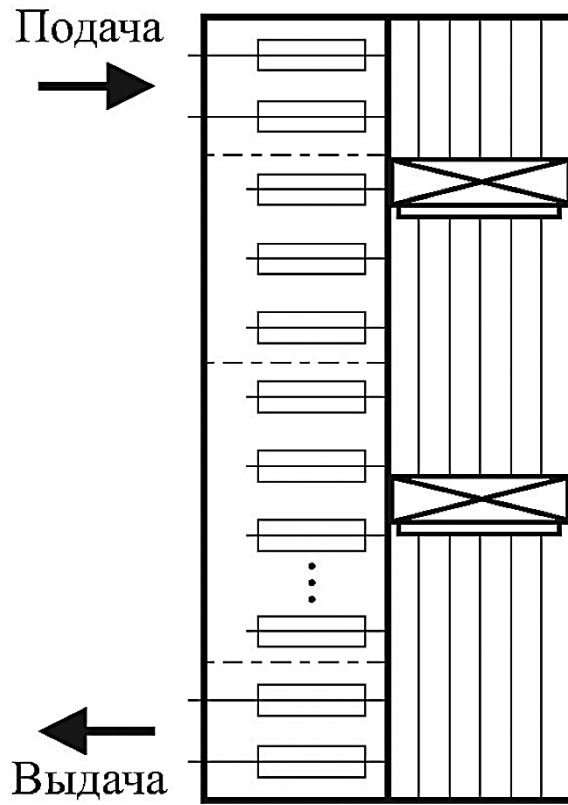


Рисунок 3.11 – Вариант расположения ремонтного пролёта с одной стороны от транспортного пролёта

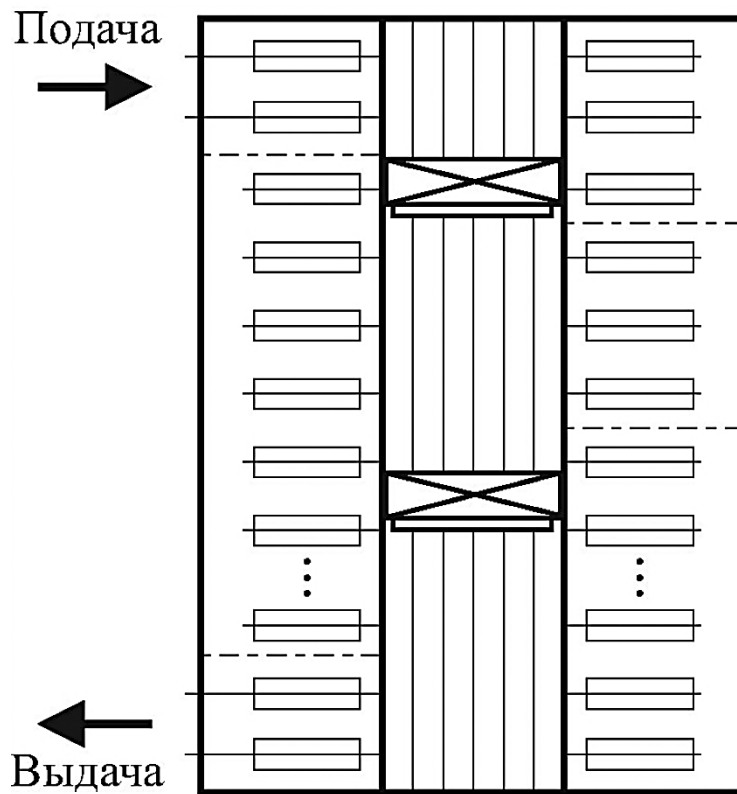


Рисунок 3.12 – Вариант расположения ремонтных пролётов по обе стороны от транспортного пролёта

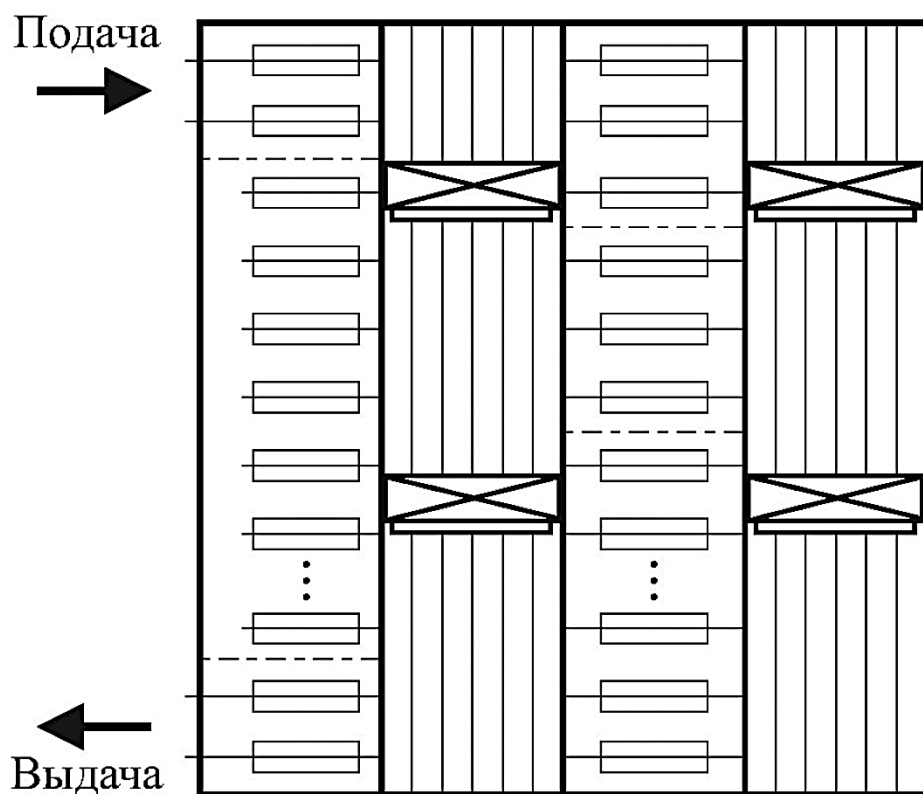


Рисунок 3.13 – Вариант поочерёдного расположения ремонтных и транспортных пролётов

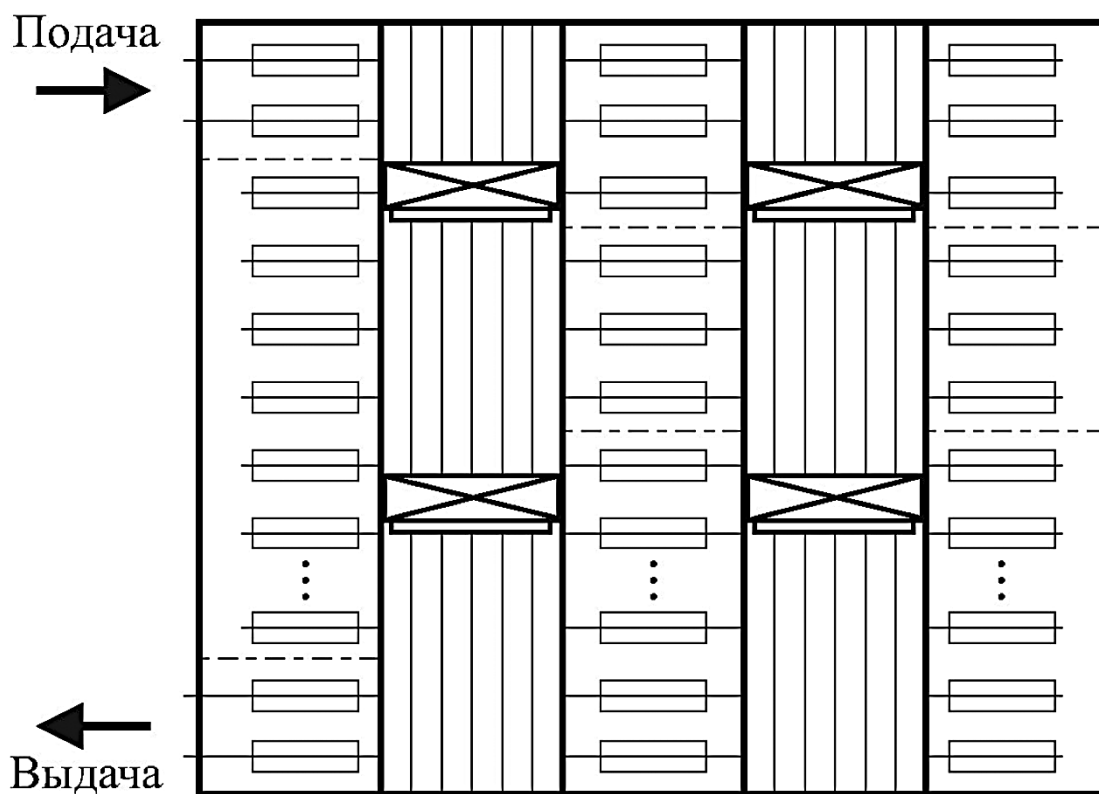


Рисунок 3.14 – Вариант симметричного расположения пролётов

В данной работе представлены только некоторые варианты возможных планировочных решений перспективных вагоноремонтных предприятий.

Известно, что перемещение объектов ремонта по позициям потока осуществляется в пространстве и во времени. От этих параметров зависит показатель «жесткости / гибкости» потока (табл. 3.1). Под структурой потока будем понимать совокупность элементов и связей между этими элементами. В качестве элементов структуры для потоков, представленных на рис. 1.4 и 1.5, будут выступать ремонтные позиции, а для потока, показанного на рис. 3.15 – технологические модули.

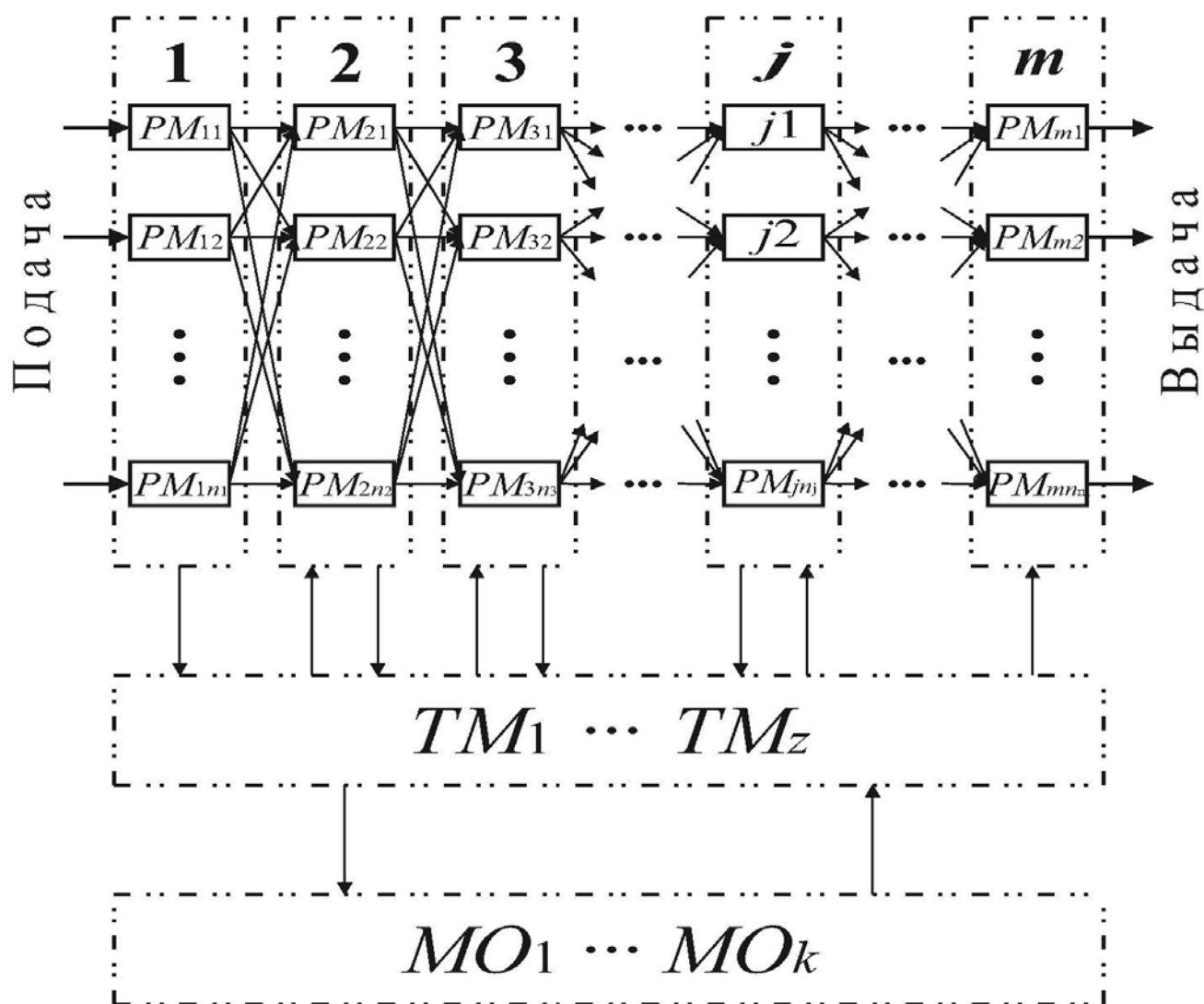


Рисунок 3.15 – Структурная схема асинхронного гибкого потока: PM_{jn} – n -й ремонтный модуль j -й позиции; TM_z – z -й транспортный модуль; OM_k – k -й модуль для ожидания

Вагоноремонтные предприятия, ориентированные на использование АГПРВ, имеют принципиальные отличия от вагоноремонтных предприятий, применяющих «классические» поточные линии.

3.5 Анализ основных параметров мультифазных поликанальных многопредметных асинхронных гибких потоков и методы их расчёта

Учитывая то, что АГПРВ может одновременно ремонтировать несколько типов вагонов, то общая программа ремонта вагонов определится по формуле

$$N_{\epsilon} = \sum_{a=1}^z N_a \quad (3.9)$$

где N_a – программа ремонта вагонов a -го типа;

z – количество типов ремонтируемых вагонов.

На одном потоке могут ремонтироваться вагоны разных типов: крытые, полувагоны, платформы, хопперы, окатышевозы и т. п. Основное требование к ремонтируемым вагонам – схожесть конструкции и соблюдение длины вагона.

Общая технологическая продолжительность пребывания вагонов a -го типа непосредственно в ремонте определяется по формуле

$$T_a = \sum_{j=1}^m t_{aj} \quad (3.10)$$

где t_{aj} – время простоя вагона a -го типа на j -й позиции, ч;

m – общее количество ремонтных позиций на потоке.

Количество ремонтных модулей на j -й ремонтной позиции определяется по формуле

$$n_j = \frac{\sum_{a=1}^z N_a t_{aj}}{F_{\text{H}} c}, \quad (3.11)$$

где F_H – номинальный годовой фонд времени работы предприятия в одну смену, ч;

c – количество рабочих смен, $c = 2$.

Общее количество ремонтных модулей на потоке определяется по формуле

$$R = \sum_{j=1}^m n_j \quad (3.12)$$

Количество модулей для ожидания определяется по формуле:

$$\Omega = Rk_o, \quad (3.13)$$

где k_o – коэффициент, учитывающий количество модулей для ожидания, $k_o = 0,10 \dots 0,15$.

Общее количество технологических модулей определяется по формуле

$$\theta = R + \Omega \quad (3.14)$$

В целях более компактного размещения позиций, а также эффективного использования транспортных агрегатов все технологические модули располагаются по обе стороны транспортного пролёта. Поэтому общее количество технологических модулей можно ещё определить по формуле

$$\theta = D_n + D_l, \quad (3.15)$$

где D_n – количество технологических модулей, расположенных с правой стороны от транспортного пролёта;

D_l – количество технологических модулей, расположенных с левой стороны от транспортного пролёта.

Желательно модули распределять между позициями так, чтобы их количество с обеих сторон было бы одинаковым.

Средний такт гибкого потока определяется по формуле

$$\tau_{cp} = \frac{F_H c}{N_g}. \quad (3.16)$$

Средний ритм определяется следующим образом

$$r_{cp} = \frac{1}{\tau_{cp}}. \quad (3.17)$$

Количество транспортных агрегатов тележек определяется согласно формуле

$$n_{тр} = \frac{N_{пер} t_{об} k_n}{60 F_{\partial} c k_u}, \quad (3.18)$$

где $N_{пер}$ – общее количество перемещений вагонов

$$N_{пер} = N_{\partial} V_1 k_{\partial n},$$

где $k_{\partial n}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные перемещения, связанные с нахождением вагонов в модулях для ожидания, равный 1,08...1,10;

V_1 – количество минимально необходимых перемещений одного вагона при помощи транспортного агрегата

$$V_1 = m - 1,$$

где $t_{об}$ – время оборота транспортного агрегата, мин;

k_n – коэффициент, учитывающий неравномерность транспортировки, $k_n = 1,10 \dots 1,20$;

k_u – коэффициент использования транспортного агрегата во времени, $k_u = 0,7 \dots 0,8$;

F_{∂} – действительный годовой фонд времени работы транспортного агрегата в одну смену, ч:

$$F_{\partial} = F_n - T_{\partial обл},$$

где $T_{\partial обл}$ – время на техническое обслуживание и ремонт трансбордера, составляет 4 % от F_n .

Продолжительность оборота транспортного агрегата определяется по формуле

$$t_{об} = (t_{загр} + t_{выгр} + t_{пр}), \quad (3.19)$$

где $t_{загр}$ – время загрузки вагона на трансбордер, $t_{загр} = 2 \dots 3$ мин;

$t_{выгр}$ – время выгрузки вагона с трансбордера, $t_{выгр} = 2 \dots 3$ мин;

$t_{пр}$ – среднее время перемещения трансбордера (в гружённом и порожнем состоянии), мин:

$$t_{пр} = \frac{l_{ТР}}{v_{ТР}},$$

где $l_{ТР}$ – полезная длина транспортного пролёта, м

$$l_{ТР} = \sum_{i=1}^{\omega} b_i,$$

где ω – максимальное количество модулей, расположенных с одной из сторон транспортного пролёта, $\omega = \max \{D_n, D_l\}$;

b_i – ширина i -го технологического модуля, которая зависит от размеров применяемого технологического оборудования и величины шага колонн, $b_i = 6 \dots 9$ м;

$v_{ТР}$ – средняя скорость перемещения трансбордера, $v_{ТР} = 50 \dots 60$ м/мин.

Количество транспортных агрегатов должно быть не менее двух, $n_{ТР} = 2$.

Представленный расчёт основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов не учитывает вероятностный характер вагоноремонтного производства и может быть использован только для предварительных укрупнённых расчётов на стадии разработки ТЭО. Дальнейшие расчёты (на стадии технического проекта) должны производиться с учётом обязательного использования имитационного моделирования работы гибкого вагоноремонтного потока на компьютерах.

3.6 Метод определения рациональной компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия на стадии его проектирования

В ходе выполнения производственного процесса все подразделения вагоноремонтного предприятия в той или иной степени взаимодействуют между собой. Между различными подразделениями предприятия существуют и разные виды взаимосвязей: управленческие, технологические, снабженческие, информационные. Эти связи, с точки зрения эксплуатационных затрат, имеют различный удельный вес. Есть такие связи, затраты на которые не зависят от дальности расположения подразделений, а есть такие, что зависят. Наиболее весомыми являются материальные взаимосвязи, имеющие непосредственное отношение к перемещениям различных грузов. Но и здесь существует разные варианты. Одно дело, когда между подразделениями происходит непрерывное перемещение грузов, имеющих большую массу, и совсем другое дело, когда необходимо на одном из участков снять, например, раз в месяц электродвигатель и доставить его в отделение ремонта деповского оборудования, а затем вернуть назад. Наиболее весомыми являются связи, обеспечивающие выполнение технологического процесса: осуществление постоянного перемещения вагонов, тележек, колёсных пар, а также других узлов, деталей и материалов. Поэтому компоновать помещения надо таким образом, чтобы объёмы грузооборотов между ними, измеренные в тонно-километрах, были бы наименьшими. Исходя из того, что масса перемещаемых грузов является величиной, на которую мы влиять не можем, то остаётся единственный вариант – сократить по возможности расстояния между смежными технологическими подразделениями. Иными словами, помещения, между которыми существуют самые большие грузопотоки, в целях снижения эксплуатационных затрат на перемещение, должны располагаться как можно ближе друг к другу.

Все подразделения в той или иной мере участвуют в технологическом процессе ремонта вагонов. Между ними при помощи напольного транспорта либо грузоведущих конвейеров постоянно перемещаются материальные потоки в виде

различных узлов, деталей, материалов или даже вагонов. Как известно, любое межцеховое перемещение грузов требует определённых эксплуатационных затрат. Чем на более дальнее расстояние перемещается груз, тем затраты являются более весомыми. С целью минимизации транспортных расходов подразделения должны быть размещены оптимальным способом. В данном случае для нас важнее, чтобы технологически связанные подразделения размещались бы как можно ближе друг к другу, что позволит сократить расстояния при внутридеповских перемещениях грузов. Естественно, что в зависимости от мощности предприятия, как и общая площадь всего предприятия, так и площади отдельных подразделений будут различными. Это может отразиться и на компоновке помещений конкретного предприятия.

Постараемся разработать рациональную компоновку подразделений предприятия на примере депо для ремонта полувагонов. Для этой цели воспользуемся аппаратом теории графов [243]. Граф является абстрактным математическим инструментом, позволяющим решать многие практические задачи. Визуально граф представляет собой геометрическую фигуру, состоящую из точек (вершин), соединённых между собой в определённом порядке линиями (рёбрами). Поэтому граф может быть задан множеством вершин v_1, v_2, \dots, v_n , которое обозначается через V , и множеством рёбер r_1, r_2, \dots, r_m , соединяющих между собой эти вершины, которое обозначается через R . В аналитическом виде граф может быть записан следующим образом: $G = (V, R)$, где V – множество вершин, $v \in V$; R – множество рёбер, $r \in R$. Каждое ребро есть сочетание двух вершин. Если v_i и v_j являются концевыми вершинами ребра r_k , то говорят, что вершины v_i и v_j инцидентны ребру r_k (или ребро r_k инцидентно вершинам v_i и v_j).

Есть и другой подход. Если известны два множества V_1 и V_2 , то можно образовать множество всех пар (v_1, v_2) , $v_1 \in V_1$, $v_2 \in V_2$. Каждое ребро графа G представляет собой отдельный элемент в произведении множеств $V \times V$. Очень

удобно результаты этого произведения представить в виде ячеек квадратной матрицы M с количеством элементов множества V в качестве координат по обеим осям. Матрица взаимодействий или смежности относится к наиболее полезным проектировочным средствам, которые возникли в результате поиска оптимальных методов проектирования [84]. Матрица взаимодействий подразделений вагоноремонтного предприятия представлена в табл. 3.6.

Здесь при построении графа в качестве «вершины» будем понимать технологическое подразделение, а в качестве «ребра» – потребность в перемещении грузов из одного технологического подразделения в другое.

В ячейку с координатами (v_i, v_j) в зависимости от силы взаимодействия между этими вершинами проставим цифры от 2 до 0. Это говорит о том, что наличие взаимосвязей оценивалось по трехбалльной шкале: 2 – взаимосвязь значительная; 1 – взаимосвязь малозначительная; 0 – взаимосвязь незначительная или вообще отсутствует. Чтобы излишне не загромождать матрицу одной и той же информацией, будем заполнять только те ячейки таблицы, которые находятся справа от диагонали. Отнесение некоторых взаимосвязей между подразделениями к тому или иному виду во многом является условным и зависит от субъективных качеств конкретного проектировщика. Поэтому желательно, чтобы для большей точности к работе привлекались специалисты-производственники. Чем больше подразделений, тем сложнее оценить уровень взаимодействия между ними. Огромную роль здесь могут сыграть, как мы уже отмечали, величины объёмов перемещаемых между подразделениями грузов. В табл. 3.7 приведен расчёт величин масс отдельных узлов полувагонов, перемещаемых между подразделениями, а также представлены нормы расхода материалов на ремонт одного вагона. Расходы материалов при деповском ремонте вагонов были заимствованы из норм [236].

Таблица 3.6 - Матрица взаимодействий подразделений вагоноремонтного предприятия между собой

№ п/п	Наименование подразделения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	Участок подготовки вагонов к ремонту		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
2	Главный вагоноремонтный участок	-		2	2	0	0	0	0	2	2	2	0	1	2	0	1	1	2	1	
3	Малярный участок	-	-		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
4	Тележечный участок	-	-	-		2	0	2	2	0	0	0	2	1	0	1	1	1	1	1	
5	Колёсный участок	-	-	-	-		2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	
6	Отделение ремонта роликовых подшипников	-	-	-	-	-		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
7	Парк тележек и колёсных пар	-	-	-	-	-	-		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
8	Участок ремонта триангелей	-	-	-	-	-	-	-		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
9	Участок ремонта тормозного оборудования	-	-	-	-	-	-	-	-		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
10	Участок ремонта автосцепного оборудования	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0	0	0	0	1	1	1	1	1	
11	Участок ремонта крышек люков и дверей	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0	0	1	0	0	1	1	1	
12	Отделение ремонта пружин	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0	0	0	0	1	1	1	
13	Кузнечное отделение	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	0	0	1	1	0	
14	Кладовая металла	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	1	0	2	0	
15	Электрогазосварочное отделение	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0	1	1	1	
16	Механический участок	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	1	1	
17	Отделение ремонта деповского оборудования	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1	1	
18	Материально-технический склад	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		1
19	Инструментально-раздаточная кладовая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Следующим этапом после составления матрицы взаимодействий элементов необходимо вычертить предварительный граф. Как мы уже отмечали, он представляет собой конфигурацию, состоящую из вершин, соединённых между собой звеньями (рёбрами). Вершины будем изображать кружочкам, а рёбра – линиями. Причём совершенно не важно, прямые это линии или кривые, длинные они или короткие. Важно только то, что они соединяют между собой две вершины.

В данном случае граф удобнее всего составлять, если придать ему округлую форму, т. е. вершины следует расположить по периметру воображаемой окружности в порядке принятой нумерации. Взаимосвязи значительные (2) между вершинами обозначены жирными линиями, а взаимосвязи малозначительные (1) – тонкими. Общий вид предварительного графа показан на рис. 3.19. Цифры в кружочках соответствуют номерам подразделений, представленных в табл. 3.6.

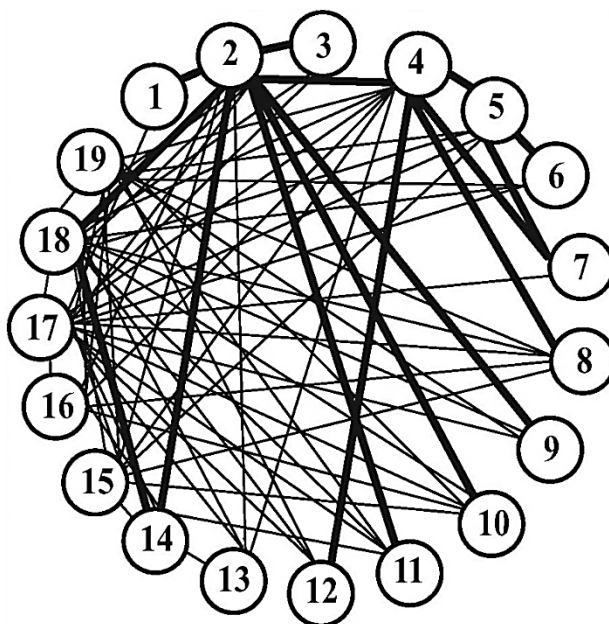


Рисунок 3.19 – Общий вид предварительного графа, построенного на основании матрицы взаимодействий

По сути дела в графе, показанном на рис. 3.19, содержится та же информация, что и в матрице взаимодействий, только в более приемлемом виде для дальнейших действий. Тем не менее этот граф представляет собой ещё

довольно сложное переплетение рёбер и не позволяет пока чётко представить компоновку помещений проектируемого предприятия.

Поэтому следующий этап включает в себя трансформацию данного графа в граф более наглядного вида. Для этого необходимо уловить топологическую структуру сети и расположить вершины графа таким образом, чтобы избежать пересечений наиболее значимых рёбер, или хотя бы свести их к минимуму. Эта процедура не совсем простая и занимает определённое время. Первым делом необходимо построить базовую структуру графа, состоящую из вершин, имеющих значительные взаимосвязи. Из табл. 3.6, а также из рис. 3.19 видно, что больше всего значительных взаимосвязей приходится на главный вагоноремонтный участок (2). Затем следует тележечный участок (4). Поэтому при составлении трансформированного графа вершины, соответствующие именно этим участкам, должны находиться в центре графа, а уже вокруг них должны располагаться остальные вершины.

Кроме того, желательно уже на этом этапе придать графу форму будущего здания депо. В ходе реализации этого этапа лучше всего разработать несколько альтернативных вариантов структур базового графа, а затем выбрать из них наиболее предпочтительный. Один из возможных вариантов такого трансформированного графа показан на рис. 3.20.

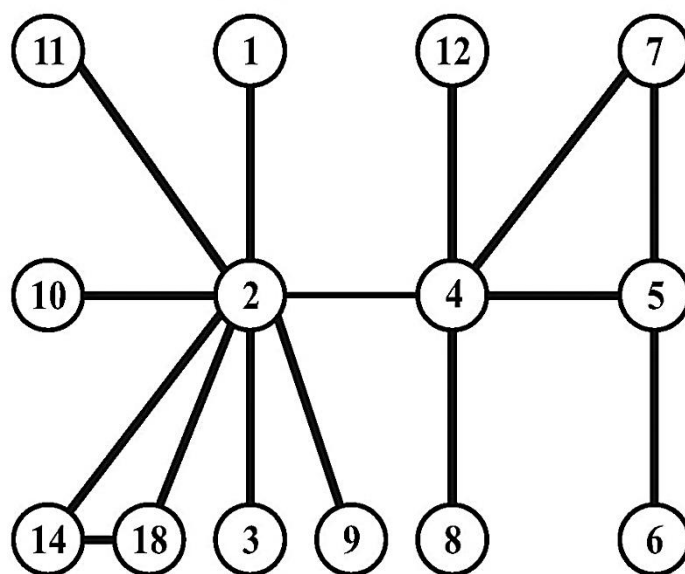


Рисунок 3.20 – Вариант базовой структуры трансформированного графа

Таблица 3.7 – Величины масс отдельных узлов полувагонов, перемещаемых между подразделениями, и норма расхода материалов на ремонт одного вагона

№ п/п	Наименование груза	Масса ед., кг	Кол-во на вагон	Всего, кг	Доля в массе вагона, %
1	Полувагон (в сборе)	24 000	1	24000	100,00
2	Тележка 18-100 (в сборе)	4745	2	9490	39,542
3	Колёсная пара РУ1Ш-950-А (с буксами)	1390	4	5560	23,167
4	Корпус буксы	45	8	360	1,500
5	Подшипник буксы	17,5	16	280	1,167
6	Триангель	76	4	304	1,267
7	Пружина наружная	15	28	420	2,567
8	Пружина внутренняя	7	28	196	
9	Крышка люка	186	14	2604	10,850
10	Двери	515	2	1030	4,292
11	Автосцепка (в сборе)	206	2	412	1,717
12	Поглощающий аппарат Ш-2В-90	132,6	2	265,2	1,105
13	Тормозное оборудование (комплект), в том числе:	296	1	296	1,200
	Воздухораспределитель 483	84	1	84	
	Тормозной цилиндр	110	1	110	
	Запасный резервуар	26	1	26	
	Авторегулятор	30	1	30	
	Авторежим	19	1	19	
	Магистральная часть Тяги	6	1	6	
	Рукав тормозной Кран концевой	3	2	6	
		3,5	2	7	
		3,9	2	8	
14	Прокат чёрных металлов			696,0	2,900
15	Электроды			20,0	0,083
16	Проволока сварочная			22,9	0,095
17	Флюс сварочный			20,0	0,083
18	Лакокрасочные материалы			10,21	0,043
19	Смазочные материалы			20,0	0,083
20	Метизы			17,0	0,071
21	Трубы и фитинги			1,5	0,006

На основании полученной структуры трансформированного графа, представленного на рис. 3.20, составим уточнённый граф (рис. 3.21). Для этого добавим вершины, имеющие малозначительные связи. Постараемся расположить их таким образом, чтобы они находились как можно ближе к смежным вершинам и при этом вписывались в конфигурацию будущего здания.

На основании графа, представленного на рис. 3.21, попытаемся осуществить компоновку подразделений вагоноремонтного предприятия. Здесь трудность

заключается ещё и в том, что приходится учитывать и площади отдельных помещений, и конфигурацию всего здания, которое должно быть правильной формы. В данной работе мы не будем подробно рассматривать конфигурацию каждого отдельного подразделения. Будем подразумевать, что помещения, как правило, имеют прямоугольную форму, а их площади соответствует нормам технологического проектирования [238].

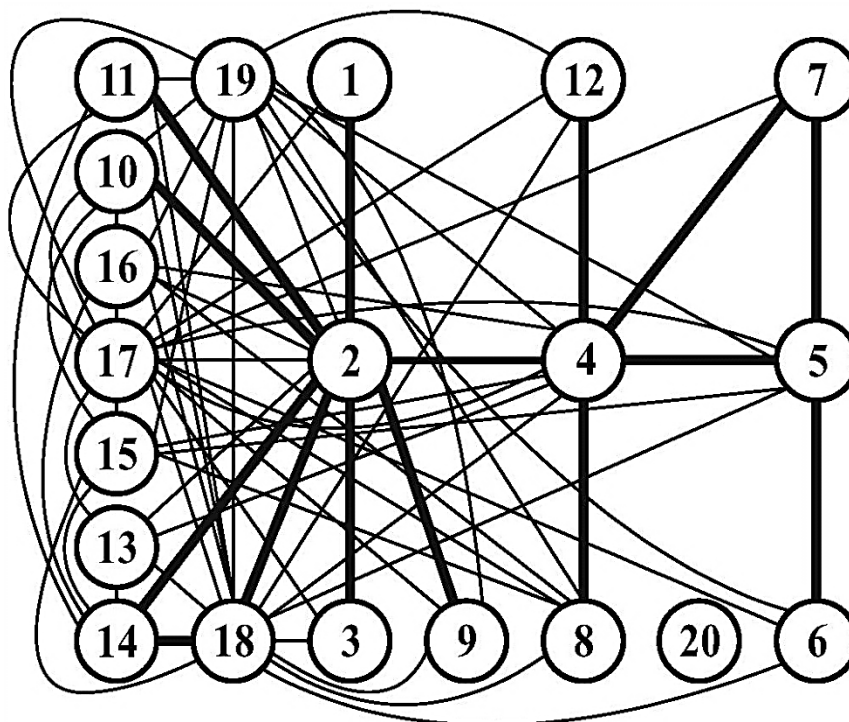


Рисунок 3.21 – Уточнённый вариант графа

Окончательный вариант компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия показан на рис. 3.22.

Вершина графа под номером 20 представляет собой вспомогательные помещения, которые непосредственно не задействованы в технологическом процессе, но сопутствуют ему и занимают определённые площади, которые должны быть учтены при компоновке главного производственного корпуса (узлы ввода-вывода коммуникаций, вентиляционные камеры, трансформаторные подстанции, санитарные узлы и т. п.).

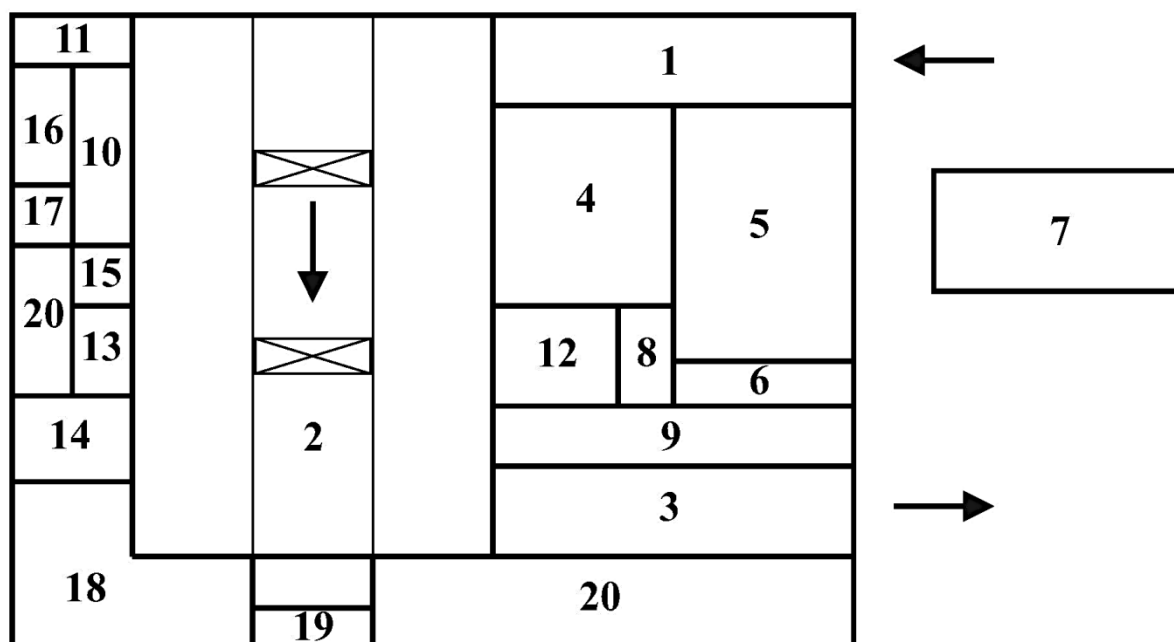


Рисунок 3.22 – Вариант компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия (стрелками показано направление движения генерального вагоноремонтного потока)

Необходимо отметить, что полностью учесть все требования не представляется возможным. Поэтому можно пренебречь малозначительными взаимосвязями.

Сокращение эксплуатационных затрат является важным показателем повышения эффективности производства. Значительная часть этих затрат напрямую связана с постоянными перемещениями различных грузов между технологическими подразделениями предприятия. Эти затраты могут быть снижены ещё на стадии проектирования за счёт рациональной компоновки подразделений предприятия. В работе на конкретном примере показан инструментарий, позволяющий ещё на стадии проектирования перспективных вагоноремонтных предприятий, использующих гибкий поток ремонта вагонов, осуществлять рациональную компоновку подразделений предприятий, способствующую сокращению лишних перемещений внутридеповских грузов.

3.7 Выводы по разделу 3

1. Внедрение гибкого потока для вагоноремонтного производства является непростой задачей и требует глубоких теоретических проработок. В данном разделе проведен структурно-параметрический анализ гибких потоков и осуществлён поиск рациональных структур, которые в рамках заданных условий смогут обеспечить максимальную маневренность вагонов во время их перемещения между ремонтными модулями потока, что позволит повысить его пропускную способность и сократить продолжительность времени пребывания вагонов в ремонте.

2. Предложена иерархическая структурная схема гибкого потока: генеральный вагоноремонтный поток, участки, позиции, модули. Рассмотрены варианты компоновок вагоноремонтных предприятий нового поколения. Генеральный вагоноремонтный поток представлен состоящим из трёх последовательно расположенных участков: участка подготовки вагонов, главного вагоноремонтного участка и малярного участка. Рассмотрены возможные варианты сочленения этих участков между собой.

3. Показано, что при создании поточной ремонтной сети у технической системы появляется новое свойство, которое выступает в качестве одного из основных параметров. Это свойство состоит в возможности многовариантного перемещения вагонов. Так, если у «жёсткого» потока возможен только один вариант перемещения вагонов вдоль позиций поточной линии, то у поточной сети появляются сотни и даже тысячи возможных маршрутов перемещения. Предложены варианты компоновки главного вагоноремонтного участка, состоящего из ремонтных и транспортных пролётов.

4. Автором введён инновационный показатель – «структурная гибкость потока». Предложен метод определения «структурной гибкости потока». На основе морфологического анализа определены варианты гибких потоков, обладающие наибольшей структурной гибкостью. На отдельных примерах показано как одно и то же общее количество модулей на потоке, но по-разному

распределённое между позициями, влияет и на общее количество возможных маршрутов перемещения вагонов между позициями потока.

5. На основании матрицы взаимодействия подразделений и аппарата теории графов предложен метод рациональной компоновки участков и отделений вагоноремонтного предприятия, использующего гибкий поток, что позволит существенно сократить транспортные маршруты и снизить затраты на перемещение материалов, узлов, деталей и вагонов.

6. Предложен новый принцип работы транспортного агрегата для перемещения вагонов и описано собственное техническое решение по его реализации с учетом особенности его конструкции, что позволит организовать эффективную систему транспортировки объектов ремонта между позициями.

7. Разработан аналитический метод расчёта основных параметров и показателей функционирования поточных ремонтных сетей с учётом ремонта разных типов вагонов и производства разных видов ремонта, который может быть использован на предварительных этапах проектирования вагоноремонтных предприятий.

РАЗДЕЛ 4

РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАГОНОРЕМОНТНЫХ ПОТОКОВ

4.1 О математических моделях и моделировании

При проектировании и строительстве существующих депо, использующих «типовые» поточные линии ремонта вагонов, в своё время недостаточно уделялось внимания вопросам предпроектного анализа и моделирования технологических процессов. Поэтому неэффективность принятых проектных решений обнаруживалась уже позже, только в ходе эксплуатации таких линий. А это ведь затраченные огромные средства. Очевидна нерациональность такого подхода к разработке сложных производственных систем, какими являются вагоноремонтные предприятия.

Особенности вагоноремонтного производства требуют учёта значительного числа случайных факторов, оказывающих существенное влияние на работу поточных линий. Задача состоит в том, чтобы своевременно выявить эти факторы и уже с их учётом создавать такие производственные системы, которые могли бы легко адаптироваться к постоянно изменяющейся ремонтной среде. Существующие же в настоящее время поточные линии ремонта вагонов очень плохо приспособлены к условиям стохастического производства. Они очень чутко реагируют на любые колебания трудоёмкости ремонтных работ. Вместе с тем, сегодня уже возможны и другие структурные варианты потоков, например, гибкие.

Гибкие вагоноремонтные потоки обусловлены в первую очередь наличием нескольких обслуживающих каналов, расположенных параллельно, а также специальной транспортной системой, позволяющей осуществлять индивидуальное перемещение объектов ремонта независимо друг от друга. В случае использования гибкого потока появляется дополнительная свобода действий, которая проявляется в значительном увеличении числа альтернативных вариантов принятия управленческих решений и согласования взаимодействий

между отдельными производственными элементами. Это позволит сглаживать многие производственные ситуации, вызванные нестабильностью ремонтной среды. Обычный здравый смысл подсказывает правильность выбранного направления, но для принятия взвешенного решения необходимо иметь более точную информацию о том, как всё же поведёт себя будущий объект в эксплуатации.

До настоящего времени при проектировании вагоноремонтных предприятий основные параметры поточно-конвейерных линий рассчитывались при помощи небольшого количества простых «классических» формул, которые совершенно не учитывали вероятностную природу ремонтного производства. Поэтому реальные показатели производства не соответствовали проектным показателям. Такой безответственный подход к проектированию дорогостоящих объектов совершенно недопустим.

В связи с этим остро встаёт вопрос, связанный с более детальными проработками технологических решений ещё на стадии проектирования объектов, с использованием математических моделей. Поэтому одним из самых мощных инструментов на стадии проектирования сложного технологического процесса может стать математическое моделирование.

Под математической моделью (ММ) системы принято понимать любое математическое описание, отражающее с необходимой точностью поведение реальной системы в реальных условиях. Оно включает в себя совокупность различных формул, неравенств, уравнений, логических соотношений, которые определяют характеристики состояний системы в зависимости от её параметров, начальных условий, входных и выходных сигналов, случайных факторов и времени.

Моделирование является одним из методов научного познания, при помощи которого изучение реального объекта или процесса осуществляется путём создания его копии, которая затем познаётся исследователем. Моделирование в настоящее время является наиболее действенным способом изучения многих объектов, процессов или явлений. По сути дела, моделирование – это имитация

практической апробации будущего производства. Моделирование нашло широкое применение как в научных исследованиях, так и в инженерной практике [61].

Отличительная черта моделирования как метода исследования состоит в возможности изучения таких объектов и процессов натурный эксперимент с которыми либо затруднён, либо невозможен. В общем случае метод моделирования можно рассматривать как метод опосредованного познания, при котором объект-оригинал находится в некотором соответствии с объектом-моделью.

При моделировании ведущая роль отводится модели, которая представляет собой условный образ какого-либо объекта-оригинала. Качество результатов имитационного моделирования напрямую зависит от адекватности имитационной модели исследуемому процессу.

При разработке модели имеют место различные степени абстрагирования. Остановимся только на крайних вариантах. Нижним уровнем выступает физическое моделирование, при котором функционирование объекта проверяется на модели, отличающейся от оригинала в лучшем случае размерами. Физические модели с учётом требований, вытекающих из теории подобия, соответствуют неплохой адекватности исследуемому объекту, а, следовательно, и высокой достоверности результатов моделирования. Преимущества физического моделирования по сравнению с натурным экспериментом состоит в том, что условия реализации процесса-модели могут несколько отличаться от условий, присущих процессу-оригиналу, и подбираются, исходя из простоты исследования и удобства. Общими недостатками таких моделей являются большая стоимость, отсутствие универсальности и длительная продолжительность эксперимента.

Верхним уровнем является математическое моделирование. Оно позволяет избежать существенных затрат, значительно сократить время проектирования, исключить метод натуральных проб и ошибок. Имитационная система представляет собой машинный аналог сложного реального процесса. Она даёт возможность заменить натурный эксперимент с реальным процессом экспериментом с математической моделью этого процесса.

Таким образом, все модели, используемые для научного познания, делятся на два класса: вещественные (материальные) и логические (идеальные). Первый класс моделей в более или менее наглядном виде повторяет объект исследования. Логические модели являются идеальными образованиями, которые представлены в определённой знаковой форме, и функционируют согласно правилам логики и математики. К достоинствам логических моделей относится то, что они при помощи математических символов позволяют раскрыть такие связи и отношения, которые другими средствами обнаружить очень сложно. Поэтому для описания процессов, происходящих на потоке, мы будем пользоваться исключительно математическими моделями.

Между моделью и реальным объектом должно существовать определённое соответствие (сходство), которое и позволяет переносить информацию, полученную в ходе исследования модели, на реальный объект. Обратим внимание на то, что моделирование имеет большое сходство с методом аналогии, который как бы служит логическим основанием для получения выводов, вытекающих из моделирования. Моделирование также очень тесно связано с таким методом научного познания, как абстрагирование. Суть последнего заключается в мысленном отвлечении от несущественных связей, свойств, деталей, отношений изучаемых процессов с параллельным выделением наиболее важных свойств, сторон и связей рассматриваемых процессов.

В целом математические модели могут использоваться в следующих случаях:

- аналитическое исследование процессов;
- исследование процессов с помощью численных методов;
- исследование процессов с помощью методов статистического моделирования.

Аналитический метод позволяет дать наиболее цельную и полную и наглядную картину исследуемого процесса. Поэтому на практике стараются к нему прибегать в первую очередь. Вместе с тем, на практике далеко не всегда

удаётся придать математической модели удобный для аналитического исследования вид.

Исследование процессов с помощью численных методов не сильно отличается от аналитических методов. При этом исследование процесса с помощью численных методов оказывается менее полным по сравнению с аналитическими методами.

Последний случай представляет собой моделирование на компьютерах с имитацией различных случайных факторов. С бурным развитием вычислительной техники и появлением «машинных» методов исследования, имитационное моделирование стало завоевывать всё больше и больше почитателей. В связи с этим на первый план выдвигаются математические модели, которые могут быть использованы при имитационном моделировании различных процессов на компьютерах.

При моделировании процессов на компьютерах имеется возможность их воспроизведения с сохранением логической структуры и распределением во времени. Однако для моделирования процесса необходимо его математическую модель преобразовать в моделирующий алгоритм. Реализация последнего на компьютере является как бы имитацией исследуемого явления с учётом взаимодействия различных случайных величин.

Опыт по формализации сложных систем говорит о том, что наблюдать непосредственно за процессом и на основании этих наблюдений составлять сразу математическую модель весьма трудно. Поэтому, исходя из опыта, была создана определённая методика, которая включает в себя несколько этапов [54].

В качестве этапов обычно выступают следующие процедуры: содержательное описание процесса, построение его формализованной схемы и разработка математической модели. Такое деление является, хотя и условным, тем не менее, оно наглядно демонстрирует порядок действий, который сложился на практике при разработке имитационных моделей сложных систем.

Содержательное описание в вербальной форме отображает количественные и качественные характеристика моделируемого процесса, его структуру, логику

событий и взаимоотношения между элементами. В нём также находят своё отражение исходные данные, режимы работы, вероятностные характеристика и т.п. Кроме того, оно концентрирует внимание на цели моделирования, определяет, какие результаты процесса необходимо фиксировать для получения требуемых данных. Содержательное описание процесса обычно готовит специалист данной прикладной области знаний.

Разработка формализованной схемы является промежуточным этапом между содержательным описанием и математической моделью. На этом этапе к работе подключается математик, который должен полностью разобраться с содержательным описанием и уяснить для себя все ключевые и нечёткие моменты.

Затем на основании формализованной схемы разрабатывается математическая модель. Для этого никакой дополнительной информации уже не требуется.

4.2 Содержательное описание функционирования гибкого потока ремонта вагонов

Математическая модель технологического процесса ремонта вагонов на потоке может быть создана в результате его формализации, которое представляет чёткое формальное описание с необходимой степенью детализации. Разработка математической модели является необходимым этапом каждого серьёзного исследования.

При выборе схемы формализации процесса функционирования сложных производственных систем очень важно учесть два принципиальных момента:

1. Получить наиболее простую модель процесса функционирования системы.
2. Добиться как можно более точных результатов расчёта. В нахождении компромисса между этими двумя противоречивыми условиями и состоит задача оптимального моделирования.

Что собой представляет поточный метод ремонта вагонов, уже было достаточно подробно описано в разделе 1. Постараемся дать содержательное описание этого процесса применительно к ремонту грузовых вагонов с использованием гибкого потока.

Процесс ремонта вагонов, который необходимо смоделировать, представляет собой комплекс ремонтных операций, выполняемых на специализированных ремонтных позициях, расположенных в соответствии с технологическим процессом. За каждой конкретной позицией строго закреплён свой перечень операций (комплекс работ). Чтобы завершить полный ремонтный цикл, каждый вагон должен последовательно пройти через все ремонтные позиции и в каждой из них получить обслуживание. Процесс ремонта вагонов осуществляется в пространстве и во времени. Поэтому для его описания необходимо знать пространственные и временные параметры.

Поведение системы будем рассматривать на некотором интервале времени $[0, T]$. Будем считать, что характеристики системы изменяются во времени дискретно. Эти условия отражают динамический характер функционирования системы. Авторы работы [111] определяют динамическую систему как структурированный объект, в который периодически можно вводить и из которого можно выводить вещество, энергию и информацию. Это свидетельствует о том, что такая система обязательно должна иметь вход и выход.

Согласно технологическому процессу, каждый ремонтируемый вагон должен последовательно пройти через ряд специализированных позиций (участков): мойки, диагностики, разборки, ремонта, сборки, окраски и сушки. Весь этот технологический комплекс состоит из отдельных элементов. Представим каждый элемент системы в виде соответствующего технологического модуля. Все технологические модули, которые входят в структуру ремонтного потока, по функциональному назначению можно разделить на три группы. Первая группа – это ремонтные модули на которых непосредственно осуществляется ремонт вагонов. Вторая группа – это буферные модули или модули для ожидания, которые служат для выравнивания неравномерности движения объектов ремонта

между ремонтными модулями. Третья группа – это транспортные модули, которые необходимы для транспортировки объектов ремонта между остальными модулями.

Под ремонтным модулем (РМ) будем понимать обособленный производственный комплекс, занимающий часть площади специализированной позиции, необходимой для размещения одного вагона, оснащённый специальным технологическим оборудованием, укомплектованный соответствующим производственным персоналом и предназначенный для выполнения строго определённого перечня технологических операций. На каждой позиции может находиться несколько однотипных, взаимозаменяемых РМ. Ремонтные модули одной позиции полностью идентичны между собой. Ремонтные модули различных производственных позиций различаются между собой комплексами выполняемых технологических операций, составом оборудования и персонала. Продолжительность выполнения ремонтных работ на каждой позиции является случайной величиной, подчиняющейся некоторому закону распределения.

Под модулем для ожидания (МО) будем понимать специальное место, предназначенное для временного размещения одного вагона. Эти модули являются «запасным вариантом» в случае «сбоя» технологического процесса. Они выступают как бы в роли буфера, смягчающего неравномерное движение объектов ремонта между участками, вследствие значительного разброса объёмов ремонтных работ. Например, в случае, если РМ j -й фазы закончил обслуживание требования и необходимо освободить место для очередного требования, а все РМ следующей $(j+1)$ -й фазы заняты, то в этом случае требование, обслуженное в j -й фазе, может поступить в свободный МО, а на его место поступит требование из $(j-1)$ -й фазы. В отличие от РМ, МО не оснащён никаким технологическим оборудованием, не укомплектован никаким производственным персоналом, и никакие работы в нём не предусмотрены.

Под транспортным модулем (ТМ) понимается мобильное транспортное средство (трансбордерная тележка, транспортный агрегат), предназначенное для перемещения одного вагона между РМ и МО. Система транспортировки вагонов

при этом организована таким образом, что каждый вагон с любого модуля (ремонтного места) j -й позиции может поступить на любой освободившийся модуль следующей $(j+1)$ -й позиции. Перемещение вагонов между позициями осуществляется при помощи двух транспортных агрегатов (рис. 3.7–3.8). Структурная схема асинхронного гибкого потока ремонта вагонов представлена на рис. 1.6.

Каждая группа модулей имеет своё предназначение, но все эти модули одновременно участвуют в технологическом процессе. В любом модуле может находиться только один вагон. Если пользоваться терминологией теории массового обслуживания [231], то по сути дела каждый ремонтный модуль является одноканальной системой массового обслуживания. Весь же асинхронный гибкий поток ремонта вагонов представляет собой многофазную многоканальную систему массового обслуживания. В процессе обслуживания каждое требование (вагон) проходит последовательно через одни и те же ремонтные позиции (фазы), но через разные ремонтные модули (каналы).

Таким образом, при расчленении потока как сложной системы на отдельные элементы, будем считать, что для достаточной глубины проработки в качестве отдельных элементов целесообразно принимать всевозможные технологические модули. Такими модулями могут быть «ремонтный модуль» (РМ), «транспортный модуль» (ТМ), «модуль для ожидания» (ОМ).

В настоящее время возможны различные структурные схемы организации потоков. В зависимости от вариантов компоновки потока РМ могут быть связаны между собой напрямую (используется традиционный грузоведущий конвейер) либо через трансбордерные тележки. В варианте жёсткой поточной линии количество РМ соответствует фронту работ (число одновременно ремонтируемых вагонов). Для гибкого же потока количество РМ всегда превышает фронт работ.

Таким образом, гибкий поток ремонта вагонов представляет собой сложную организационно-технологическую систему, состоящую из отдельных элементов (подсистем), которые находятся в постоянном взаимодействии друг с другом.

На рис. 4.1 представлен один из возможных вариантов схематичной компоновки предприятия, использующего асинхронный гибкий поток ремонта вагонов. При этом варианте АГПРВ размещён в трёх параллельных пролётах. В отличие от обычных вагонных депо, в которых объекты ремонта расположены вдоль пролётов цеха, здесь вагоны расположены поперёк пролётов. В крайних пролётах шириной по 24 м расположены РМ и МО. В среднем пролёте шириной 24 м (18 м) расположены ТМ. Такое компактное расположение позволяет ТМ одновременно обслуживать ремонтные модули, находящиеся в разных пролётах. Стрелками показано направление подачи и выдачи вагонов из производственного корпуса.

Здесь следует учесть то, что разработкой математических моделей различных процессов специалисты занимаются уже давно. На сегодняшний день математиками разработаны математические модели, позволяющие описывать различные технологические процессы [5, 6, 50–54, 124, 140, 147]. Необходимо обратить внимание на то, что поток ремонта вагонов относится к классу объектов, которые хорошо совпадают с уже разработанными математическими моделями. Поэтому не стоит «изобретать велосипед», когда уже имеется целый ряд математических моделей, которые вполне могут быть использованы для анализа производственных систем, в том числе поточных вагоноремонтных линий. Рассмотрим некоторые из них. Наиболее подходящими моделями являются модель системы массового обслуживания (СМО) и модель агрегативной системы (АС).

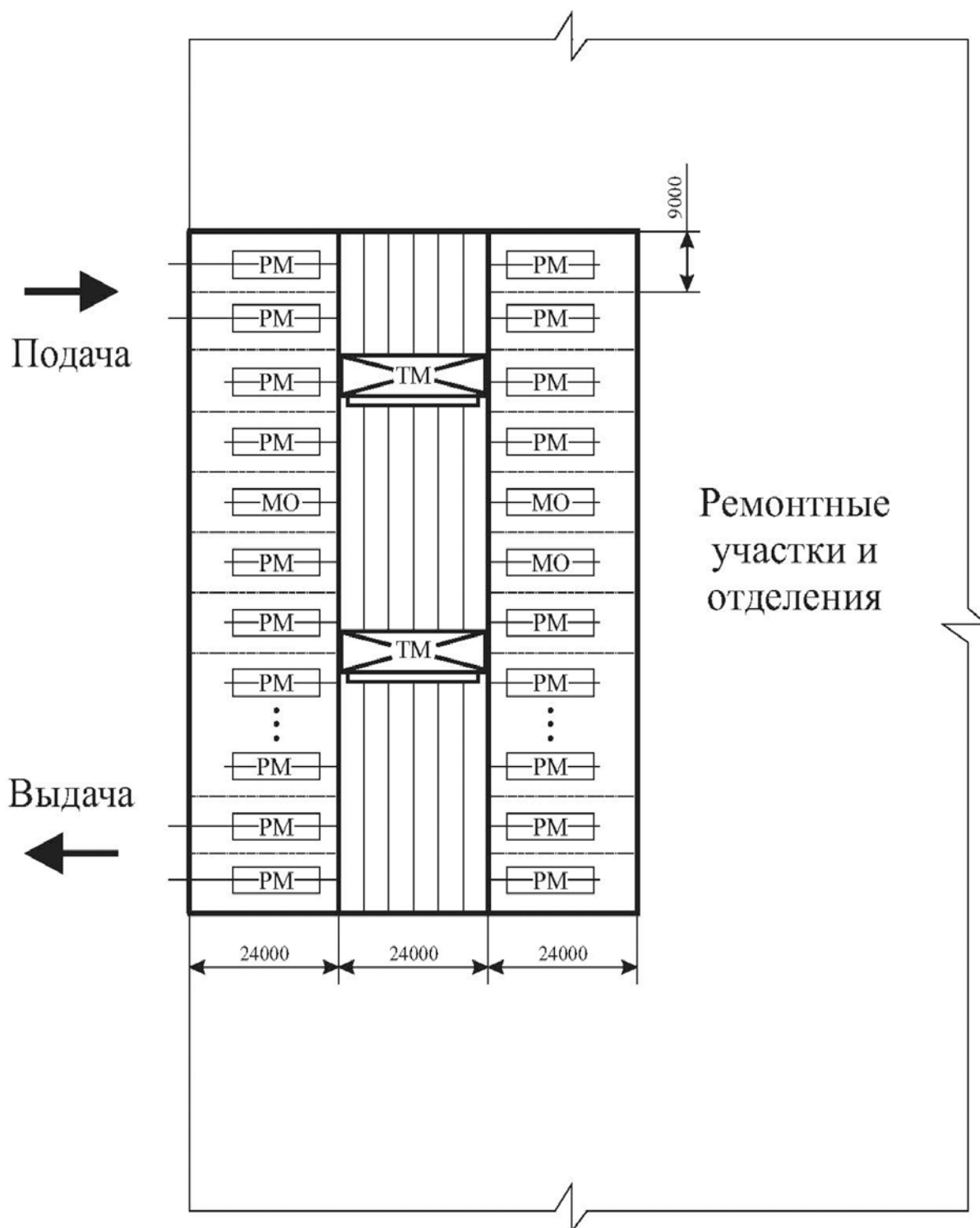


Рисунок 4.1 – Схематичный вариант компоновки предприятия, использующего асинхронный гибкий поток ремонта вагонов

На рис. 4.2 представлена структурная схема асинхронного гибкого потока, представляющая собой поточную ремонтную сеть.

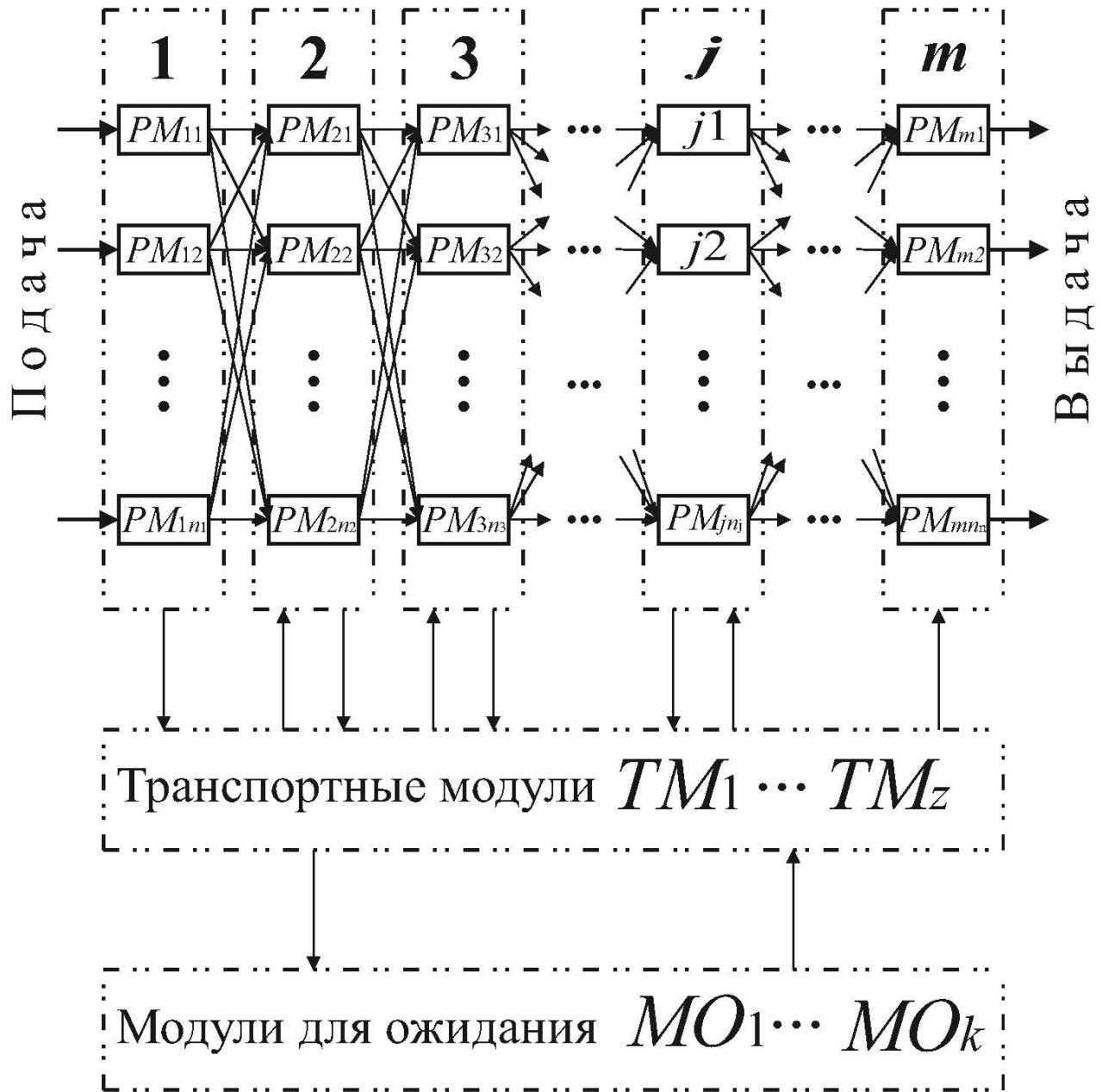


Рисунок 4.2 – Структурная схема асинхронного гибкого потока: PM_{jn} – n -й ремонтный модуль j -й позиции; TM_z – z -й транспортный модуль; MO_k – k -й модуль для ожидания

4.3 Понятие потока ремонта вагонов как многофазной поликанальной системы массового обслуживания

4.3.1 Общие положения теории массового обслуживания

Громадный класс прикладных задач, так или иначе, относится к задачам системы массового обслуживания. В связи с большой популярностью задач этого

класса в теории вероятности даже возникло новое направление – теория массового обслуживания. Первоначально задачи массового обслуживания возникли в начале прошлого века в телефонии, а затем были перенесены и на другие отрасли: бытовое обслуживание, транспорт, военное дело, производство и т.п. На начальном этапе развитию этой теории способствовали труды датского учёного А. К. Эрланга, который длительный период времени работал в телефонной компании Копенгагена.

С того момента интерес к данной проблеме необычайно возрос. Оказалось, что, кроме собственно качества обслуживания, важное значение имеет и то, как это обслуживание организовано. Поэтому и возникла необходимость изучения организационной составляющей процесса обслуживания. Эта сторона процесса обслуживания может быть охарактеризована самыми разными показателями: временем обслуживания, временем ожидания обслуживания, длиной очереди на обслуживание, количеством обслуживающих приборов, возможностью получения отказа в обслуживании и т. п. Эти все факторы имеют важное значение в тех процессах, которые могут быть отнесены к массовому обслуживанию.

Таким образом, предметом теории массового обслуживания является количественная сторона процессов, связанная с массовым обслуживанием в различных системах. Целью этой теории является разработка математических методов поиска основных параметров процессов массового обслуживания, обеспечивающих успешную их работу. По теории массового обслуживания написано огромное количество работ, среди которых укажем только наиболее важные [6, 51, 72, 231].

Каждая система массового обслуживания характеризуется определённой структурой, которая имеет определённый состав и функциональные связи. Она включает в себя следующие элементы: входящий поток требований (заявок), приборы (каналы, аппараты) обслуживания, очередь из требований, ожидающих обслуживания и выходящий поток требований. Учитывая, что первоначально теория массового обслуживания нашла своё применение при развитии

телефонных сетей, то и до сих сохранилась терминология из этой сферы деятельности.

Так последовательность событий называется потоком. Поток, состоящий из требований на обслуживание, принято называть потоком требований. Поток требований может быть входящим и выходящим. Поток требований, которые поступают в систему для обслуживания, называется входящим потоком. Поток требований, покидающих систему, называется выходящим потоком. Причём требования, поступившие в систему, могут покинуть её и, не будучи обслуженными.

На рис. 4.3 представлена общая схема систем массового обслуживания. Эта схема может быть легко изменена, если система состоит, например, из целого ряда последовательных приборов, через которые проходят требования. Где-то могут отсутствовать места в очередях и т. п.

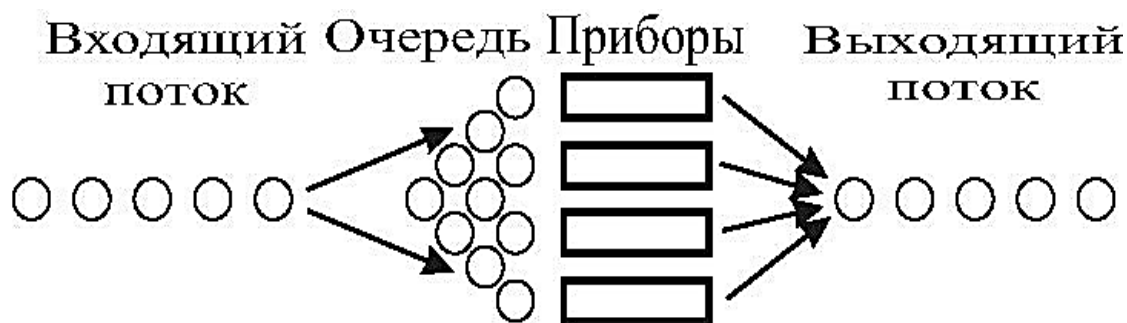


Рисунок 4.3 – Общая схема систем массового обслуживания

Обратим внимание на то, что практически все предприятия вагонного хозяйства занимаются ремонтом и обслуживанием вагонов и поэтому подпадают под такой широкий класс объектов, которые можно классифицировать как системы массового обслуживания. Разные виды этих производств могут иметь разные параметры и структурные схемы, отличающиеся большим разнообразием. Среди них гибкий поток ремонта вагонов представляет наиболее сложную систему массового обслуживания. Учитывая то, что вагон во время ремонта проходит через специализированные позиции, можно сказать, что такая система называется мультифазной системой массового обслуживания. Если в каждой фазе

находится один обслуживающий прибор, то такая система называется одноканальной. Если приборов несколько, то поликанальной. Обычные жёсткие потоки ремонта вагонов представляют собой мультифазные одноканальные однопредметные системы массового обслуживания. Гибкие же потоки являются мультифазными поликанальными многопредметными системами массового обслуживания.

Можно сказать, что ремонтный модуль (РМ) представляет собой одноканальную систему массового обслуживания (СМО) с неограниченным временем ожидания. Правда, в отличие от обычных «классических» СМО, когда требование может без особых проблем стать в очередь на обслуживание или легко покинуть систему после обслуживания, данная СМО имеет ряд специфических особенностей. Например, учитывая большие габариты требований (ремонтируемые вагоны), не всегда может быть в наличии необходимое количество мест для ожидания или, например, не всегда может быть готовым транспортное средство, предназначенное для перемещения требований. Требование будет находиться в очереди до тех пор, пока не попадёт на обслуживание. Покидать систему без обслуживания требование не имеет права. Продолжительность обслуживания требования является случайной величиной τ с заданной плотностью распределения $f(\tau)$. Это всё накладывает дополнительные условия на её функционирование. Есть и другие особенности.

В дальнейшем, наравне с уже приведенной терминологией, будем также пользоваться известной терминологией теории массового обслуживания [72].

4.3.2 Аналитическое описание систем массового обслуживания

В настоящее время разработаны аналитические методы решения задач массового обслуживания только для наиболее простых случаев, когда поток требований является простейшим и время обслуживания подчиняется показательному закону распределения.

Процесс поступления в систему требований для обслуживания носит вероятностный характер и представляет собой поток однородных или неоднородных событий, которые происходят через случайные интервалы

времени. Если бы моменты времени поступления требований в систему были бы детерминированы, то такие системы в теории массового обслуживания просто не рассматриваются. Что касается случайных промежутков времени, то в реальных системах они могут подчиняться различным законам распределения. Вместе с тем, в подавляющем большинстве работ по теории массового обслуживания рассмотрение ограничивается пуассоновским потоком. Вероятность того, что в течение интервала времени t в систему поступит k требований, задаётся формулой Пуассона, которая имеет следующий вид

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

где λ – плотность потока требований (параметр потока), $\lambda > 0$.

Это объясняется целым рядом причин. Во-первых, для других видов потоков пока не найдены простые формульные зависимости количественной оценки качества функционирования систем; во-вторых, к простейшему потоку системам массового обслуживания трудно приспособиться; если систему сразу сориентировать на трудный случай, то в других случаях (более лёгких) обслуживание будет надёжнее; в-третьих, простейший поток играет в теории массового обслуживания такую же роль, как нормальный закон в теории вероятностей. При композиции нескольких случайных потоков образуется результирующий поток, приближающийся по своим характеристикам к простейшему.

Чтобы поток можно было отнести к простейшему, он должен обладать тремя свойствами: стационарностью, ординарностью и отсутствием последействия. Стационарным называется такой случайный поток, когда вероятность поступления некоторого количества требований в течение определённого интервала времени зависит только от его величины и не зависит от его расположения на оси времени. Ординарность потока говорит о том, что в один и тот же момент в систему может поступить только одно требование. Отсутствие последействия заключается в том, что вероятность поступления в течение

интервала времени определённого числа требований в систему не зависит от того, сколько их уже поступило ранее.

Важнейшей характеристикой каждого прибора является время обслуживания. Как правило, оно носит случайный характер и подчиняется какому-нибудь закону распределения. Законы распределения могут быть самые разные. Однако в теории массового обслуживания распространение получил только показательный закон. При этом законе распределения значительно упрощаются результаты, тогда как разработка методов решения задач с иными законами распределения встречает большие сложности.

Функция распределения показательного закона имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t},$$

где $\mu = \frac{1}{t_{\text{обсл}}}$ – параметр обслуживания.

Показательный закон распределения времени обслуживания предполагает, что основное количество требований будет обслуживаться быстро, что на практике не совсем соответствует действительности.

Аналитическое описание систем массового обслуживания давно известно, и к нему уже обращались многие авторы [70, 71, 303, 306].

Имеются конкретные работы и по моделированию многостадийных вагоноремонтных потоков. Так, например, в работах [57, 58] показаны методы оптимизации управления потоками заявок на ремонт при многостадийном вагоноремонтном производстве. Каждый цех представлен в виде многоканальной СМО с неограниченным количеством требований в очереди. Математическая модель разработана в аналитическом виде. В работе показано, что равенство вероятностей полной загрузки отдельных цехов является необходимым и достаточным условием равномерной загрузки всей производственной системы. Судя по изобилию сложных математических формул, можно сделать вывод, что к работе приложили руку математики. К недостаткам следует отнести то, что в

модели учтены далеко не все факторы, оказывающие непосредственное влияние на ход функционирования многостадийного вагоноремонтного потока.

Поток представляет собой многофазную систему массового обслуживания. В настоящее время имеются аналитические решения таких систем только для самых простых случаев [231]. Рассмотрим случай, когда число фаз равно двум и число обслуживающих приборов в каждой фазе равно единице. Каждый прибор имеет разную производительность. Поступившее в систему требование сперва обслуживается первым прибором, а затем – вторым. Если прибор занят, то требование становится в очередь. Будем считать, что время обслуживания приборами требований подчинено показательному закону распределения с параметрами μ_1 и μ_2 соответственно. Входящий поток требований является пуассоновским с параметром λ .

Для неограниченного входящего пуассоновского потока с плотностью λ можно составить уравнение состояний системы

$$P_{00}(t) = -\lambda P_{00}(t) + \mu_2 P_{01}(t),$$

.....

$$P_{0,n_2}(t) = -(\lambda + \mu_2) P_{0,n_2}(t) + \mu_1 P_{1,n_2-1}(t) + \mu_2 P_{0,n_2+1}(t),$$

.....

$$P_{n_1,0}(t) = -(\lambda + \mu_1) P_{n_1,0}(t) + \mu_2 P_{n_1,1}(t) + \lambda P_{n_1,-1}(t),$$

.....

$$P_{n_1,n_2}(t) = -(\lambda + \mu_1 + \mu_2) P_{n_1,n_2}(t) + \mu_1 P_{n_1+1,n_2-1}(t) + \\ + \mu_2 P_{n_1,n_2-1}(t) + \lambda P_{n_1-1,n_2}(t),$$

где $P_{00}(t)$ – вероятность того, что в момент времени t оба прибора свободны;

P_{n_1}, P_{n_2} – вероятность состояния системы, при котором в момент времени t в первой фазе находится n_1 требований (включая и те, которые уже обслуживаются), а во второй фазе – n_2 требований.

Решив систему уравнений можно получить характеристики, описывающие состояние системы.

Вероятность того, обе фазы свободны от обслуживания требований

$$P_{00} = (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2),$$

где $\alpha_1 = \frac{\lambda}{\mu_1}; \alpha_2 = \frac{\lambda}{\mu_2}$.

Вероятность того, что в первой фазе находится n_1 требований, а во второй нет ни одного

$$P_{n,0} = \alpha_1^{n_1} (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)$$

Вероятность того, что во второй фазе имеется n_2 требований, а в первой фазе требования отсутствуют

$$P_{0,n_2} = \alpha_2^{n_2} (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2),$$

Вероятность того, что в первой фазе находится n_1 требований, а во второй фазе – n_2 требований

$$P_{n_1,n_2} = \alpha_1^{n_1} \alpha_2^{n_2} (1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2),$$

Математическое ожидание числа требований, находящихся в системе

$$M = \sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_2=0}^{\infty} P_{n_1,n_2} (n_1 + n_2) = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1} + \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2},$$

При этом в первой фазе находится число требований равное

$$M_1 = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_1},$$

А во второй фазе находится число требований равное

$$M_2 = \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_2},$$

где $\alpha_1 < 1, \alpha_2 < 1$.

В реальных системах количество требований обычно ограничено вместимостью системы. Предположим, что общее количество требований в системе не может быть больше N . Тогда для предыдущего примера систему уравнений можно записать в следующем виде

$$\begin{aligned}
 & P_{00}(t) = -\lambda P_{00}(t) + \mu_2 P_{01}(t), \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{0,n_2}(t) = -(\lambda + \mu_2)P_{0,n_2}(t) + \mu_1 P_{1,n_2-1}(t) + \mu_2 P_{0,n_2+1} \\
 & \quad \text{при } n_1 = 0, n_2 = 1, 2, \dots, N-1, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{0,N}(t) = -\mu_2 P_{0,N}(t) + \mu_1 P_{1,N-1}(t) \text{ при } n_1 = 0, n_2 = N, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{n_1,0}(t) = -(\lambda + \mu_1)P_{n_1,0}(t) + \mu_2 P_{n_2,1}(t) + \lambda P_{n_1-1,0} \\
 & \quad \text{при } n_1 = 1, 2, \dots, N-1, n_2 = 0, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{N,0}(t) = -\mu_1 P_{N,0}(t) + P_{N-1,0}(t)\lambda, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{n_1,n_2}(t) = -(\lambda + \mu_1 + \mu_2)P_{n_1,n_2}(t) + \mu_1 P_{n_1+1,n_2}(t) + \\
 & + \mu_2 P_{n_1,n_2+1}(t) + \lambda P_{n_1-1,n_2}(t) \text{ при } n_1 > 0, n_2 > 0, n_1 + n_2 < N. \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{n_1,n_2}(t) = -(\mu_1 + \mu_2)P_{n_1,n_2}(t) + \mu_2 P_{n_1+1,n_2-1}(t) + \\
 & + \lambda P_{n_1-1,n_2}(t) \text{ при } n_1 > 0, n_1 + n_2 = N, n_2 > 0.
 \end{aligned}$$

В результате решения системы уравнений получим характеристики, описывающие состояние системы.

Так, вероятность того, что обе фазы свободны от обслуживания требований может быть определена следующим образом

$$P_{00} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)(1 - \alpha_1)(1 - \alpha_2)}{(\alpha_1 - \alpha_2) - (\alpha_1^{N+2} - \alpha_2^{N+2}) + \alpha_1 \alpha_2 (\alpha_1^{N+1} - \alpha_2^{N+1})}.$$

Среднее количество требований пребывающих в системе, если $n_1 + n_2 \leq N$

$$M = \sum_{n_1=0}^N \sum_{n_2=0}^N (n_1 + n_2) P_{n_1, n_2} = \frac{1}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot \left(\frac{\alpha_1^2 (1 - (N+1)\alpha_1^N + N\alpha_1^{N+1})}{(1 - \alpha_1)^2} - \frac{\alpha_2^2 (1 - (N+1)\alpha_2^N + N\alpha_2^{N+1})}{(1 - \alpha_2)^2} \right) P_{00}.$$

Среднее количество ожидающих требований в системе равно

$$M = \sum_{n_1=2}^N (n_1 - 1) P_{n_1, 0} + \sum_{n_2=2}^N (n_2 - 1) P_{0, n_2} + \\ + \sum_{n_1=2}^N (n_1 - 1) P_{n_1, 1} + \sum_{n_2=2}^N (n_2 - 1) P_{1, n_2} + \sum_{n_1=2}^{N-2} \sum_{n_2=2}^{N-2} (n_1 + n_2 - 2) P_{n_1, n_2} = \\ = \left(\frac{\alpha_2^2 (1 - \alpha_1) (1 - N\alpha_1^{N-1} + (N-1)\alpha_1^N)}{(1 - \alpha_1)^2} + \frac{\alpha_1^2 (1 - \alpha_2) (1 - N\alpha_2^{N-1} + (N-1)\alpha_2^N)}{(1 - \alpha_2)^2} + \right. \\ \left. + \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \left(\frac{1 - (N-1)\alpha_1^{N-2} + (N-2)\alpha_1^{N-1}}{(1 - \alpha_1)^2} - \frac{1 - (N-1)\alpha_2^{N-2} - (N-2)\alpha_2^{N-1}}{(1 - \alpha_2)^2} \right) \right) P_{00}.$$

Ещё в качестве одного примера приведём аналитический расчёт многостадийного вагоноремонтного производства с несколькими цехами представленного в виде СМО из работ [57, 58]. В этих работах рассмотрено многостадийное вагоноремонтное производство с несколькими цехами (центрами обработки), на вход которого поступает детерминированный или случайный поток заданий (вагонов для последующего ремонта) с жёстким маршрутом решения. Целью исследования являлось построение математической модели многостадийного производства с несколькими цехами и последующая оптимизация. В качестве критерия оптимизации было принято достижение равномерной загрузки системы. Такой выбор был обусловлен тем, что заранее неизвестно, вагоны с ремонтом какого типа поступят на обслуживание в

каждый конкретный момент времени. Поэтому чем более равномерной будет загрузка производства, тем больше резерв её производительности в целом. Предусмотрено также появление новых типов ремонта. Так как нельзя заранее предсказать, какие ресурсы вагоноремонтного завода для их решения будут использоваться, равномерный резерв производительности по каждому ресурсу представляется рациональным. Всего существует несколько источников неисправных вагонов. Каждый цех состоит из нескольких идентичных по функциям участков и предназначен для осуществления конкретных операций по ремонту. Принято, что для определённости, производственная система состоит из N цехов и J источников заявок. Рассмотрим функционирование такой производственной системы (рис. 4.4).

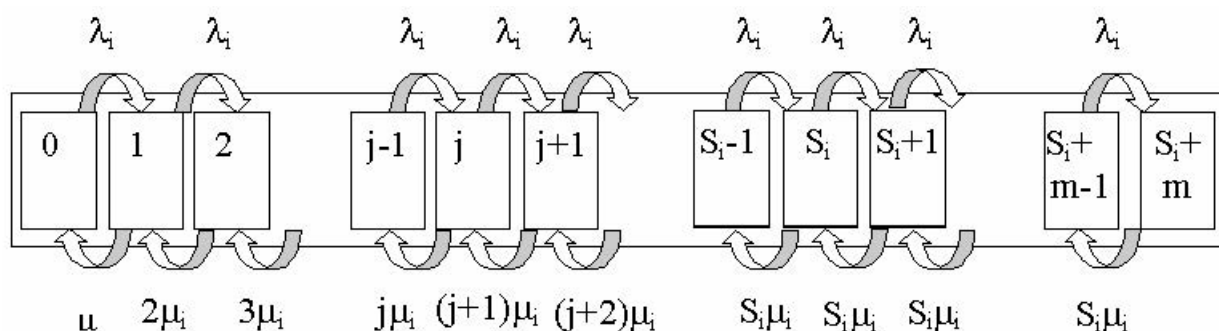


Рисунок 4.4 – Функционирование i -го цеха как СМО

Если рассматривать каждый цех как многоканальную СМО, то ее характеристиками являются:

- Интенсивность входящего потока заявок на ремонт в данный цех $\lambda_i, i=1, 2, \dots, n$.
- Производительность цеха для i -го вида задач $\mu_i, i=1, 2, \dots, n$.
- Количество функционально идентичных участков i -го цеха $S_i, i=1, 2, \dots, n, S_i > 1$.

Таким образом для каждого вида ремонта получено многоканальную СМО, количество мест в очереди которой неограничено. Для данной СМО справедливы следующие формулы вероятности занятости каждого отдельного канала

$$P_{ki} = \frac{P(k, \alpha_i)}{R(S_i, \alpha_i) + P(S_i, \alpha_i) \beta_i \frac{1 - \beta_i^m}{1 - \beta_i}},$$

где P_{ki} – вероятность занятости k -го канала для i -й СМО,

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i},$$

$$\beta_i = \frac{\lambda_i}{S_i \mu_i},$$

$$P(k, \alpha_i) = \frac{\alpha_i^k}{k!},$$

$$R(S_i, \alpha_i) = \sum_{j=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^j}{j!}.$$

m – число мест в очереди. Если число мест в очереди не ограничено, то $\beta_i^m \rightarrow 0$. Тогда для i -го вида ремонта будем иметь следующую вероятность простоя

$$P_{0i} = \frac{1}{\frac{\alpha_i^{S_i+1}}{S_i!(S_i - \alpha_i)} + \sum_{k=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^k}{k!}}$$

а вероятность полной загрузки

$$\begin{aligned} P_i &= 1 - \sum_{k=0}^{S_i-1} P_k = 1 - P_{0i} R(S_i - 1, \alpha_i) = P_{0i} \left(\frac{1}{P_{0i}} - R(S_i - 1, \alpha_i) \right) = \\ &= P_{0i} \left(\sum_{k=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^k}{k!} + \frac{\alpha_i^{S_i+1}}{S_i!(S_i - \alpha_i)} - \sum_{k=0}^{S_i-1} \frac{\alpha_i^k}{k!} \right) = P_{0i} \left(\frac{\alpha_i^{S_i}}{S_i!} + \frac{\alpha_i^{S_i+1}}{S_i!(S_i - \alpha_i)} \right) = \\ &= P_{0i} \frac{\alpha_i^{S_i}}{S_i!(S_i - \alpha_i)} (S_i - \alpha_i + \alpha_i) = P_{0i} \frac{\alpha_i^{S_i}}{(S_i - 1)!(S_i - \alpha_i)} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\frac{\alpha_i^{S_i+1}}{S_i!(S_i - \alpha_i)} + \sum_{k=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^k}{k!}} \cdot \frac{\alpha_i^{S_i}}{(S_i - 1)!(S_i - \alpha_i)} = \\
&= \frac{\alpha_i^{S_i}}{\frac{\alpha_i^{S_i+1}}{S_i} + (S_i - 1)!(S_i - \alpha_i) \sum_{k=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^k}{k!}} = \frac{\alpha_i^{S_i} S_i}{\alpha_i^{S_i+1} + S_i!(S_i - \alpha_i) \sum_{k=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^k}{k!}}.
\end{aligned}$$

Таким образом для P_i -го получается

$$P_i = \frac{S_i}{\alpha_i + \frac{S_i!(S_i - \alpha_i)}{\alpha_i^{S_i}} \sum_{k=0}^{S_i} \frac{\alpha_i^k}{k!}}.$$

Из приведенных примеров можно сделать вывод, что аналитические методы расчётов могут иметь место в случаях анализа самых простых систем массового обслуживания, когда мы имеем дело с простейшим входящим потоком и время обслуживания подчиняется показательному закону распределения. Да и количество обслуживающих фаз и каналов должно быть невелико. В иных случаях приходится иметь дело с очень громоздкими системами уравнений.

Из-за сложности реальных технологических процессов, происходящих при ремонте вагонов на потоке, широкого применения в аналитической форме системы массового обслуживания здесь не получили.

4.3.3 Имитационное моделирование систем массового обслуживания

Указанные выше модели в аналитическом виде хорошо известны и часто использовались при расчёте поточных линий для ремонта подвижного состава [71, 306]. Вместе с тем, они не совсем точно отражают реальные производственные процессы, когда речь идёт о других законах распределения времени обслуживания требований, да и системы имеют более сложную структуру. Наиболее точное отражение реальных процессов может быть получено при имитационном моделировании этих процессов на компьютерах [5, 8, 15, 50, 54, 61].

Ранее автором уже рассматривались некоторые подходы к имитационному моделированию на компьютерах работы поточных вагоноремонтных линий с разными структурами [87–89, 180, 185, 212]. Кроме того, автором впервые в вагоноремонтной практике были разработаны не только модели, но и программы для имитационного моделирования работы поточных линий, а также получены интересные результаты. Надо отметить, что эти модели показали себя с хорошей стороны и позволили в ходе имитационных экспериментов получить массу полезной информации.

В ходе дальнейших более глубоких проработок стали возникать новые структуры гибких потоков. Новые структуры ремонтных потоков потребовали и новых, более совершенных методов расчёта. Произвести правильный выбор основных параметров поточного производства и выполнить точный расчёт основных его показателей можно только при помощи имитационного моделирования работы потока на компьютерах. Впервые вопросы имитационного моделирования поточных линий как многофазных систем массового обслуживания были затронуты в работах [87-89]. В этих работах гибкие потоки рассматривались как однопредметные, т. е. предназначенные для ремонта только одного типа вагонов. В них ставилась задача просто показать преимущество гибких потоков перед «жёсткими» и «полужёсткими» поточными линиями при ремонте одного и того же типа вагонов. На самом же деле потенциальные возможности гибких потоков намного шире.

Возможен вариант, когда модель имитационного моделирования рассматривает поток ремонта вагонов как мультифазную поликанальную многопредметную систему массового обслуживания, т.е. поточную ремонтную сеть (ПРС). Остановимся подробнее на терминологии данного потока.

Термин «**мультифазная**» свидетельствует о том, что система состоит из целого ряда последовательно расположенных позиций (фаз), $j = 1, 2, \dots, m$.

Термин «**поликанальная**» говорит о том, что каждая ремонтная позиция (фаза) может включать в себя определённое количество параллельно

расположенных модулей (каналов), $n = 1, 2, \dots, n_j$. Все модули одной позиции идентичны между собой.

Под термином «**многопредметная**» понимается то, что на одном потоке могут одновременно ремонтироваться вагоны, входящие в группы разных категорий. Каждая такая группа вагонов имеет свои количественные и качественные составляющие. Под количественной составляющей подразумевается программа по ремонту вагонов данной группы. Под качественной – тип вагона и вид ремонта. Поэтому группы вагонов отличаются друг от друга разными признаками (тип вагона, вид ремонта). Таким образом, если, например, в ремонт поступают вагоны одного типа, но на них выполняются два разных вида ремонта, то мы имеем дело с двумя самостоятельными группами вагонов.

Целью данной работы является разработка способов исследования функционирования различных структурных вариантов гибких потоков и определение их оптимальных параметров при помощи имитационного моделирования на компьютерах.

Согласно [140] существует два способа реализации моделирования мультифазных систем: в квазирегулярном и вероятностном исполнении.

Квазирегулярная модель – это такая модель, в которой моделирование каждой фазы осуществляется индивидуально, с расчётом усреднённых показателей, а затем рассчитываются общие показатели всей многофазной системы через показатели отдельных фаз.

Вероятностная модель – это модель, которая позволяет проследить движения каждого отдельного вагона в процессе прохождения его через все фазы системы. Общие показатели всей системы рассчитываются путём усреднения данных, полученных в результате последовательного прохождения каждого вагона через все фазы системы.

Один из возможных вариантов алгоритма моделирования работы поточной линии для ремонта вагонов с гибкими связями между позициями в квазирегулярном исполнении был изложен в работе [211].

Вместе с тем, с целью дальнейшего расширения методов имитационного моделирования потоков ремонта подвижного состава были впервые использованы также и математические модели кусочно-линейных агрегатов. Учитывая, что к настоящему времени широко разработан аналитический аппарат и уже сложилась терминология теории массового обслуживания [6, 72, 124], наравне с терминологией теории агрегатов, будем частично пользоваться и терминами теории массового обслуживания.

4.4 Математическое моделирование функционирования технологического потока ремонта вагонов на базе теории кусочно-линейных агрегатов

4.4.1 Общие положения теории агрегатов

Хотя вагоноремонтный поток представляет собой самую, что ни на есть, систему массового обслуживания, попытаемся рассмотреть его с точки зрения других математических моделей, которые ещё совершенно не были адаптированы и использованы для анализа и моделирования вагоноремонтного производства.

Любые процессы физической природы принято рассматривать в пространстве и во времени. Даже в самом примитивном случае механического движения возникает вопрос о перемещении, которое определяется изменением положения тела в пространстве в течение некоторого интервала времени. Рассматривая эту концепцию в более широком смысле и распространяя её на другие явления, в том числе и производственные, под «положением» будем понимать «состояние»: $z(t)$ – состояние системы в момент времени t , а под «перемещением» – «процесс». «Процесс» представляет собой постоянный «переход» системы из одного состояния в другое.

Таким образом, рассматриваемая нами система – поток ремонта вагонов – носит динамический характер с дискретным вмешательством случая.

Описание многофазной системы в виде единого вероятностного процесса было бы слишком громоздким. Поэтому примем решение, связанное с моделированием каждой отдельной подсистемы и дальнейшей увязкой их между

собой. Анализ такой системы, определение её структуры и основных параметров возможны за счёт использования математических имитационных моделей.

Унифицированная имитационная модель функционирования различных систем может быть представлена в виде стандартной математической схемы агрегата [51, 54]. Такая схема предназначена для изучения сложных структур, состоящих из элементов, представленных динамическими системами в широком понятии: непрерывно-детерминированными, дискретно-детерминированными, дискретно-стохастическими и непрерывно-стохастическими.

4.4.2 Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы

Рассмотрим процесс функционирования АГПРВ вагонов как агрегативную систему [50–54].

Каждый агрегат представляет собой преобразователь информации. Кроме того, он характеризуется следующими множествами: X – входных сигналов; Y – выходных сигналов; T – моментов времени; Z – состояний.

Состояние агрегата в любой момент времени $t \in T$ будем обозначать в виде $z(t) \in Z$, входные сигналы будем обозначать $x(t) \in X$, а выходные сигналы – $y(t) \in Y$.

Агрегат постоянно находится в состоянии некоего процесса. Под процессом будем понимать изменение состояний в физической системе с течением времени.

Будем также считать, что переход агрегата из одного состояния в другое, например, из состояния $z_1(t)$ в состояние $z_2(t)$, осуществляется мгновенно, т.е. происходит скачок. Кроме того, смена состояний агрегата зависит как от внутренних параметров самого агрегата $h(t) \in H$, так и от входных сигналов $x(t) \in X$.

Каждый тип агрегата представляет собой многоканальную систему массового обслуживания (рис. 4.5). Так, например, ремонтная позиция состоит из нескольких идентичных ремонтных каналов (модулей). В транспортной системе

предусмотрено несколько трансбордерных тележек, а в системе для ожидания имеется несколько равнозначных мест для вагонов, ожидающих продолжения выполнения ремонта на следующих ремонтных позициях.

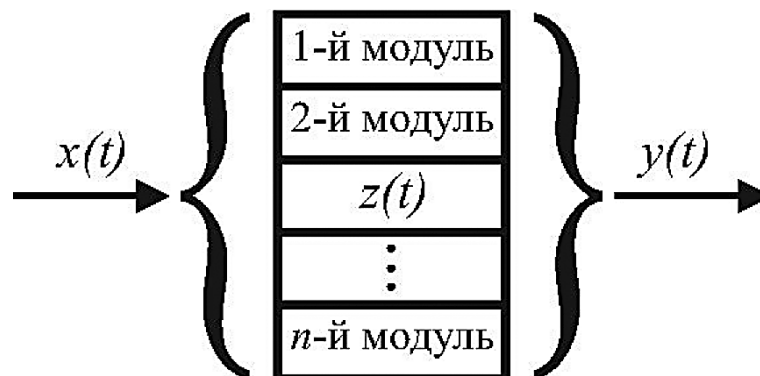


Рисунок 4.5 – Общая схема агрегата

В качестве агрегатов примем все вышеперечисленные элементы: ремонтные позиции, транспортную систему и систему для ожидания (буфер).

С гносеологической точки зрения большое значение может быть отведено промежуточному между системой и элементом понятию подсистемы. Разбивка исследуемой системы на отдельные подсистемы способствует более глубокому изучению её работы и делает более наглядными результаты структурного анализа системы.

Как уже говорилось, поток в общем случае представляет собой целенаправленное перемещение между отдельными элементами системы любого вида ресурса, согласно технологическому процессу. Потoki делятся на непрерывные и дискретные, а также стохастические и детерминированные. Вагоноремонтный поток относится к разряду потоков дискретного и стохастического характера.

Такая структура, как асинхронный гибкий поток ремонта вагонов, ввиду её сложности, не может быть вся формализована в виде математической схемы одиночного агрегата. В связи с этим, такая структура должна быть формализована в виде особой конструкции, состоящей из некоторого множества отдельных агрегатов.

Для возможности исследования и анализа гибкого асинхронного потока представляется целесообразным разбить его на отдельные подсистемы и указать способы взаимодействия между ними. Каждую отдельную подсистему целесообразно представить в виде агрегативного образования. В качестве таких образований могут быть использованы выделенные выше структурные элементы. Таким образом, мы будем иметь дело со следующими типами агрегативных подсистем: агрегативная ремонтная подсистема, агрегативная транспортная подсистема и агрегативная подсистема для ожидания.

Будем рассматривать асинхронный гибкий поток как агрегативную систему, т. е. систему, состоящую из некоторого множества агрегатов.

Таким образом, асинхронный гибкий поток ремонта вагонов может быть представлен в виде определенной конструкции, состоящей из отдельных элементов (подсистем).

Всю эту конструкцию назовём агрегативной системой или S -системой. Для формализации асинхронного гибкого потока как S -системы необходимо составить описание каждого отдельного агрегата A_j и указать связи между ними. Процесс функционирования агрегативной системы связан с постоянной переработкой информации. Информацию, которая появляется в агрегативной системе, можно разделить на внутреннюю и внешнюю.

Все подсистемы асинхронного гибкого потока ремонта вагонов по функциональному назначению могут быть разделены на три группы.

К первой группе относятся ремонтные агрегаты. Количество ремонтных агрегатов соответствует количеству ремонтных позиций. Количество же ремонтных позиций определяется, исходя из технологии ремонта вагонов, применяемого оборудования. Обозначение агрегатов будем осуществлять следующим образом – A_j , $j = 1, 2, \dots, m$, $A_j \in S$. Нумерацию агрегатов будем осуществлять по ходу технологического процесса. Таким образом, первый агрегат будем обозначать как A_1 , второй – как A_2 и т. д., последний ремонтный агрегат обозначим как A_m .

Ко второй группе относится транспортный агрегат. Обозначим его как $A_{(m+1)}$ или как AT . Транспортный агрегат является ядром всей системы.

К третьей группе агрегатов относится агрегат для ожидания. Его будем обозначать как $A_{(m+2)}$ или как A_0 .

К отдельной группе агрегатов отнесём и внешнюю среду. Из внешней среды E поступают новые требования на обслуживание, и в неё же уходят требования после окончания обслуживания. Обозначим внешнюю среду как агрегат A_0 . Агрегативная ремонтная система взаимодействует с внешней средой (рис. 4.6).

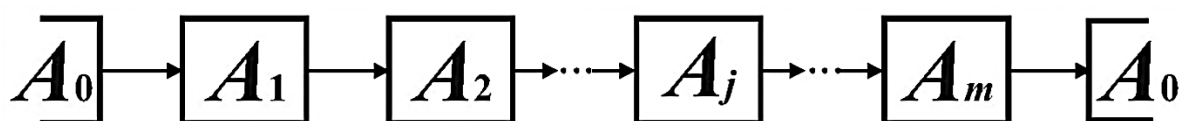


Рисунок 4.6 – Общая схема агрегативной ремонтной подсистемы

Агрегаты по функциональным признакам могут быть объединены в агрегативные подсистемы. В частном случае агрегативная подсистема может состоять и из одного агрегата.

Взаимообмен информацией между S -системой и внешней средой E (агрегат A_0) осуществляется при помощи агрегатов A_1 и A_m , которые являются полюсами системы. Причём агрегат A_1 является входным полюсом, а агрегат A_m – выходным. Все остальные агрегаты являются внутренними агрегатами.

Будем считать, что во внешней среде E (агрегат A_0) всегда имеются требования, нуждающиеся в обслуживании. Поэтому, в случае освобождения любого канала агрегата A_1 , в него из внешней среды E сразу же поступит новое требование на обслуживание. Кроме того, внешняя среда E всегда имеет возможность принять уже обслуженное требование. Поэтому, в случае окончания обслуживания требования агрегатом A_m , оно всегда имеет возможность сразу же покинуть систему.

В начальный момент времени, когда на вход поступает первое требование и система только начинает работать, происходит «разворачивание» потока. Если по каким-то причинам из внешней среды перестанут поступать требования, то

начнётся «сворачивание» потока. Общее количество условных модулей (каналов) в агрегате A_0 будет определяться суммированием числа железнодорожных путей, входящих в здание, и числа путей, выходящих из здания.

Более сложно обстоят дела с переходом требований между агрегатами внутри самой системы A_1, A_2, \dots, A_m . Чтобы обслуженное требование могло сразу же переместиться из агрегата A_j в агрегат $A_{(j+1)}$, для этого должны быть соответствующие условия: во-первых, агрегат $A_{(j+1)}$ должен иметь возможность принять новое требование, а для этого должен быть свободен один из его каналов (модулей) и, во-вторых, в этот момент должна быть техническая возможность, т. е. необходимо, чтобы один из модулей агрегата транспортного $A_{(m+1)}$ был свободен.

В отличие от телефонии, где требования очень легко могут переходить от одной обслуживающей системы к другой, и даже приборостроения, где имеют дело с небольшими изделиями, при ремонте вагонов появляется дополнительная задача, связанная с организацией перехода требований между обслуживающими системами.

Ремонтируемые вагоны представляют собой крупногабаритные изделия, имеющие соответствующую массу. Поэтому их перемещение между позициями является довольно непростой задачей. В связи с этим возникает необходимость в специальной транспортной подсистеме. Более подробно система перемещения вагонов описана в главе 3 настоящей работы.

Особенность взаимодействия между ремонтными агрегатами состоит в том, что каждое требование (вагон) в гибкой системе может из одного агрегата ремонтного A_j поступить в следующий агрегат ремонтный $A_{(j+1)}$ только при помощи агрегата транспортного (трансбордерной тележки).

Исходя из условия размещения ремонтных позиций, транспортная подсистема приступает к обслуживанию требования (его перемещению) каждый раз после обслуживания его в соответствующей фазе (ремонтной позиции).

Пропускная способность всего потока определяется пропускной способностью самого «узкого места». В идеальном случае пропускные

способности всех ремонтных позиций должны быть одинаковыми. Только тогда оборудование, рабочие и ремонтируемые вагоны не будут простаивать по причине неравномерной загрузки позиций. Для вагоноремонтного производства такой возможности нет.

При использовании потока весь технологический процесс разбивается на отдельные комплексы технологических операций, которые выполняются на специализированных ремонтных позициях. Общий ремонтный поток состоит из последовательно соединённых ремонтных позиций.

Таким образом, гибкий асинхронный поток ремонта вагонов представляет собой мультифазную поликанальную систему массового обслуживания.

На рис. 4.7 представлена общая схема асинхронного гибкого потока, формализованного в виде агрегативной системы. Чтобы не загромождать рисунок излишними условными обозначениями входных-выходных сигналов, направление каждого сигнала показано стрелочкой.

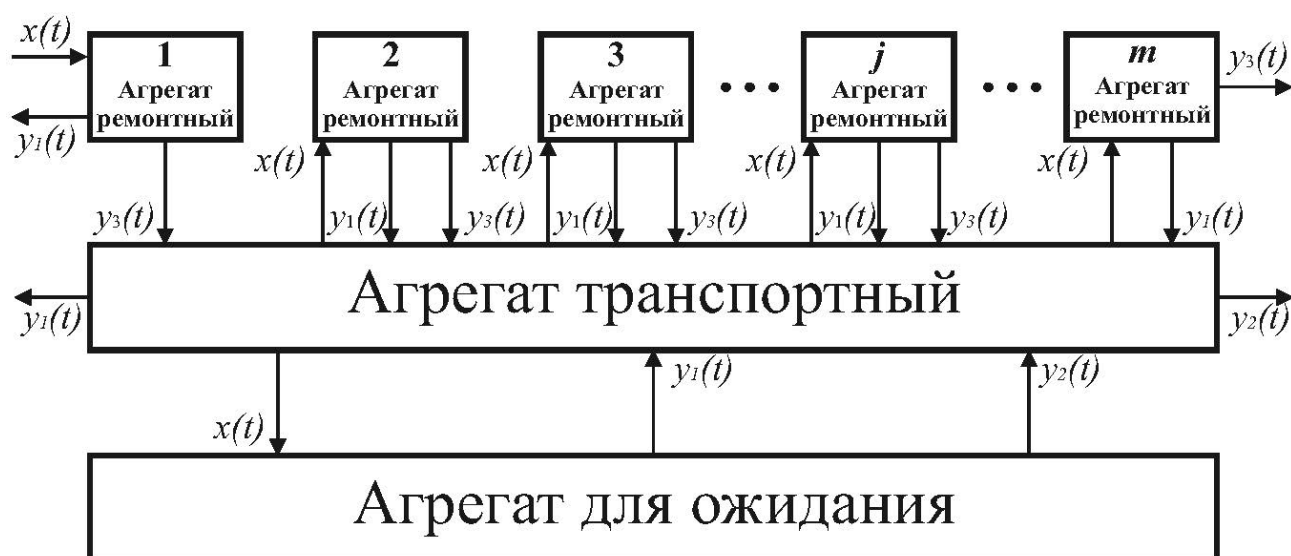


Рисунок 4.7 – Общая схема асинхронного гибкого потока, формализованного в виде агрегативной системы

К основным сигналам, подаваемым агрегатами, относятся: $x(t)$ – входной сигнал о том, что требование поступило на обслуживание; $y_1(t)$ – выходной сигнал

о том, что обслуживание требования уже окончено; $y_2(t)$ – выходной сигнал о том, что требование покинуло агрегат.

Как уже отмечалось, каждый ремонтный агрегат включает в себя несколько модулей (каналов). В произвольный момент времени любой модуль может находиться в одном из трёх возможных состояний: модуль свободен (требования в модуле нет), модуль занят (осуществляется обслуживание требования), модуль используется (обслуживание требования окончено, но оно ещё не освободило модуль).

Выходной сигнал одного агрегата является входным сигналом другого агрегата.

Агрегат транспортный является основной подсистемой, отвечающей за нормальное функционирование («движение») всего потока. В его функции входит не только перемещение требований между остальными агрегатами, но и определение порядка и очерёдности перемещения требований.

На вход агрегата транспортного поступают входные сигналы от всех агрегатов ремонтных. Он принимает все сигналы, обрабатывает их и принимает решение относительно требования, которое должно быть перемещено в первую очередь.

Если какое-то уже обслуженное требование создаёт «пробку» в работе потока, то оно изымается из ремонтной подсистемы и поступает в систему для ожидания. Как только появляется возможность, требование при помощи транспортной подсистемы снова будет «встроено» в ремонтный поток, т. е. перемещено в ремонтную подсистему на соответствующую позицию.

Таким образом, агрегативная система, состоящая из отдельных агрегативных подсистем, адекватно отражает суть процессов, происходящих при функционировании асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, и может быть положена в основу как математическая модель при его проектировании и исследовании с помощью имитационного моделирования на компьютерах.

4.4.3 Формализация процесса функционирования вагоноремонтного потока с гибкой транспортной системой при помощи кусочно-линейных агрегатов

Наиболее интересный подход к формальному описанию функционирования различных реальных систем описан в работах [51, 54]. В них предлагается использовать кусочно-линейные агрегаты для описания стохастических динамических систем с дискретным вмешательством случая. В форме кусочно-линейных агрегатов может быть формализован целый ряд реальных процессов. Беря за основу этот подход и видоизменив его с учётом специфики ремонтного производства, можно описать и процесс функционирования асинхронного гибкого потока ремонта вагонов.

В качестве математического описания модулей для ремонта вагонов воспользуемся моделью кусочно-линейного агрегата (КЛА), который представляет собой частный случай динамической стохастической системы с дискретным казуальным вмешательством [50, 51, 54].

КЛА принадлежит к категории объектов, которые можно представлять в виде преобразователя информации (рис. 4.8). Он функционирует во времени $t \in T$, может получать входные сигналы x со значениями из некоторого множества X , посылать выходные сигналы y со значениями из некоторого множества Y и находиться в определённые моменты времени в некотором состоянии z из некоторого множества Z .

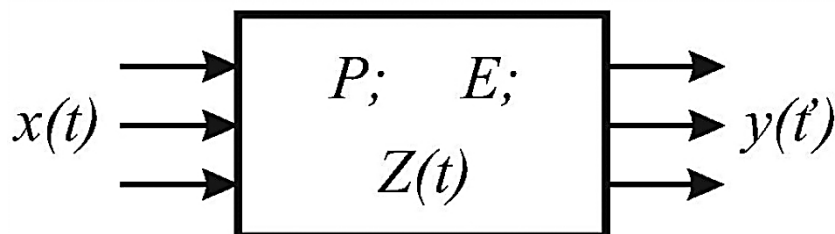


Рисунок 4.8 – Общий вид кусочно-линейного агрегата

Динамике КЛА присущ «событийный» характер. Все события будем делить на две группы: внутренние и внешние. Внутренние события состоят в достижении

траекториями КЛА некоторого подмножества состояний $z^* \in Z$, внешние – в получении входного сигнала.

Как уже было отмечено ранее, КЛА имеет вход и выход. На вход КЛА в дискретные моменты времени t_i поступают сигналы. Будем считать, что длительность сигнала очень незначительная, практически мгновенная. В качестве поступающих сигналов может быть информация о том, что перед обслуживающим каналом появилось требование (ремонтируемый вагон), которое нуждается в обслуживании или, например, что требование уже поступило в обслуживающий канал, и он может приступить к обслуживанию.

На выход КЛА поступают выходные сигналы. Выходной сигнал $y(t')$ принадлежит множеству Y , $y(t') \in Y$. В качестве выходного сигнала может быть, например, информация о том, что канал закончил обслуживание требования или, например, требование покинуло канал (РМ свободен). В нашем случае требование не всегда сразу же покидает канал после обслуживания – должны быть свободными либо один из следующих агрегатов, либо место в очереди к следующим агрегатам.

КЛА в промежутке между дискретными значениями времени поступления сигналов может находиться в одном из возможных состояний:

1. Агрегат находится в стадии ожидания поступления требования (вагона);
2. Агрегат находится в стадии обслуживания требования;
3. Агрегат уже обслужил требование и находится в стадии ожидания, когда оно покинет агрегат;
4. Требование находится в агрегате, но агрегат его не обслуживает по причине отказа (поломки);
5. Агрегат находится в стадии ремонта, требование в агрегате отсутствует.

Представим ремонтный модуль в виде кусочно-линейного агрегата. КЛА функционирует следующим образом. В случайные моменты времени t_i перед КЛА появляются требования на обслуживание. Каждое требование характеризуется параметром a . Если агрегат свободен, то требование начинает обслуживаться. Если агрегат занят, то требование становится в очередь. В общем случае, когда

имеется несколько агрегатов, расположенных параллельно, то требование ожидает, какой из данных агрегатов освободится раньше.

Состояние КЛА в момент времени $t \in T$ будем обозначать вектором $z(t) \in Z$, где Z – множество состояний КЛА. Переход КЛА из состояния $z_1(t)$ в состояние $z_2(t)$ и так далее происходит за очень непродолжительный момент времени, практически равный нулю, т. е. скачкообразно. Момент скачка определяется входными сигналами $x(t) \in X$ и внутренними параметрами самого КЛА, $g(t) \in G$.

Будем считать, что в начальный момент времени $t_n \in T$ система пребывает в начальном состоянии $z_n \in Z$, где z_n – точка, находящаяся внутри замкнутого n -мерного евклидова пространства Z . Проследим за изменением состояния системы от действия внутренних причин. Под действием этих причин система может переходить из состояния z_n в другие состояния $z_t \in Z$, совершая движения $z(t)$, где $t > t_n$. Точка z_t будет перемещаться в пространстве до тех пор, пока не выйдет на границу области Z . Момент времени выхода на границу обозначим через t^* .

Для всех t совокупность (t, z_t) таких, что $t_n \leq t \leq t^*$, а $z_t = z(t)$ представляет собой фрагмент движения на отрезке (t_n, t^*) . Этот фрагмент движения назовём перемещением точки z_t внутри пространства Z . Для задания этого перемещения следует указать соотношения, которые определяют z_t для $t \in (t_n, t^*)$ по заданным значениям t_n и z_n .

Для определения момента t^* и самого состояния системы в этот момент $z(t^*)$, следует решить совместно уравнение движения точки и уравнения, которые описывают границу пространства состояний Z .

Моменты времени получения входных или выдачи выходных сигналов назовём «контрольными» моментами времени t^* . А состояния КЛА в контрольные моменты времени – «критическими» состояниями $z(t^*)$. После «критического» состояния КЛА скачком может перейти в новое состояние.

В основу формализации общей схемы процесса функционирования системы положим следующие принципы: 1) Система функционирует во времени, и в каждый момент времени может находиться в одном из возможных состояний;

2) На вход системы поступают сигналы; 3) Система может подавать выходные сигналы; 4) Состояние системы в некоторый момент времени определяется предыдущим состоянием системы, а также входными сигналами, которые поступили в данный момент времени и ранее; выходной сигнал в некоторый момент времени определяется состояниями системы и входными сигналами, относящимися к настоящему и предыдущим состояниям. Попытаемся дать формальную интерпретацию каждому принципу.

КЛА в дискретные моменты времени $t_{\text{вых}}^*$ подаёт выходные сигналы y . Выходной сигнал y принадлежит множеству Y , $y \in Y$ и определяется по состоянию агрегата $z(t)$ при помощи оператора выхода E .

Кроме состояния $z(t)$, будем также рассматривать и состояние $z(t+0)$. Условимся, что для всякого $(t_1 > t)$ момент $(t+0)$ находится в полуинтервале $(t, t_1]$. Для любого момента времени t состояние агрегата $z(t)$ может быть получено по предыдущим состояниям с помощью случайного оператора перехода P .

В начальный момент времени t_H система находится в состоянии z_H . Будем считать, что процесс функционирования агрегата в момент поступления входного сигнала x описывается подоператором перехода P_1 . Поэтому в момент прихода в агрегат $t_{\text{вх}}^* \in T$ входного сигнала x , состояние системы можно определить следующим образом: $z(t_{\text{вх}}^*+0) = P_1[t_{\text{вх}}^*, z(t_{\text{вх}}^*), x]$.

Если интервал времени $(t_{\text{вх}1}^*, t_{\text{вх}2}^*)$ не содержит моментов поступления входных сигналов, то для $t \in (t_{\text{вх}1}^*, t_{\text{вх}2}^*)$ состояние КЛА определяет оператор P_2 , $z(t) = P_2[t, t_{\text{вх}}^*, z(t_{\text{вх}}^*+0)]$.

Оба подоператора P_1 и P_2 рассматриваются как совокупный оператор перехода КЛА в новое состояние.

Рассмотрим работу оператора выхода E . Представим его в виде двух подоператоров E_1 и E_2 . Оператор E_1 определяет моменты выдачи выходных сигналов, а оператор E_2 определяет их содержание.

Момент подачи выходного сигнала определяется следующим порядком. Пусть задано подмножество состояний агрегата Z_y , при достижении которых он должен посылать выходной сигнал. Подоператор представляет

характеристическую функцию Z_y : если $z(t) \in Z_y$, то $E_1=1$, а если $z(t) \notin Z_y$, то $E_1=0$. Поэтому математическая модель формирования выходного сигнала будет иметь вид $y(t')=E_1[t_{\text{вых}}^*, z(t_{\text{вых}}^*), Z_y] E_2[t_{\text{вых}}^*, z(t_{\text{вых}}^*)]$.

Учитывая всё вышеизложенное, под кусочно-линейным агрегатом (КЛА) будем иметь в виду некий объект, представляемый совокупностью множеств T, X, Y, Z, Z_y, G и случайными операторами P и E .

Состояние КЛА $z(t)$ будем условно представлять точкой в многомерном пространстве. Изменение хотя бы одной координаты мгновенно изменяет положение точки и таким образом изменяет состояние всей системы.

При описании ремонтных модулей потока в виде кусочно-линейных агрегатов будем считать, что основное состояние соответствует количеству требований (вагонов), находящихся в системе. А вектор дополнительных координат содержит информацию, которая необходима для вычисления дальнейшего протекания процесса $z(t)$.

Возьмём в качестве состояния КЛА пару v, z_v , т. е. $z=(v, z_v)$. Параметр v назовём дискретной составляющей состояния, или основным состоянием, а z_v – вектором вспомогательных координат. Дискретная составляющая v показывает общее количество требований (вагонов), находящихся в системе (на обслуживании и в ожидании обслуживания), $v = (0, 1, 2, \dots, k)$. Максимальная величина этого параметра в общем случае определяется количеством обслуживающих каналов n на позиции и вместимостью зоны ожидания перед позицией l ; $k = (n + l)$. Параметр v может изменяться с единичной скоростью в сторону уменьшения или увеличения. Вектор z_v может иметь следующие координаты: $z_v=(\xi, \zeta)$, где $\xi=(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ и $\zeta=(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_l)$, а также:

ξ_1 – время, оставшееся до окончания обслуживания требования первым каналом;

ξ_2 – время, оставшееся до окончания обслуживания требования вторым каналом;

ξ_n – время, оставшееся до окончания обслуживания требования n -каналом;

ζ_1 – время, оставшееся до начала обслуживания первого требования в очереди;

ζ_2 – время, оставшееся до начала обслуживания второго требования в очереди;

ζ_l – время, оставшееся до начала обслуживания l -го требования в очереди;

В момент времени, когда ξ_k станет равным нулю ($k = 1, 2, \dots, n$), т.е. обслуживание требования k -м каналом окончено, происходит изменение состояния системы (скачок). В этот момент дискретный параметр уменьшается на единицу $\nu' = \nu - 1$ (обслуженное требование покидает систему). КЛА посылает выходной сигнал о том, что обслуживающий канал свободен. Аналогично, когда ζ_1 станет равным нулю (первое требование из очереди начало обслуживаться), также происходит изменение состояния системы (скачок).

Таким образом, математическая схема кусочно-линейного агрегата может быть положена в основу при разработке имитационных моделей работы гибких потоков для ремонта вагонов.

Схема функционирования РМ как КЛА представлена на рис. 4.9.



Рисунок 4.9 – Схема функционирования РМ как кусочно-линейного агрегата

Перед каждым РМ j -й фазы имеется очередь, состоящая из требований, нуждающихся в обслуживании. Специфика данного подхода состоит в том, что не сами требования посылают сигналы, а их посылают соответствующие технологические модули, в которых находятся требования, уже прошедшие обслуживание в предыдущей $(j-1)$ -й фазе. Кроме того, как будет показано в дальнейшем, сигналы от всех требований воспринимают только ТМ, а затем сами они посылают сигналы, которые уже непосредственно воспринимают РМ и ОМ.

Когда РМ освобождается от требования, он подаёт выходной сигнал $y_1(t)$, свидетельствующий о том, что он готов принять к обслуживанию новое требование.

Входящий сигнал $x(t)$ поступает в КЛА в момент прибытия очередного требования на обслуживание. В этот же момент КЛА посылает выходной сигнал $y_2(t)$, свидетельствующий о том, что РМ занят. Продолжительность обслуживания требования $\tau_{\text{обсл}}$ является случайной величиной с заданным законом распределения $f(\tau)$. В формуле состояния КЛА она представляет дополнительную координату z_ν – время, оставшееся до окончания обслуживания. В тот момент, когда требование будет обслужено, КЛА подаёт выходной сигнал $y_3(t)$, оповещающий о том, что требование уже обслужено (но канал ещё занят). В этот момент дискретный параметр ν не изменяется, так как требование ещё не покинуло систему. Только после того, как требование покинет агрегат, дискретный параметр уменьшится на единицу $\nu = \nu - 1$.

Схема функционирования ОМ отличается от РМ практически только тем, что он не подаёт сигналы $y_3(t)$ и $\tau_{\text{обсл}} = 0$.

Схема функционирования ОМ как КЛА представлена на рис. 4.10.



Рисунок 4.10 – Схема функционирования ОМ как кусочно-линейного агрегата

В ОМ требование поступает в том случае, если РМ j -й фазы закончил обслуживание требования, в очереди к нему уже стоит новое требование, а никакой РМ следующей $(j+1)$ -й фазы ещё не освободился. Поэтому из этого РМ j -й фазы обслуженное требование поступает в ОМ для кратковременного ожидания, пока не освободится один из РМ $(j+1)$ -й фазы, а на освободившееся место поступает требование, прошедшее обслуживание в РМ $(j-1)$ -й фазы.

Каждый ОМ может поочередно принимать для «обслуживания» требования, находящиеся в любой стадии технологического процесса. Поступление требований в ОМ является вынужденным, а не обязательным условием.

Состояние ОМ определяется параметром ν , который принимает два значения: $\nu=1$, когда в ОМ находится требование, и $\nu=0$, когда требования в нём нет (модуль свободен). ОМ воспринимает входные сигналы и посылает выходные сигналы. Входной сигнал он получает в момент поступления в него требования. В этот же момент он посылает выходной сигнал о том, что он занят. Можно считать, что продолжительность пребывания требования в ОМ является случайной величиной $\tau_{ож}$, зависящей от внешних причин. Требование будет находиться в ОМ до тех пор, пока не освободится необходимый РМ.

Обратим внимание на то, что ни РМ, ни ОМ сами не определяют, какое из требований будет поступать к ним на обслуживание. Эту функцию целиком выполняют ТМ на основе поступающих к ним сигналов от РМ и ОМ. В случае, когда сигнал одного модуля совпадает в технологическом аспекте с сигналом другого модуля, то ТМ принимает требование на обслуживание. Обслуживание состоит в перемещении требования либо из РМ в РМ, либо из РМ в ОМ, либо из ОМ в РМ. Одним словом, ТМ, формализованный в виде КЛА, должен из всего множества, поступающих на его вход сигналов, отыскать некую пару сигналов от модулей, также представленных в виде КЛА, между которыми выполнялось бы определённое условие.

В первую очередь ТМ должен реагировать на соответствующие сигналы пары $PM_j^+ - PM_{(j+1)}^-$; во вторую – на сигналы пары $OM_j^+ - PM_{(j+1)}^-$; в третью – на сигналы пары $PM_j^+ - OM^-$. Здесь: PM_j^+ – сигнал от ремонтного модуля j -й позиции о том, что он закончил обслуживание требования; $PM_{(j+1)}^-$ – сигнал от ремонтного модуля $(j+1)$ -й позиции о том, что он свободен и готов приступить к обслуживанию нового требования; OM_j^+ – сигнал от модуля для ожидания, в котором находится требование, которое уже было обслужено на j -й позиции;

OM^- – сигнал от модуля для ожидания о том, что он свободен. В общем случае в момент времени, когда требование покидает модуль, сигнал «+» меняется на сигнал «-». Когда требование поступает в модуль, сигнал «-» меняется на сигнал «+».

Схема функционирования ТМ как КЛА представлена на рис. 4.11.



Рисунок 4.11 – Схема функционирования ТМ как кусочно-линейного агрегата

На вход ТМ, представленного в виде КЛА, поступает общий поток сигналов $x(t)$ от других технологических модулей. Среди этого общего потока можно выделить три самостоятельных потока. Так, поток входящих сигналов $x_1(t)$ сообщает о свободных модулях, поток $x_2(t)$ – о занятых модулях и поток $x_3(t)$ – о модулях, окончивших обслуживание требований. На основании этих сигналов ТМ принимает решение, из какого модуля принять требование и на какой модуль его передать. В момент принятия решения КЛА посылает выходной сигнал $y_2(t)$, оповещающий о том, что ТМ занят. Этот сигнал нужен для другого ТМ. Продолжительность обслуживания требования $\tau_{обсл}$ является случайной величиной с заданным законом распределения $f(\tau)$. После того как требование будет обслужено, КЛА посылает выходной сигнал $y_1(t)$, свидетельствующий о том, что он уже свободен. После этого всё повторяется.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что схема кусочно-линейного агрегата адекватно отражает суть процессов, которые могут происходить при функционировании гибкого вагоноремонтного производства, и может быть

положена в основу как математическая модель при его проектировании и исследовании с помощью имитационного моделирования на компьютерах.

4.5 Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов

При решении технических, технологических и организационных задач постоянно возникает необходимость выбора конкретных вариантов из числа возможных. Как правило, выбор осуществляется с учетом технических, организационных и экономических критериев. И, несмотря на многофакторность исследуемых задач, представляется целесообразным свести их решение к решению задачи векторной оптимизации по двум основным показателям. Причем выбор этих основных показателей или параметров может осуществляться методом экспертных оценок. Например, при рассмотрении задач, связанных с совершенствованием технологии ремонта подвижного состава железных дорог, это могут быть такие параметры как время выполнения ремонтной операции и себестоимость ремонтной операции. Ранее различными авторами затрагивался вопрос о решении подобных задач, когда необходимо определить совокупность значений определенной функции, которые бы удовлетворяли особым условиям [40, 41], но эти методы применялись либо к неопределенным функциям [41], либо к параметрам конструкций [369]. Применение методологии, основанной на использовании векторной оптимизации, при обосновании гибкой поточной технологии ремонта вагонов на потоке является актуальной научно-прикладной проблемой для железнодорожного транспорта, особенно в условиях рыночных отношений и ограниченности материальных и финансовых ресурсов. Далее предложено математическое описание алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при обосновании выбранной технологии ремонта вагонов.

Рассматривается задача векторной оптимизации по двум показателям

$$\begin{aligned}
 F_1(\gamma) &= \sum_{\theta \in \gamma} f_1(\theta); \\
 F_2(\gamma) &= \sum_{\theta \in \gamma} f_2(\theta),
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

где $\gamma = [\theta_{1j_1}, \theta_{2j_2}, \dots, \theta_{nj_n}]$, причем каждая компонента селектора принимает дискретные значения из соответствующих множеств

$$\Xi_j = \{\theta_{j1}, \theta_{j2}, \dots, \theta_{jk_j}\}, \quad j = \overline{1, m}.
 \tag{4.2}$$

Обозначим через Γ набор всевозможных селекторов γ . Очевидно, что множество Γ состоит из конечного числа вариантов селекторов γ в числе

$$|\Gamma| = \prod_{j=1}^m k_j
 \tag{4.3}$$

и рассматривается задача векторной оптимизации, символическая запись которой представляет собой [154]

$$\begin{pmatrix} F_1(\gamma) \\ F_2(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min
 \tag{4.4}$$

при условии $\gamma \in \Gamma$.

Инженерно-экономический смысл сформулированной задачи состоит в том, что некоторый технологический процесс ремонта вагонов на потоке разбит на m последовательных позиций (фаз). В каждой фазе имеется набор операций Ξ_j , $j = \overline{1, m}$ в количестве k_j . Каждой операции θ_{ji} сопоставляется два числа $f_1(\theta_{ji})$, $f_2(\theta_{ji})$.

Например, затраты средств и времени на реализацию операции θ_{ji} .

Тогда селектор γ представляет один из возможных вариантов реализации процесса, а желание сделать $F_1(\gamma)$ и $F_2(\gamma)$ как можно меньше в математическом плане приводит к задаче векторной оптимизации (4.4).

Отметим, что решить задачу (4.4) означает найти также множество $\Gamma^* \subseteq \Gamma$, что любое $\gamma \in \Gamma^*$ является эффективным, а любая пара γ_1 и γ_2 из Γ^* между собой несравнимы.

Не ограничивая общности рассмотрения, считаем, что в каждой фазе операции упорядочены таким образом, что имеет место

$$\begin{aligned} f_1(\theta_{j1}) &< f_1(\theta_{j2}) < \dots < f_1(\theta_{jk_j}); \\ f_2(\theta_{j1}) &> f_2(\theta_{j2}) > \dots > f_2(\theta_{jk_j}). \end{aligned} \quad (4.5)$$

Теорема. Для того, чтобы селектор γ был бы эффективным, необходимо и достаточно, чтобы при $\lambda \geq 0$ значение операции в любой фазе выбиралось из следующего условия

$$f_1(\theta_{j_{i_0}}) + \lambda f_2(\theta_{j_{i_0}}) = \min_{1 \leq i \leq k_j} (f_1(\theta_{ji}) + \lambda f_2(\theta_{ji})), \quad j = \overline{1, m} \quad (4.6)$$

Доказательство. В начале рассмотрим необходимость, т.е. считаем, что γ является эффективным селектором, тогда если $\tilde{\gamma}$ вариация селектора γ , то имеет место

$$\begin{aligned} &\left(\begin{array}{l} F_1(\tilde{\gamma}) - F_1(\gamma) > 0 \\ F_2(\tilde{\gamma}) - F_2(\gamma) < 0 \end{array} \right) \\ &\text{или} \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\left(\begin{array}{l} F_1(\tilde{\gamma}) - F_1(\gamma) < 0 \\ F_2(\tilde{\gamma}) - F_2(\gamma) > 0 \end{array} \right)$$

С учетом (4.1) в каждой фазе из соотношения (4.7) при условии, что $\tilde{\gamma}$ отличается от γ операций в j -й фазе получим

$$\left(\begin{array}{l} f_1(\theta_{ji}) - f_1(\theta_{j_{i_0}}) > 0 \\ f_2(\theta_{ji}) - f_2(\theta_{j_{i_0}}) < 0 \end{array} \right) \text{или} \left(\begin{array}{l} f_1(\theta_{ji}) - f_1(\theta_{j_{i_0}}) < 0 \\ f_2(\theta_{ji}) - f_2(\theta_{j_{i_0}}) > 0 \end{array} \right)$$

Независимо от того, какой из этих случаев реализуется, всегда можно указать такое число $\lambda > 0$, что имеет место

$$f_1(\theta_{ji}) - f_1(\theta_{j_0}) \geq -\lambda(f_2(\theta_{ij}) - f_2(\theta_{j_0})) \quad (4.8)$$

или

$$f_1(\theta_{ij}) + \lambda f_2(\theta_{ji}) \geq f_1(\theta_{j_0}) + \lambda f_2(\theta_{j_0}) \quad (4.9)$$

для любого $1 \leq i \leq k_j$, но это и означает, что имеет место (4.6)

Достаточность. Пусть имеет место (4.6), т.е. имеет место (4.9), из которого получаем (4.8), что влечет за собой соотношения (4.7) и, тем самым имеем, что γ - эффективный селектор.

Вывод: 1) Перебирая $0 \leq \lambda$ получаем параметрическое определение эффективных селекторов.

2) При формировании набора операций в любой фазе должны выполняться соотношения (4.5), которые представляют собой несравнимость операций.

Однако, условия (4.5) можно рассматривать как необходимые условия формирования набора операций в той или иной фазе.

Может оказаться, что некоторая операция не участвует в построении эффективных селекторов, для выяснения этой ситуации полезной будет следующая.

Лемма. Пусть имеется последовательность чисел

$$\begin{aligned} a_1 &< a_2 < \dots < a_m \\ b_1 &> b_2 > \dots > b_m \end{aligned} ,$$

на которых определена функция

$$\psi(\lambda) = \min_{1 \leq i \leq m} (a_i + \lambda b_i), \quad \lambda \geq 0.$$

Тогда чтобы в определении этой функции участвовали все a_i и b_i , необходимо и достаточно чтобы

$$\frac{a_{j+1} - a_j}{b_j - b_{j+1}} < \frac{a_{j+2} - a_{j+1}}{b_{j+1} - b_{j+2}}, \quad j = \overline{1, m-2}.$$

Доказательство. Рассмотрим совокупность функций

$$\psi_j(\lambda) = a_j + \lambda b_j, \quad i = \overline{1, m}.$$

Тогда функция $\psi(\lambda)$ является огибающей функций $\psi_j(\lambda)$ (рис. 4.12).

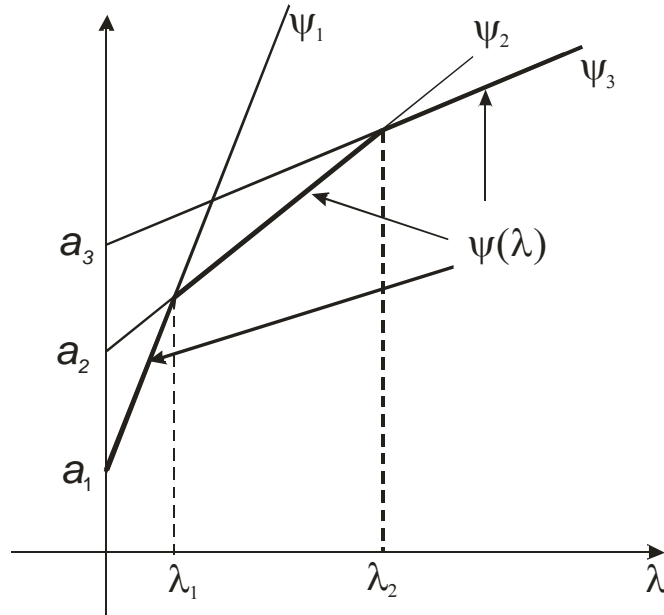


Рисунок 4.12 – $\psi(\lambda)$ для $m = 3$

Как следует из рис. 4.12

$$\lambda_1 = \frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}; \quad \lambda_2 = \frac{a_3 - a_2}{b_2 - b_3}.$$

Очевидно, что условие $\lambda_1 < \lambda_2$ является необходимым и достаточным, чтобы в определении $\psi(\lambda)$ участвовали все три функции.

Если окажется, что $\lambda_2 < \lambda_1$, то приходим к ситуации, представленной на рис. 4.12. Тогда функция ψ_2 в определении $\psi(\lambda)$ при $\lambda \geq 0$ не участвует.

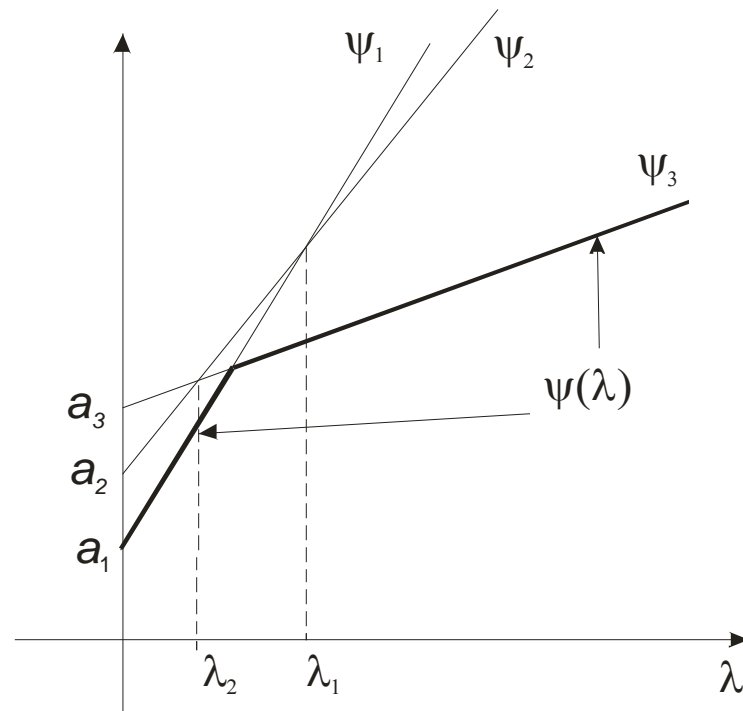


Рисунок 4.13 – $\lambda_2 < \lambda_1$, ψ_2 в определении $\psi(\lambda)$ при $\lambda \geq 0$ не участвует

Таким образом, данная лемма позволяет определить такие a_i и b_i , которые не участвуют в определении функций $\psi(\lambda)$ и они могут быть исключены. Применительно к операциям в некоторой фазе полагая

$$a_j = f_1(\theta_{ji}); \quad b_j = f_2(\theta_{ji}), \quad j = \overline{1, k_j},$$

с помощью данной леммы можем указать номера операций, которые можно исключить из рассмотрения.

Пример. Пусть рассматривается $m = 5$ фаз, затраты средств по каждой возможной операции в каждой фазе представляют собой

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 8 & 10 & 20 & 50 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 9 & 15 & 0 \end{bmatrix},$$

а затраты времени следующие

$$T = \begin{bmatrix} 10 & 6 & 5 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2,5 \\ 1,7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 2,5 & 2,1 & 1,5 & 0 \end{bmatrix}.$$

Итого, в первой фазе $k_1 = 3$ операции, во второй $k_2 = 2$, в третьей $k_3 = 5$, в четвертой $k_4 = 1$ и в пятой $k_5 = 4$ операции. Таким образом всего можно построить $|\Gamma| = 120$ селекторов.

В соответствии с условиями леммы вторая операция в третьей фазе не участвует, так как нарушаются условия леммы.

Отобразив в пространство функционалов множество селекторов Γ по формулам (4.1) получим 120 точек (рис. 4.14), где по горизонтали откладывается суммарное время, а по вертикали соответствующие затраты средств для того или иного селектора $\gamma \in \Gamma$.

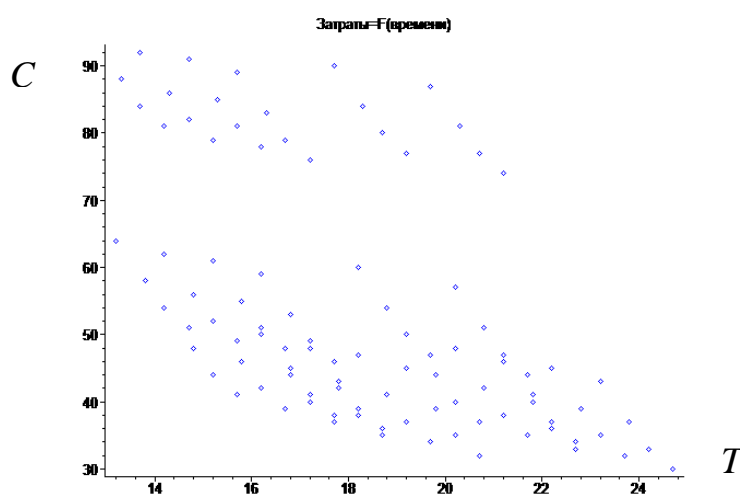


Рисунок 4.14 – Представление селекторов из Γ в пространстве функционалов

Воспользовавшись теоремой и следствием из нее, множество вариантов эффективных и несравнимых между собой представлено на рис. 4.15, которые определяются по алгоритму работы [39].

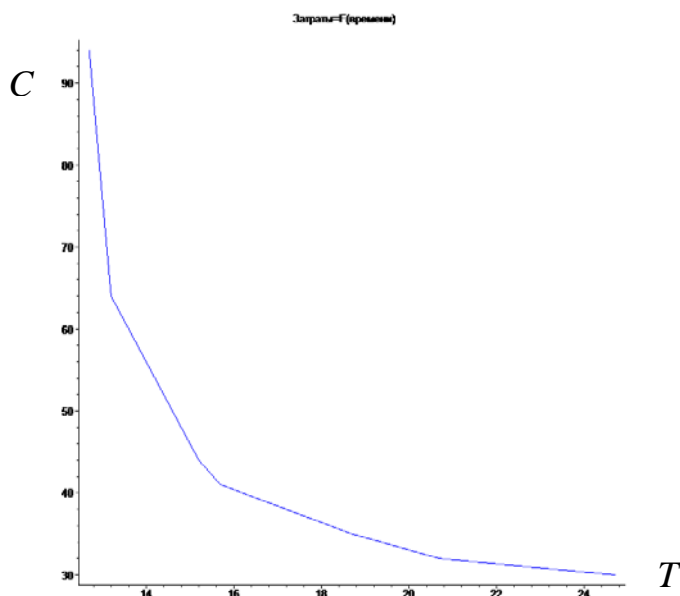


Рисунок 4.15 – Взаимосвязь между затратами и времени по множеству Γ^* - решению задачи векторной оптимизации

Совмещая рис. 4.14 и рис. 4.15 убеждаемся, что предложенный алгоритм представляет решение задачи векторной оптимизации (рис. 4.16).

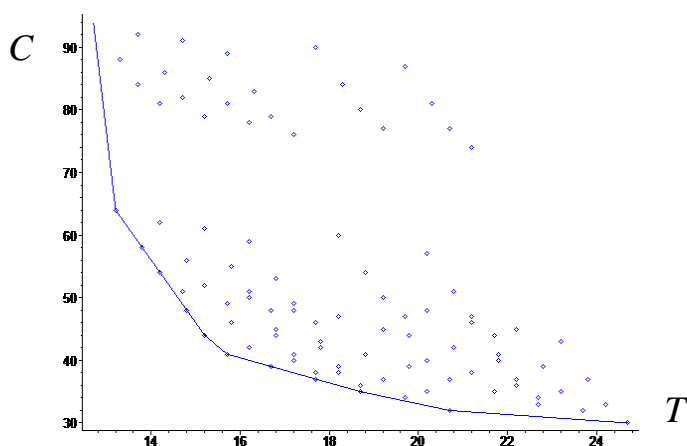


Рисунок 4.16 – Расположение решения задачи векторной оптимизации по отношению ко всем возможным селекторам

Таким образом, предложено математическое описание алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям применительно к научному обоснованию разработки гибкой технологии ремонта грузовых вагонов.

4.6 Выводы по разделу 4

1. Дано содержательное описание функционирования гибкого потока ремонта вагонов. Представлены возможные математические модели для исследования вагоноремонтных потоков. Показано, что ранее для анализа поточных линий использовался математический аппарат теории массового обслуживания в аналитическом виде. Но процессы, протекающие при ремонте вагонов на многофазном многоканальном потоке имеют более сложное описание, которое теория массового обслуживания пока не рассматривает.

2. Ранее использовались также упрощенные имитационные модели на компьютерах, которые не до конца отражали процессы, происходящие во время функционирования поточной вагоноремонтной линии. Они были разработаны в квазирегулярном исполнении, когда определяются усреднённые показатели по каждой позиции, а уже потом рассчитываются общие показатели работы потока.

3. В данной работе для проведения теоретических исследований был выбран математический аппарат теории кусочно-линейных агрегатов, адаптированный автором к описанию вагоноремонтных поточных сетей. Кусочно-линейный агрегат является частным случаем стохастической динамической системы с дискретным вмешательством случая. Он наиболее адекватно может отражать процессы, происходящие во время функционирования потока. Выделено три типа модулей: ремонтный модуль (РМ), транспортный модуль (ТМ) и модуль для ожидания (ОМ). При помощи математического аппарата теории кусочно-линейных агрегатов была описана работа этих модулей, а также представлена схема взаимодействия между ними.

4. На основании комплексного анализа возможных причин представлен алгоритм решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта с учетом времени простоя в ремонте и стоимости выполнения ремонтных работ.

5. Показано, что наиболее эффективным методом для анализа функционирования гибких потоков ремонта вагонов является имитационное моделирование.

РАЗДЕЛ 5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ПОЗИЦИЯХ ПОТОКА

5.1 Необходимость сбора и обработки статистических данных о трудоёмкостях ремонта вагонов на позициях вагоноремонтного участка

Процесс ремонта вагонов так же, как и все остальные физические процессы, происходящие в материальном мире, осуществляется в пространстве и во времени. С пространством связана структура потока, которая представляет собой консервативную часть системы и меняется крайне медленно. Сюда следует отнести количество позиций, количество модулей на каждой позиции, количество транспортных агрегатов, общую компоновку элементов и связи между ними. Эта структура почти в каждом конкретном случае является заданной и неизменной.

Для того же, чтобы иметь возможность смоделировать работу потока во времени, необходимо иметь случайные продолжительности времени осуществления отдельных технологических операций как по каждой позиции, так и по всему потоку в целом (ремонтных, транспортных, ожидания).

Любая имитационная модель нуждается в определённой исходной информации. От того, насколько эта информация будет достоверной и полной, зависят и результаты моделирования. Поэтому сбор, обработка и анализ статистических данных являются важными этапами получения исходной информации для моделирования.

Как уже многократно подчёркивалось, трудоёмкости ремонта вагонов на каждой специализированной позиции являются случайными величинами, подчиняющимися некоторым законам распределения. Эти законы обязательно должны быть включены в общую математическую модель, имитирующую движение вагонов по позициям потока.

В идеальном случае, если бы уже имелась действующая поточная линия со специализированными позициями, то можно было бы просто путём обычных

замеров получить результаты хронометражных испытаний времени выполнения ремонтных работ. Но в связи с тем, что в настоящее время «классические» потоки совсем не соблюдаются, а вагоны ремонтируют почти стационарным методом с выделением только нескольких специализированных мест, да и на тех работы ведутся фрагментарно и непостоянно, то провести качественный хронометраж времени в таких условиях не представляется возможным.

Поэтому для того, чтобы получить исходные данные для составления математических моделей времени выполнения ремонтных работ на позициях проектируемого потока, была проведена соответствующая подготовительная работа. Работа проводилась в несколько этапов. В качестве базовых исходных данных для временных математических моделей отдельных позиций были использованы фактические статистические данные о времени выполнения ремонтных работ на действующем предприятии.

5.2 Анализ эксплуатационных дефектов вагонов. Выбор необходимых технологических операций для их устранения. Расчёт трудоёмкостей операций

На первом этапе была полностью обследована партия из 142 полувагонов, проходивших деповской ремонт. Для того чтобы получить ясную картину, вагоны обследовались все подряд, без исключения. Сюда вошли полувагоны и с «нормальным» износом, и с «повышенным». По каждому вагону была составлена подробнейшая дефектная ведомость, включающая даже самые мелкие дефекты. Причём ведомости составлялись не только перед ремонтом, но и корректировались во время проведения самого ремонта. По каждому дефекту были зафиксированы качественные и количественные характеристики. Например, геометрические размеры повреждённой обшивки кузова. Сколько было дефектных мест, столько и конкретных характеристик (приложение ж).

На втором этапе, на основании всех собранных дефектов и необходимых технологических операций по их устранению, был составлен общий подробный перечень всех возможных видов работ, которые будут проводиться при ремонте этих вагонов. Вся информация была занесена в электронную таблицу. Каждому

столбцу таблицы соответствовал конкретный вагон, а каждой строчке – определённая технологическая операция. В каждую ячейку в зависимости от вида работ было внесено либо уже нормированное значение времени выполнения операции, либо формула, позволяющая вычислить эту величину.

На третьем этапе для каждого вагона по каждой конкретной технологической операции были определены трудозатраты. Этот этап занял очень длительный период времени, так как является весьма трудоёмким. Для уже упоминавшейся повреждённой конкретной обшивки вначале надо было рассчитать геометрические размеры площади вырезаемого металла, затем определить общую длину среза. Затем надо было определить геометрические размеры накладки и общую длину сварочного шва. И только после этого на основании типовых нормативов времени [333, 335, 336] можно было рассчитать трудовые затраты оперативного времени на выполнение газорезательных, электросварочных, слесарных и малярных работ. Полное время определялось на основании дополнительных коэффициентов к оперативному времени [334]. Нормативы дополнительного времени для отдельных профессий работников вагоноборочных участков представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Нормативы дополнительного времени для отдельных профессий работников вагоноборочных производственных участков

Обозначение	Наименование затрат рабочего времени	Норматив от оперативного времени, %		
		Наименование профессии		
		Электросварщик	Газорезчик	Слесарь
1	2	3	4	5
T_{nz}	Время на подготовительно-заключительные операции	6,50	7,65	4,37
$T_{об}$	Время на обслуживание рабочего места	1,61	4,91	1,84
$T_{пр}$	Время на отдых и личные потребности	2,76	2,76	2,76
Итого:		10,87	15,32	8,97

5.3 Распределение ремонтных операций между позициями проектируемого гибкого потока с целью получения исходных вероятностных моделей трудозатрат

На четвёртом этапе весь перечень операций был распределён между шестью ремонтными специализированными позициями, расположенными по ходу технологического процесса. При этом учитывался типовой технологический процесс [338], правила ремонта [55, 56, 76], проходили консультации с технологами, мастерами участка, исполнителями и другими специалистами, имеющими отношение к организации ремонта вагонов. В результате некоторые позиции, на которых выполняются, по сути, одинаковые работы, были объединены вместе. Из восьми существующих в настоящее время позиций, было получено шесть позиций. Первая и вторая позиции, на которых работает вагоноремонтная машина, а также четвёртая и пятая позиции, на которых находятся пресса для правки крышек люков и рам вагонов, были объединены между собой.

На пятом этапе для каждой ремонтной позиции была сформирована своя статистическая база трудозатрат времени, значения которых и явились в дальнейшем исходными данными для построения вероятностных моделей при проведении имитационного эксперимента. В табл. 5.2 представлена продолжительность времени выполнения работ на каждой позиции по каждому отдельному вагону.

5.4 Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на отдельных позициях потока

После того, как по каждой ремонтной позиции была сформирована статистическая база данных времени выполнения работ, необходимо было эти данные представить в удобном виде, чтобы была возможность использовать их в процессе имитационного моделирования. Для этого была применена такая же методика, которая была использована в разделе 2 для анализа различных видов работ.

Таблица 5.2 – Продолжительность времени выполнения работ на позициях по каждому вагону, мин

№ п/п	Номер позиции						№ п/п	Номер позиции					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	227,54	27,69	252,80	333,99	68,52	119,70	14	286,70	3,21	270,10	487,32	61,59	130,60
2	412,70	50,25	358,98	31,56	226,59	115,90	15	283,08	14,19	743,92	159,24	109,17	123,00
3	218,76	17,61	600,62	115,86	32,34	127,50	16	379,12	47,91	307,84	1,80	109,44	119,50
4	259,82	30,66	345,14	5,00	36,48	122,30	17	288,64	10,80	606,60	7,59	211,71	115,60
5	189,04	3,69	364,16	463,71	66,84	118,80	18	241,16	20,13	264,20	3,37	0,99	126,90
6	291,32	26,13	292,98	8,16	168,93	114,40	19	108,46	53,35	256,40	5,00	2,26	122,00
7	404,80	5,52	444,76	5,00	166,74	125,50	20	148,22	54,27	331,41	17,14	5,50	118,60
8	215,26	20,76	405,28	602,91	48,60	121,30	21	130,74	42,88	243,50	33,45	0,99	113,90
9	310,52	73,20	403,30	5,00	55,44	117,90	22	177,71	58,75	292,50	2,22	0,99	125,10
10	267,13	85,29	346,60	502,59	29,28	112,10	23	82,81	8,37	254,90	6,65	9,12	121,10
11	233,90	20,25	259,80	526,44	12,03	124,10	24	147,46	12,86	249,30	19,90	5,53	117,60
12	231,01	8,88	331,22	12,30	439,59	120,40	25	200,70	9,42	261,88	5,04	154,17	111,00
13	246,08	54,60	407,62	5,00	20,25	116,80	26	56,47	155,62	451,43	5,00	11,93	123,80

Продолжение табл. 5.2

№ п/п	Номер позиции						№ п/п	Номер позиции					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
27	145,66	44,44	253,40	3,67	0,99	120,20	40	387,02	40,13	235,90	0,94	14,79	109,20
28	120,32	139,25	247,60	27,07	84,68	116,50	41	417,23	23,17	258,80	5,00	147,70	123,50
29	220,78	93,53	404,03	5,00	16,57	129,00	42	519,22	50,33	370,03	5,00	190,07	119,90
30	163,64	32,29	257,50	5,00	73,40	122,70	43	273,32	185,81	370,95	383,75	59,76	116,20
31	195,68	54,94	359,88	5,00	14,44	119,30	44	418,70	19,79	266,10	5,00	158,29	128,10
32	199,72	70,51	391,42	5,00	4,31	115,20	45	522,59	38,25	284,60	5,00	181,37	122,50
33	196,05	42,57	263,30	73,01	39,58	126,30	46	256,20	2,11	322,04	5,04	181,26	119,00
34	198,62	54,00	256,00	5,00	114,45	121,80	47	216,32	23,95	395,09	5,00	124,45	114,80
35	191,18	78,52	937,44	13,69	14,13	118,30	48	324,52	44,90	262,50	40,23	32,15	125,80
36	123,54	145,19	242,60	90,32	19,32	113,40	49	211,08	67,37	255,60	5,00	14,99	121,50
37	218,54	61,10	260,80	10,69	49,88	124,70	50	196,30	159,01	343,06	49,45	21,99	118,10
38	157,74	214,74	487,22	5,00	121,56	120,80	51	121,44	23,84	241,50	5,00	4,85	112,70
39	142,36	98,71	272,92	5,00	83,25	117,30	52	204,48	62,44	260,20	5,00	84,72	124,40

Продолжение табл. 5.2

№ п/п	Номер позиции						№ п/п	Номер позиции					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
53	189,10	62,34	254,10	5,00	76,97	120,60	65	249,93	43,33	249,60	20,91	88,24	117,80
54	205,73	70,13	295,50	19,79	71,63	117,00	66	163,60	43,76	240,10	2,87	34,54	111,80
55	124,61	84,00	357,17	5,00	64,40	133,00	67	268,85	88,29	259,70	3,07	12,80	124,10
56	236,44	100,88	372,26	4,69	32,13	123,20	68	191,84	61,53	253,70	19,79	5,14	120,30
57	66,16	218,87	252,70	5,00	15,42	119,70	69	307,75	25,66	247,90	5,00	26,83	116,70
58	99,97	74,62	246,50	8,84	23,36	115,80	70	97,23	81,42	343,10	5,00	44,34	130,10
59	153,27	43,40	264,90	36,26	16,81	127,30	71	121,60	43,52	257,90	5,00	70,97	122,90
60	176,13	141,64	260,85	264,76	71,95	122,20	72	118,90	101,17	297,66	20,08	77,93	119,40
61	97,55	73,20	251,20	131,23	18,19	118,80	73	140,02	92,90	287,20	5,00	18,69	115,50
62	181,47	119,32	244,10	70,65	12,05	114,30	74	102,15	104,54	263,90	123,61	45,07	126,70
63	140,23	30,59	261,80	6,61	31,57	125,40	75	440,70	45,29	256,30	10,17	64,34	121,90
64	123,04	146,58	255,20	5,00	37,30	121,30	76	114,40	193,58	251,86	392,65	79,22	118,50

Продолжение табл. 5.2

№ п/п	Номер позиции						№ п/п	Номер позиции					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
77	225,02	30,22	342,53	19,18	78,57	113,80	90	181,39	12,33	255,90	4,68	26,62	121,70
78	464,43	38,14	261,20	6,39	74,09	125,00	91	448,38	30,71	250,40	16,16	94,90	118,30
79	469,02	33,65	254,80	13,42	46,18	121,00	92	86,60	162,23	353,49	5,00	5,91	113,20
80	489,54	46,04	292,76	6,39	103,49	117,50	93	441,63	25,28	260,60	16,16	58,87	124,60
81	445,33	31,57	238,20	5,00	62,99	110,70	94	404,59	40,13	287,51	55,66	37,20	120,80
82	529,32	48,98	384,90	12,72	69,56	123,70	95	448,08	40,58	248,80	2,70	76,33	117,20
83	470,45	48,23	253,30	4,29	150,40	120,10	96	374,55	81,93	234,60	35,42	72,61	108,40
84	460,34	37,10	247,40	2,81	49,59	116,40	97	85,27	154,09	379,51	5,00	58,31	123,40
85	464,59	42,19	267,20	2,53	32,03	128,80	98	489,07	36,75	369,47	20,38	52,87	119,90
86	142,34	93,72	288,26	260,43	60,03	122,70	99	481,08	50,39	334,25	5,00	57,58	116,10
87	496,72	44,45	268,41	8,65	52,27	119,20	100	198,51	91,28	347,15	10,14	52,55	127,90
88	366,51	41,52	245,30	42,23	61,49	115,10	101	482,83	22,14	257,00	24,85	96,40	122,40
89	398,67	40,97	263,10	22,88	0,99	126,20	102	456,80	10,48	251,50	10,79	103,12	118,90

Продолжение табл. 5.2

№ п/п	Номер позиции						№ п/п	Номер позиции					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
103	160,45	174,99	289,59	408,94	219,85	114,60	116	125,21	156,41	256,60	348,85	8,19	122,10
104	229,41	31,99	336,80	5,00	262,77	125,70	117	325,82	122,79	340,40	79,83	9,36	118,70
105	221,23	37,25	330,04	1,00	315,40	121,40	118	342,31	116,46	243,80	228,78	10,34	114,20
106	459,51	27,40	250,00	10,19	75,63	118,00	119	295,58	104,15	288,34	221,73	31,17	125,30
107	473,68	38,64	289,77	12,76	91,70	112,50	120	127,12	129,96	255,10	294,03	32,30	121,20
108	419,18	32,82	265,75	7,63	80,43	124,30	121	201,87	161,70	249,50	370,97	26,49	117,70
109	444,15	5,00	254,00	14,25	90,38	120,50	122	178,91	42,24	425,57	4,27	59,40	111,60
110	272,03	5,21	248,30	5,00	39,48	116,90	123	150,65	135,22	259,50	317,59	33,43	124,00
111	113,57	160,04	272,00	271,02	40,79	131,80	124	367,83	49,86	277,01	19,00	41,57	120,30
112	111,85	130,60	272,15	331,83	212,17	123,10	125	198,87	140,23	388,86	306,62	44,95	116,60
113	464,87	70,57	252,60	25,95	105,62	119,60	126	147,69	120,15	302,01	248,24	31,21	129,60
114	480,74	64,14	246,30	20,16	144,27	115,70	127	355,68	172,31	291,99	270,22	22,28	122,90
115	389,84	109,29	307,08	211,65	9,74	127,20	128	348,32	87,15	252,20	125,78	23,74	119,40

Окончание табл. 5.2

№ п/п	Номер позиции						№ п/п	Номер позиции					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
129	135,64	143,43	245,70	358,28	6,46	115,40	136	360,71	43,13	278,90	15,37	36,88	117,40
130	168,71	203,00	263,70	381,34	6,15	126,60	137	338,98	31,21	264,54	83,65	27,24	110,20
131	315,64	57,04	256,20	6,76	30,02	121,90	138	382,30	41,19	371,46	5,00	34,74	123,70
132	168,15	146,84	250,70	280,06	15,98	118,40	139	214,80	102,14	253,20	140,27	24,17	120,00
133	393,19	36,81	291,94	3,60	33,23	113,60	140	352,68	44,13	331,63	5,00	38,63	116,30
134	358,03	64,83	235,13	38,92	24,16	124,90	141	353,68	48,65	279,57	15,71	67,10	128,50
135	380,33	50,76	361,94	16,02	45,10	120,90	142	362,18	43,29	356,51	3,06	26,56	122,60

С целью повышения скорости вычислений и точности при обработке статистического материала была использована программа STATISTICA.

На рис. 5.1–5.6 представлены гистограммы и кривые плотности распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на позициях проектируемого потока.

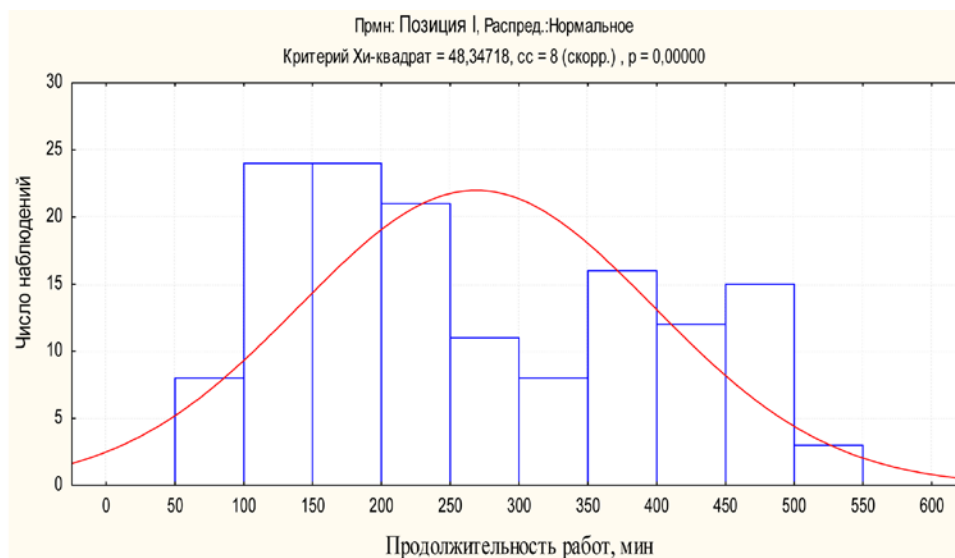


Рисунок 5.1 – Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на I позиции потока

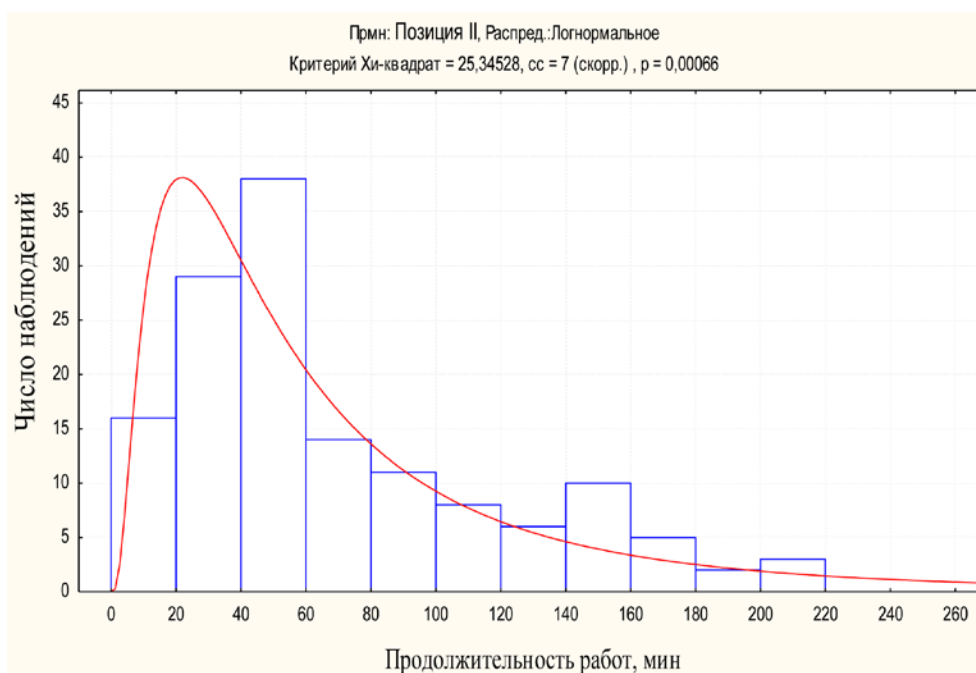


Рисунок 5.2 – Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на II позиции потока

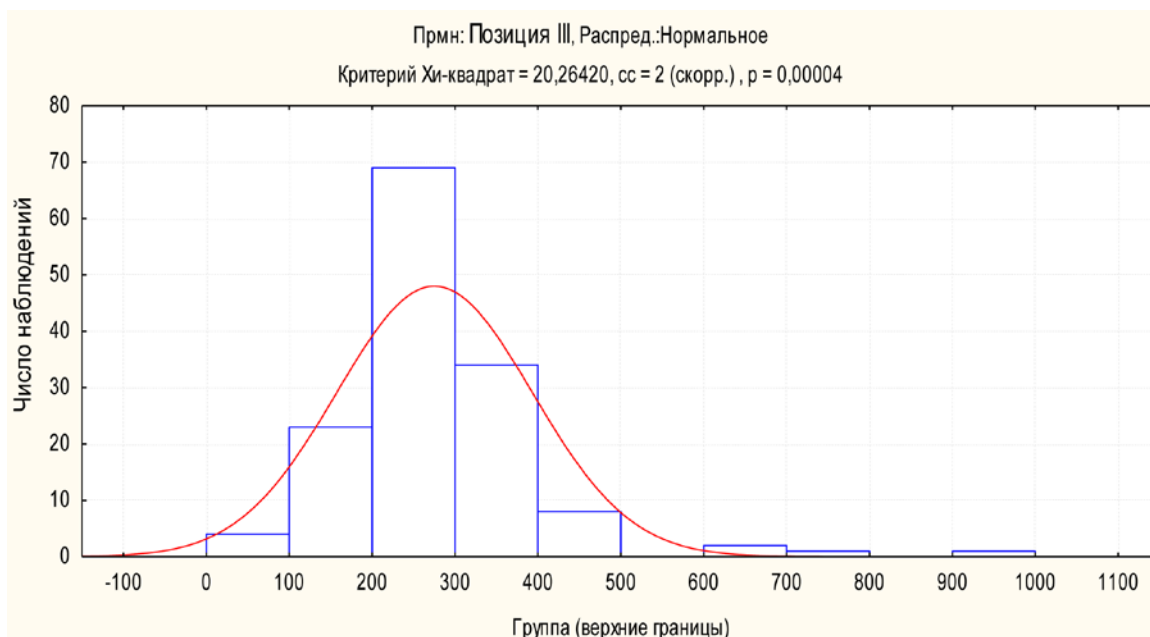


Рисунок 5.3 – Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на III позиции потока

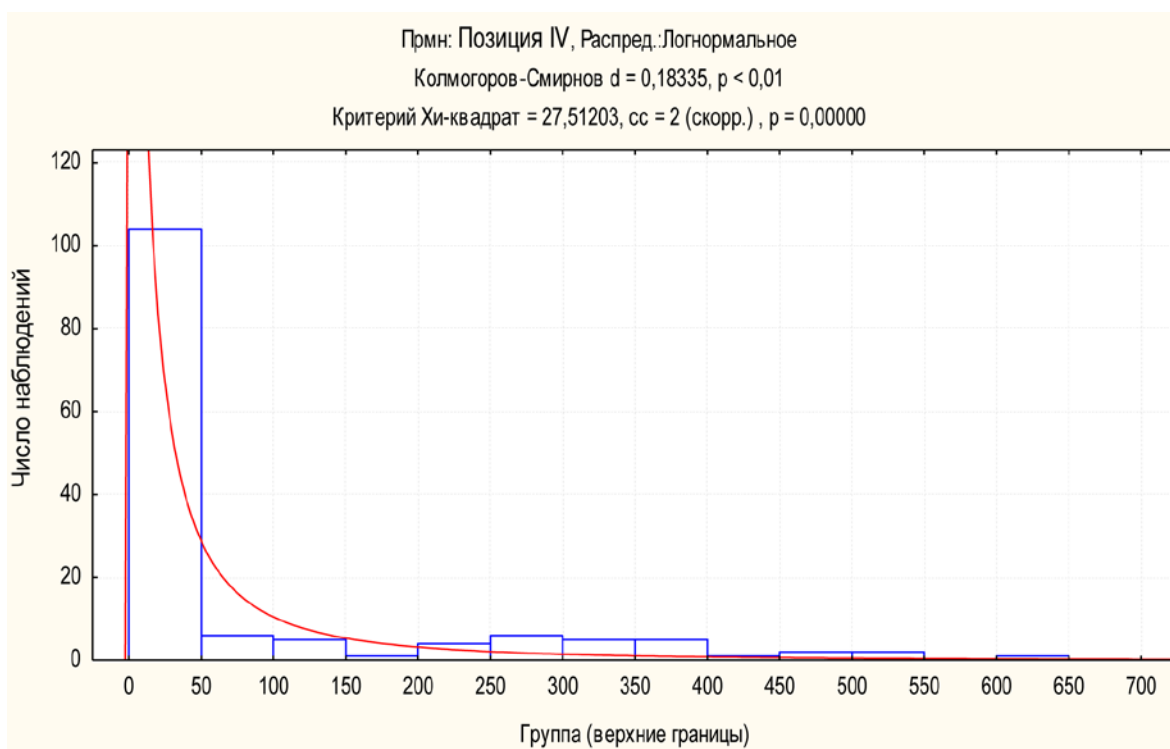


Рисунок 5.4 – Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на IV позиции потока

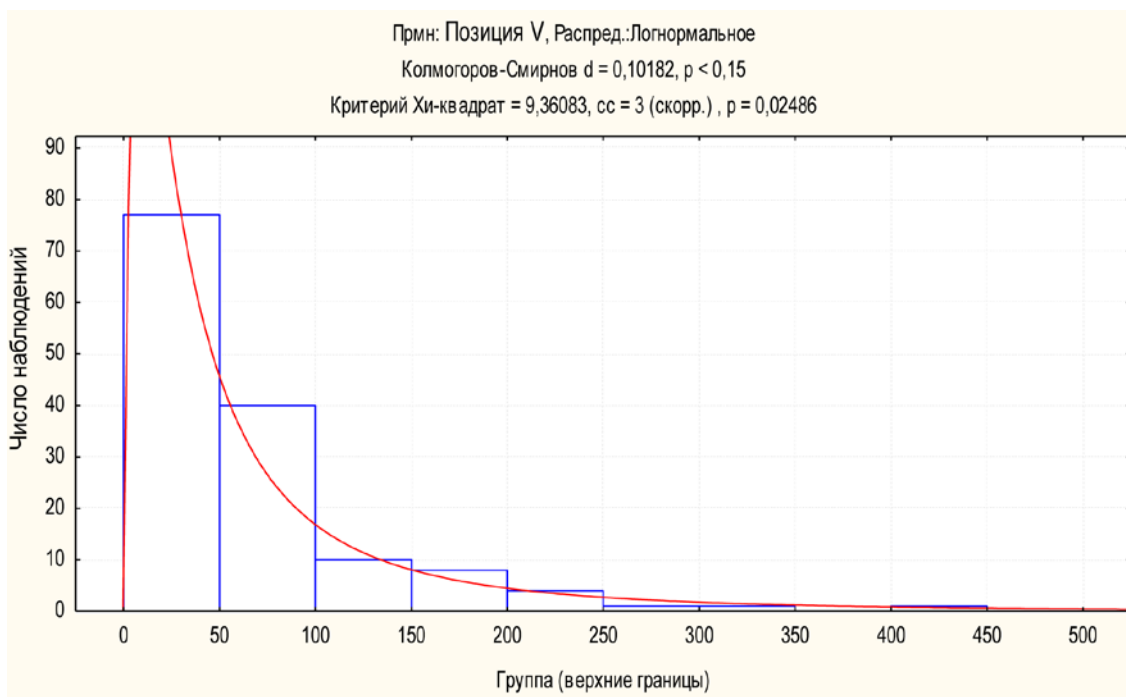


Рисунок 5.5 – Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на V позиции потока



Рисунок 5.6 – Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на VI позиции потока

В таблице 5.3 представлены параметры случайных величин времени выполнения ремонтных работ на позициях

Таблица 5.3 - Параметры случайных величин времени выполнения работ на позициях

Позиция	Математическое ожидание, мин	Среднеквадратическое отклонение, мин
I	268,9	128,8
II	68,2	50,9
III	275,3	118,0
IV	79,4	138,1
V	63,8	65,8
VI	120,3	4,9

Для наглядности на рис. 5.7 представлена гистограмма средней продолжительности времени выполнения работ на позициях.

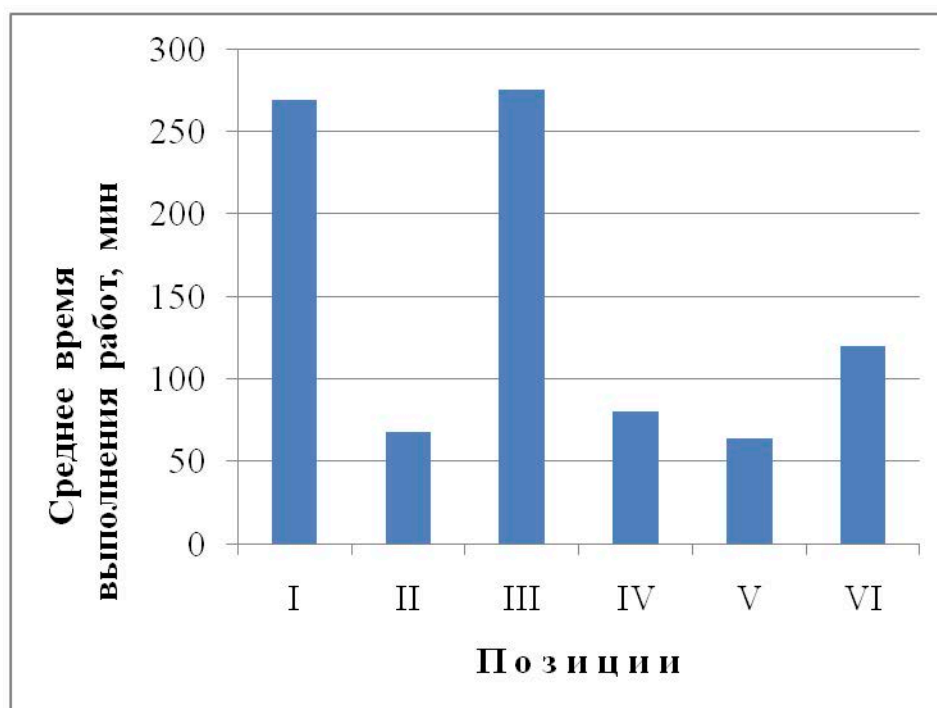


Рисунок 5.7 - Гистограмма средней продолжительности времени выполнения работ на позициях потока

5.5 Способ получения случайных значений времени выполнения ремонтных работ на позициях потока на основании полученных статистических данных

Учитывая, что фактические законы распределения времени выполнения работ на позициях носят сложный характер и не все могут быть точно аппроксимированы через известные законы для дальнейшего применения воспользуемся интегральной функцией распределения. На рис. 5.8 – 5.13 представлены интегральные функции распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на I – VI позициях потока.

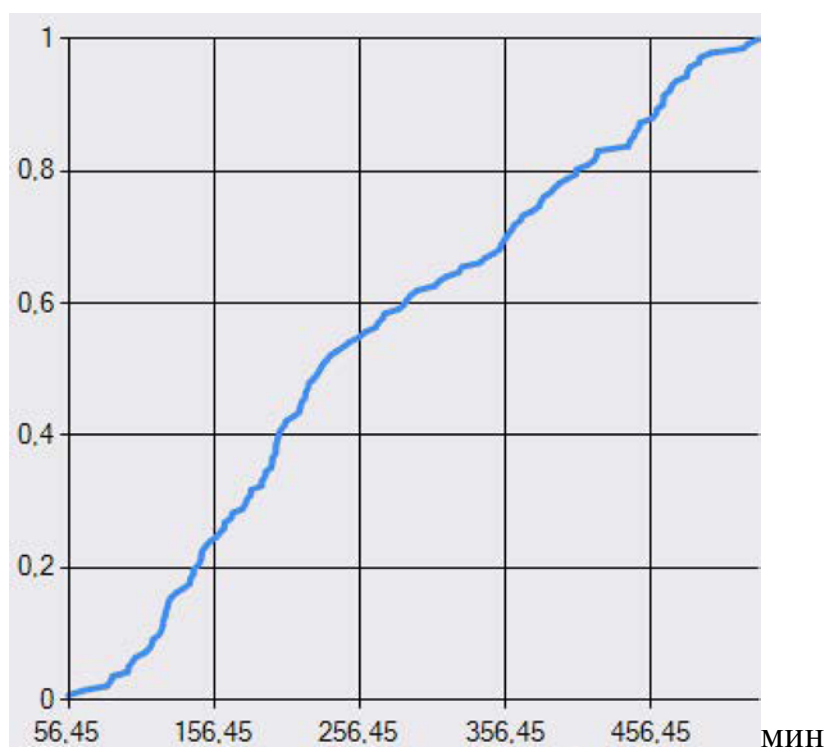


Рисунок 5.8 – Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на I позиции потока

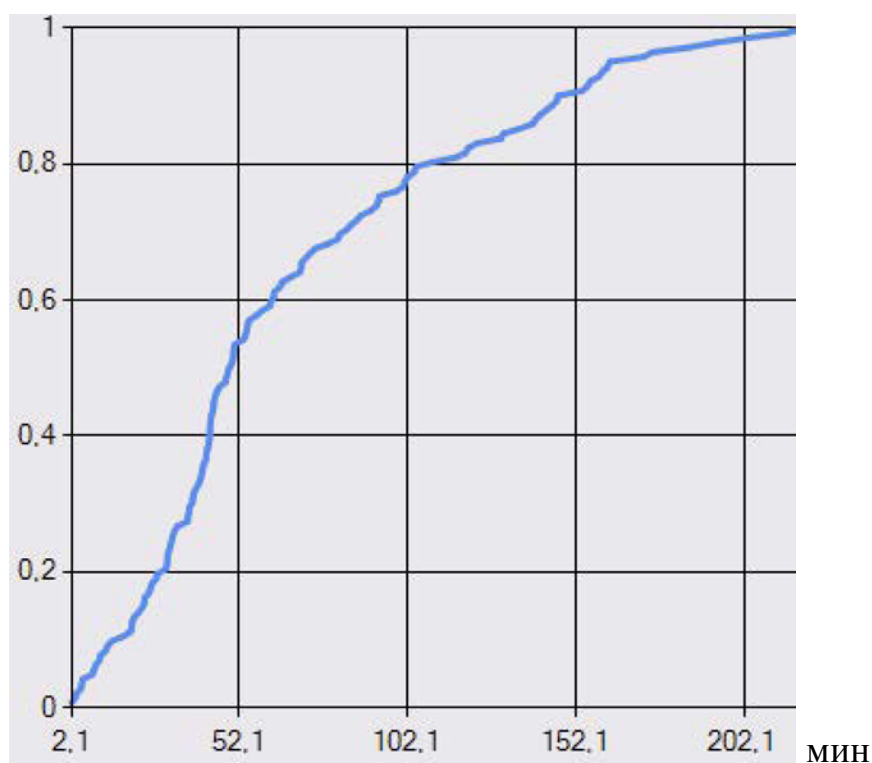


Рисунок 5.9 – Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на II позиции потока

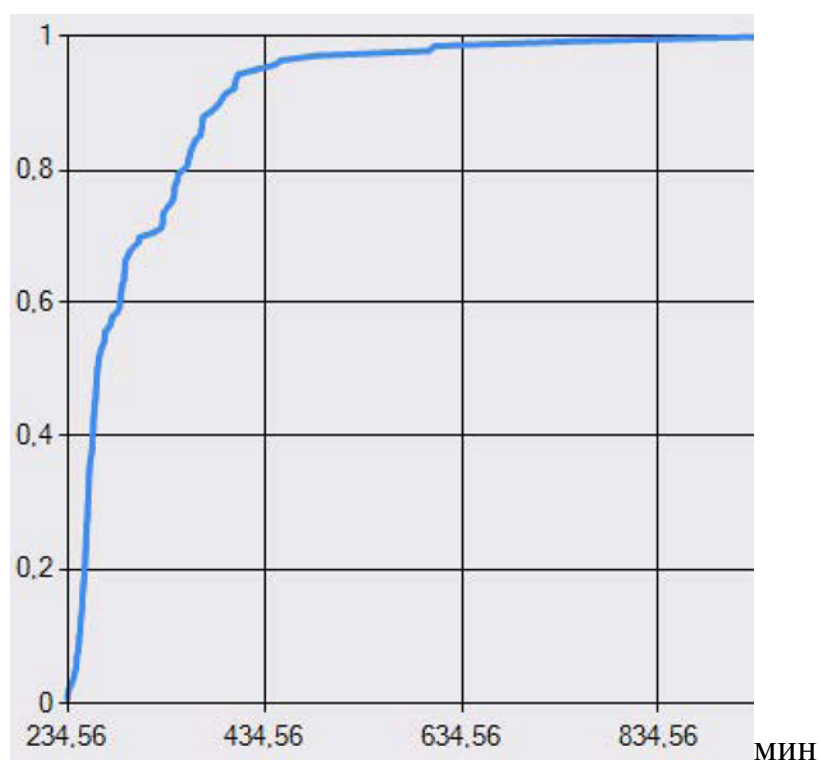


Рисунок 5.10 – Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на III позиции потока

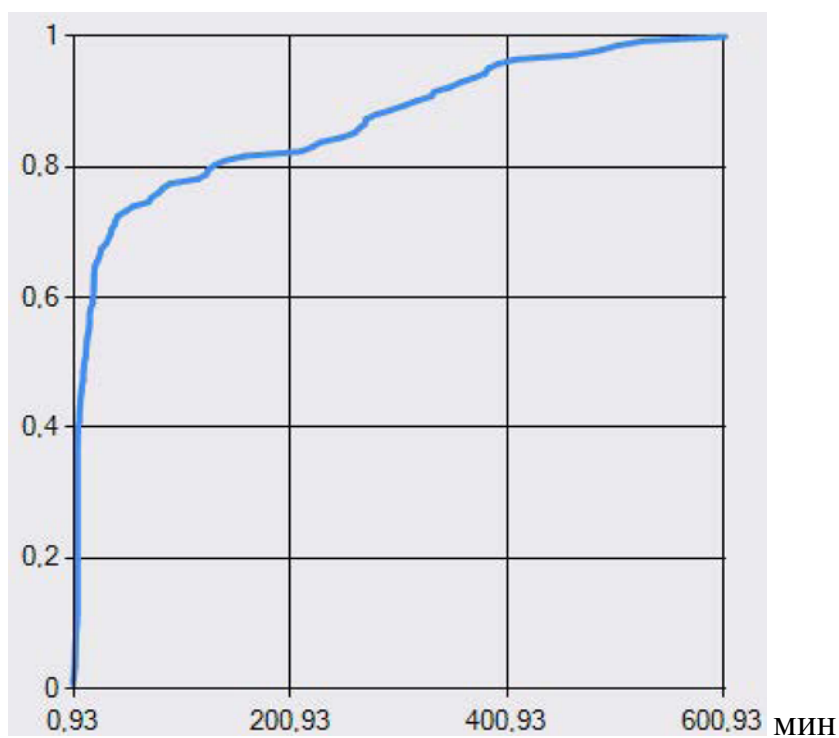


Рисунок 5.11 – Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на IV позиции потока

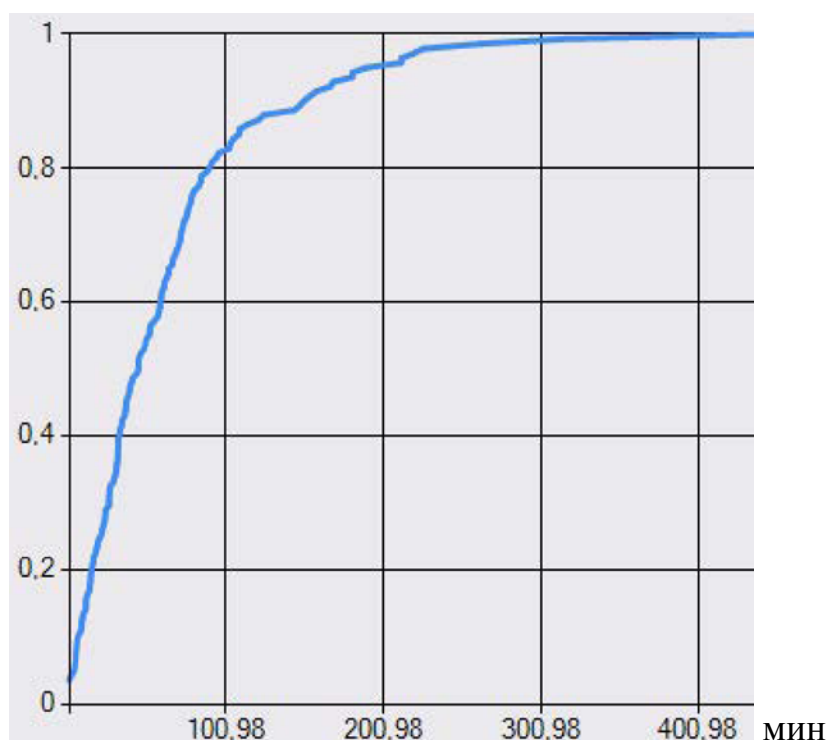


Рисунок 5.12 – Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на V позиции потока

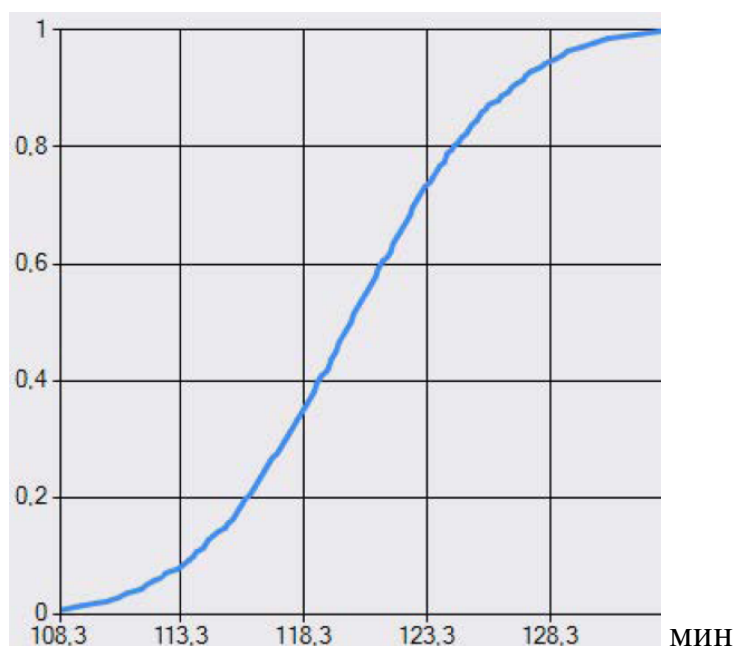


Рисунок 5.13 – Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на VI позиции потока

Для того чтобы получать случайные значения времени выполнения ремонтных работ, согласно статистическим данным, необходимо генерировать случайные числа, равномерно распределённые в интервале от 0 до 1 по оси ординат, а на их пересечении с интегральной кривой, на оси абсцисс будут находиться результирующие значения в минутах.

В программу имитационного моделирования для каждой позиции вводятся исходные данные (см. табл. 5.2), на основании которых по указанной выше методике, она вычисляет случайные значения времени ремонта вагонов на позициях. Эти данные хранятся в памяти и затем учитываются в расчётах.

5.6 Выводы по разделу 5

1. На основании полученных экспериментальных данных на действующих вагоноремонтных предприятиях, автором подготовлены исходные данные для проведения теоретических экспериментов. Исходными данными явились случайные продолжительности времени выполнения комплексов ремонтных работ по каждой позиции.

2. Для получения этих данных была проведена подготовительная работа, которая включала в себя обработку дефектных ведомостей, с целью составления возможного перечня ремонтных работ. Всего было обследовано 142 вагона. Затем все эти работы были распределены между ремонтными позициями согласно принятой технологии. По каждой отдельной операции на основании ремонтных параметров определялась продолжительность времени выполнения ремонтных работ. Эти данные заносились в электронную базу данных, которая представляла собой огромную матрицу. Каждому столбику таблицы соответствовал номер вагона, а каждой строке – наименование операции. В ячейку заносилась формула определения суммарной продолжительности времени выполнения данных операций.

3. Для каждой специализированной ремонтной позиций по каждому вагону была определена продолжительность времени выполнения комплекса ремонтных работ. Вся совокупность продолжительностей выполнения комплексов работ на каждой позиции является случайной величиной. Для каждой позиции построены гистограммы и кривые плотности распределения времени выполнения ремонтных работ.

4. Учитывая, что фактические законы распределения времени выполнения работ на позициях имеют сложный характер и не все могут быть точно аппроксимированы через известные законы, для дальнейшего применения были использованы интегральные функций распределения случайных величин, которые затем явились исходным материалом при моделировании работы потока.

РАЗДЕЛ 6

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПОТОКОВ РЕМОНТА ВАГОНОВ

6.1 Имитационное моделирование как метод изучения перспективных технологических процессов и получения нового знания

Принимая во внимание, что вагоноремонтное производство носит сложный стохастический характер, оно практически не может быть точно рассчитано при помощи небольшого количества простых аналитических формул, как это осуществляется в настоящее время, и нуждается в использовании имитационного моделирования производственного процесса на компьютерах.

Кроме того, с появлением быстродействующих электронно-вычислительных машин появилась уникальная возможность изучать и анализировать многие процессы виртуального характера, т. е. процессы, которых в настоящее время реально пока ещё нет, но они могут быть в будущем.

Под имитацией понимается численный метод проведения на компьютере экспериментов с математическими моделями, описывающими протекание реального процесса в течение продолжительного периода времени. Принципиальное отличие имитационного эксперимента от эксперимента в «реальном мире» состоит в том, что в ходе имитации эксперимент проводится с моделью реальной системы, а не с самой системой.

Для решения важных проектных и производственных задач необходимо максимально использовать современные методы моделирования, которые позволяют в кратчайшие сроки исследовать различные структурные варианты ремонтных потоков, обосновать их параметры и выявить лучшие из них. Особенно это касается гибких потоков. При функционировании же гибких потоков может возникнуть огромное множество различных ситуаций, что требует разработки специального моделирующего алгоритма.

На конкретных примерах покажем, как составлен и функционирует алгоритм моделирования отдельных потоков для ремонта вагонов. Данный

алгоритм является весьма укрупнённым и показывает только общие наиболее существенные этапы действий. Программная же реализация алгоритма хотя и основана на данном алгоритме, но имеет многие нюансы, связанные с особенностями языка программирования и тонкостями самого вычислительного процесса. Поэтому текст программы, написанный на машинном языке, по которому, собственно, и осуществляется процесс моделирования, разработан со всеми подробностями (приложение Д).

Под структурой потока понимается количество ремонтных позиций, количество модулей на каждой позиции, количество транспортных модулей и логика взаимоотношения между модулями.

В отличие от обычной традиционной поточной линии для ремонта вагонов, представляющей собой мультифазную одноканальную однопредметную систему массового обслуживания (СМО), гибкий вагоноремонтный поток представляет собой мультифазную поликанальную многопредметную СМО. В некоторых работах такие СМО носят ещё название сетей массового обслуживания [140].

Если в первом случае маршрут движения вагонов между позициями потока строго однозначен (предопределён), то во втором случае маршрут движения ремонтируемых вагонов носит многовекторный вероятностный характер. На каждой ремонтной позиции может находиться несколько ремонтных мест – модулей, количество которых зависит от времени выполнения ремонтных работ на данной позиции. Чем продолжительнее эти работы, тем больше и количество модулей на позиции. Гибкий поток устроен так, что вагон с любого модуля j -й позиции может попасть на любой освободившийся модуль следующей $(j+1)$ -й позиции.

В процессе перемещения вагонов между отдельными позициями потока в результате воздействия случайных факторов могут возникать различные непредвиденные ситуации, которые негативно сказываются на ходе производственного процесса. Для того, чтобы более глубоко разобраться с тем, как происходит процесс перемещения вагонов между ремонтными позициями и какие

ситуации при этом могут возникать, обратимся к теории агрегатов и попытаемся каждую позицию представить в виде кусочно-линейного агрегата [51, 54].

При моделировании мультифазных систем массового обслуживания существует два способа их реализации: в квазирегулярном и вероятностном исполнении [140].

Квазирегулярная модель – это такая модель, в которой моделирование каждой фазы осуществляется индивидуально с расчётом усреднённых показателей, а затем рассчитываются общие показатели всей мультифазной системы через показатели отдельных фаз.

Вероятностная модель – это такая модель, которая позволяет проследить движения каждого отдельного вагона в процессе прохождения его через все фазы системы. Общие показатели всей системы рассчитываются путём усреднения данных, полученных в результате последовательного прохождения каждого вагона через все фазы системы.

Один из возможных вариантов алгоритма моделирования работы поточной линии для ремонта вагонов с гибкими связями между позициями в квазирегулярном исполнении представлен в работе [211].

В настоящей работе использована вероятностная имитационная модель. Эта модель позволяет проследить судьбу каждого отдельного вагона в процессе перемещения его между позициями потока с запоминанием промежуточных результатов и последующим расчётом усреднённых показателей.

6.2 Имитационное моделирование работы гибкого потока при ремонте вагонов одного типа

Данная имитационная модель построена на основе функционирования отдельных кусочно-линейных агрегатов, которые увязаны в единую технологическую систему. Под каждым кусочно-линейным агрегатом подразумевается отдельный технологический модуль (см. разд. 4).

Процесс функционирования потока укрупнённо выглядит следующим образом. Имеется мультифазная поликанальная СМО с количеством фаз

(позиций), равным m . Количество каналов (модулей) в каждой фазе равно n_j , $j=1, 2, \dots, m$.

Будучи в общем потоке, каждый вагон имеет возможность находиться в ремонте столько времени, сколько того потребует его техническое состояние. В процессе движения вагонов через все позиции гибкого потока, возможны «обгоны» между ними и вагон, поступивший в ремонт после ранее поступивших вагонов, может выйти из ремонта значительно раньше. Для подтверждения этого в программе предусмотрен индивидуальный контроль за перемещением каждого вагона через все позиции потока. На входе каждому поступающему в ремонт вагону присваивается входящий номер, а на выходе определяется отклонение от очередности в ту или иную сторону. Кроме того, определяется среднее время пребывания вагонов в ремонте и среднее квадратическое отклонение времени пребывания вагонов в ремонте.

При ремонте вагонов на потоке, представляющем собой сложную систему, происходит последовательная смена её состояний. Под сменой состояния будем иметь в виду начало или завершение любого процесса на одном из модулей. Это может быть начало ремонта вагона на любой позиции, окончание ремонта, освобождение модуля.

Перед первой позицией имеется очередь из вагонов, ожидающих ремонта. Будем считать, что вагоны в очереди есть всегда.

Время выполнения ремонтных работ на каждой из позиций потока носит случайный характер. Случайные продолжительности времени выполнения ремонтных работ на позициях могут задаваться либо соответствующими законами распределения, либо фактическими статистическими данными, полученными на аналогичных позициях действующих предприятий. Как показывают исследования, время ремонта вагонов на позициях зачастую подчиняется нормальному закону распределения. Поэтому, чтобы смоделировать этот закон, необходимо для каждой ремонтной позиции указать два параметра: среднее время ремонта и среднее квадратическое отклонение времени.

В начальный момент времени все модули потока являются свободными. В момент начала моделирования один из операторов присваивает номер очередному вагону, поступившему на первую позицию потока, $i = i + 1$.

Введём также следующие обозначения:

t_{ij}^n – момент времени поступления i -го вагона на j -ю позицию;

t_{ij}^n – момент времени начала ремонта i -го вагона на j -й позиции;

t_{ij}^k – момент времени окончания ремонта i -го вагона на j -й позиции;

t_{ij}^o – момент времени освобождения i -м вагоном j -й позиции.

Условимся, что как только будет освобождён любой из модулей первой позиции, в него сразу же поступает новый вагон из очереди. Что касается остальных позиций, то для приёма очередного вагона будет использоваться тот модуль позиции, который освободится раньше остальных.

Обратим внимание на то, что момент окончания ремонта вагона на позиции ещё не говорит о том, что вагон сразу же покинет эту позицию. Может так случиться, что все модули следующей позиции в этот момент будут ещё заняты и вагону некуда будет перемещаться. Поэтому вагон будет оставаться на месте до тех пор, пока не освободится один из модулей следующей позиции. Будем также считать, что ремонт вагона начинается сразу же в момент поступления его на позицию.

Что касается последней позиции, то после окончания ремонта вагонов на ней, они сразу же её покидают (будем считать, что место на путях вне цеха, куда нужно переместить отремонтированный вагон, всегда есть).

Перемещение вагонов между позициями осуществляется транспортными агрегатами (трансбордерными тележками). Процесс перемещения занимает некоторое время, зависящее от расстояния между модулями соседних позиций, времени выполнения технологических операций, связанных с установкой и съёмом вагона с трансбордера, а также скорости его перемещения. Таким

образом, покинув модуль очередной ремонтной позиции, вагон не сразу поступает в модуль следующей позиции, а спустя некоторое случайное время $\tau_{тр}$.

В самом начале моделирования происходит «разворачивание» потока. Самый первый вагон по позициям потока будет перемещаться без каких-либо задержек, так как его движение не ограничивается впереди «идущими» вагонами. Поэтому для получения более достоверных результатов необходимо снимать показатели, начиная с того момента, когда на всех позициях уже будут находиться вагоны (полностью «развёрнутый» поток).

Обозначения операторов алгоритма моделирования заимствовано из классической работы [54]:

Π – оператор ввода-вывода информации;

A – вычислительный оператор;

P – логический оператор;

Φ – оператор формирования случайной величины;

F – оператор формирования неслучайной величины;

H – оператор обнуления;

K – оператор подсчёта (счётчик);

$Я$ – оператор окончания вычислений.

Расположенный рядом с буквой индекс указывает порядковый номер оператора.

Опишем кратко работу всего алгоритма моделирования в целом и его основных операторов.

Оператор Π_1 – осуществляет ввод необходимой исходной информации. В качестве исходных данных выступают следующие параметры:

T_M – интервал времени моделирования (равен годовому фонду рабочего времени вагоноремонтного участка), ч;

m – общее количество ремонтных позиций на потоке;

n_j – количество ремонтных модулей на каждой j -й позиции, $j=1, 2, \dots, m$;

$f(\sigma_j)$ – законы распределения времени выполнения ремонтных работ по каждой j -й позиции либо статистические данные ($j=1, 2, \dots, m$);

$\tau_{\text{тр}}$ – время перемещения вагонов между ремонтными позициями, мин.

$T_{\text{н}}$ – нормативное время пребывания вагонов в ремонте, ч;

Естественно, что в начальный момент времени все промежуточные и вспомогательные величины обнулены: $i=0; j=0; n=0; k=0; v=0; t_j^h=0; t_{j-1}^o=0; t_j^o=0; t_{(j-1),m}^k=0; t_{j-1}^k=0; t_{n(j+1)}^o=0$.

Оператор K_2 – осуществляет подсчёт числа вагонов, поступивших в ремонт

$$i = i + 1. \quad (6.1)$$

Оператор F_3 – нумерует вагоны, поступившие в ремонт (заносит их в реестр).

Оператор H_4 – обнуляет значение числа позиций $j=0$.

Оператор A_5 – осуществляет переход к моделированию следующей ремонтной позиции

$$j = j + 1. \quad (6.2)$$

Оператор Φ_6 – формирует случайное время перемещения вагона между ремонтными позициями $\tau_{\text{тр}}$.

Оператор P_7 – сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на $(j-1)$ -й позиции с моментом освобождения j -й позиции

$$t_{(j-1),m}^k \geq t_j^o, \quad (6.3)$$

если это условие выполняется, то оператор A_8 вычисляет время начала ремонта вагона на j -й позиций следующим образом

$$t_j^h = t_{(j-1),m}^k + \tau_{\text{тр}}, \quad (6.4)$$

в противном случае оператор A_9 осуществляет следующий расчёт

$$t_j^h = t_j^o + \tau_{\text{тр}}. \quad (6.5)$$

Φ_{10} – формирует величину времени выполнения ремонтных работ на j -й позиции σ_j

Оператор A_{11} – определяет момент времени окончания ремонта вагона на j -й позиции

$$t_j^k = t_j^h + \sigma_j. \quad (6.6)$$

Оператор F_{12} – производит расчёт минимального времени окончания ремонта вагона на j -й позиции

$$t_{jm}^k = \min_n \{ t_{jn}^k \}, n=1, 2, \dots, n_j. \quad (6.7)$$

Оператор P_{13} – сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на j -й позиции с моментом освобождения любого модуля $(j+1)$ -й позиции

$$t_{jm}^k \geq t_{j+1}^o, \quad (6.8)$$

если это условие выполняется, то оператор A_{14} вычисляет время освобождения j -й позиций следующим образом

$$t_j^o = t_{jm}^k, \quad (6.9)$$

в противном случае оператор A_{15} осуществляет следующий расчёт

$$t_j^o = t_{j+1}^o, \quad (6.10)$$

Оператор F_{16} – производит расчёт минимального момента освобождения модуля на j -й позиции

$$t_j^o = \min_n \{ t_{nj}^o \}, n=1, 2, \dots, n_j. \quad (6.11)$$

Оператор F_{17} – определяет номер модуля с минимальным временем освобождения

$$n = n \square t_{nj}^o \quad (6.12)$$

Оператор F_{18} вносит в реестр номер освободившегося модуля.

Оператор F_{19} вносит в реестр номер вагона, который находился в модуле.

Оператор P_{20} – проверяет условие $j=1$, если условие выполняется, то оператор F_{21} формирует базу данных, в которой для каждого i -го вагона хранится

значение момента времени поступления его в ремонт t_{i1}^n .

Оператор P_{22} – проверяет условие $j=m$, если условие выполняется, то оператор F_{23} формирует базу данных, в которой для каждого i -го вагона хранится значение момента времени выпуска его из ремонта t_{im}^o .

Оператор A_{24} – определяет продолжительность пребывания i -го вагона на j -й позиции

$$\tau_{ij} = t_{ij}^o - t_{ij}^n. \quad (6.13)$$

Оператор A_{25} – определяет момент времени окончания ремонта вагона на j -й позиции

$$t_{ij}^k = t_{ij}^n + \sigma_j. \quad (6.14)$$

Оператор P_{26} – проверяет, все ли позиции потока были смоделированы при данном цикле или нет

$$j < m,$$

если условие выполняется, то управление передаётся оператору A_5 .

Оператор A_{27} – определяет общее время пребывания i -го вагона в ремонте

$$T_i = t_{im}^o - t_{i1}^n. \quad (6.15)$$

Оператор A_{28} – суммирует эти значения $\sum_i T_i$.

Оператор P_{29} – проверяет, не было ли превышено нормативное время пребывания вагона в ремонте

$$T_i \leq T_n,$$

в случае превышения нормативного времени простоя, управление передаётся оператору K_{30} , который осуществляет подсчёт таких вагонов, в противном случае – к оператору K_{31} .

Оператор K_{30} – счётчик числа вагонов, нарушивших регламент

$$k = k + 1.$$

Оператор K_{31} – счётчик числа вагонов, нарушивших регламент

$$l = l + 1.$$

Оператор K_{32} – производит подсчёт количества вагонов, вышедших из ремонта

$$v = v + 1.$$

Оператор P_{34} – проверяет, не исчерпан ли интервал времени моделирования

$$t_j^o < T_m,$$

если интервал времени не исчерпан, то управление передаётся оператору A_2 .

Оператор A_{35} – определяет среднее время пребывания вагонов в ремонте

$$T_{cp} = \sum_i T_i / i. \quad (6.16)$$

Оператор A_{36} – определяет величину среднего такта потока

$$\tau'_{cp} = T_{cp} / m. \quad (6.17)$$

Оператор A_{37} – также определяет величину среднего такта потока, но иным образом

$$\tau''_{cp} = T_m / i. \quad (6.18)$$

Оператор A_{38} – определяет коэффициент загрузки каждой ремонтной позиции.

Кроме этого, для оценки эффективности работы гибкого потока используются и другие не менее важные показатели.

Оператор Π_{39} – осуществляет вывод необходимой информации на печать.

Оператор $Я_{40}$ – завершает процесс моделирования.

Если в течение заданного интервала моделирования, равного годовому фонду времени работы предприятия T_n , программа по ремонту вагонов N не будет выполнена, то это говорит о том, что пропускная способность принятой структуры потока не соответствует заданным требованиям. Поэтому структура потока должна быть изменена. Для увеличения пропускной способности потока необходимо к самой загруженной позиции добавить ещё один ремонтный модуль,

изменив таким образом его структуру, и снова произвести моделирование. Так надо делать до тех пор, пока не будет достигнута необходимая пропускная способность потока.

Исследования при помощи имитационного моделирования различных структурных вариантов организации гибких потоков свидетельствуют о том, что их пропускная способность возрастает на 50 – 70 % по сравнению с традиционными поточными линиями, что позволяет судить об их явных преимуществах.

6.3 Имитационное моделирование работы гибкого потока при нескольких типах вагонов и нескольких видах ремонта

Как правило, каждое действующее вагонное депо специализировано на ремонте только одного типа вагона. Поэтому в настоящее время существует проблема, связанная с обеспечением депо объектами ремонта, – вагонов необходимого типа может и не оказаться в нужном количестве.

Совсем по-иному происходит отбор вагонов для гибких производственных систем. Исходя из того, что в ремонт могут поступать разные типы вагонов, отпадает проблема обеспеченности депо строго определёнными объектами ремонта.

Кроме уже отмеченных преимуществ, к достоинствам гибкого потока можно отнести и то, что он позволяет в режиме общего потока ремонтировать разные типы вагонов и выполнять разные виды ремонтов. Поэтому поступающие в ремонт вагоны можно разделить на определённое количество групп z , отличающихся друг от друга ремонтными параметрами. По каждой группе вагонов задаётся программа ремонта $N_a, a = 1, 2, \dots, z$.

Будем считать, что вагоны на входе (в очереди) есть всегда. При этом вагоны каждой группы поступают в ремонт случайным образом, согласно заданной вероятности.

В качестве примера рассмотрим следующие группы вагонов, поступающие в ремонт (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Программа, тип вагона и вид ремонта

№ группы	Тип вагона	Вид ремонта	Программа ремонта	Вероятность поступления
1	Полувагон	ДР	3600	0,50
2	Полувагон	КР	360	0,05
3	Платформа	ДР	2160	0,30
4	Крытый	ДР	1080	0,15
Итого:			7200	1,0

Моделирование на компьютерах процесса выбора вагона из определённой группы может осуществляться следующим образом. Компьютер выбрасывает случайные числа ξ_i , равномерно распределённые в интервале от 0 до 1. Будем условно считать, что если случайно сгенерированное число ξ_i попадает в интервал от 0 до 0,5 ($0 < \xi_i \leq 0,5$), то в ремонт поступает вагон из первой группы. Если случайное число ξ_i попадает в интервал от 0,5 до 0,55 ($0,50 < \xi_i \leq 0,55$), то в ремонт поступает вагон из второй группы и т. д.

С целью более глубокой детализации для одной и той же группы вагонов могут задаваться дополнительные условия (параметры), которые будут учитывать различные конструктивные особенности вагонов. Например, полувагоны могут быть с крышками люков, а могут быть и без крышек люков (глуходонные); могут быть с торцевыми дверьми, а могут быть и без них. Эти конструктивные отличия сказываются на продолжительности ремонтных работ по вагонам и на маршрутах их движения через позиции потока.

При ремонте отдельные группы вагонов могут иметь приоритет. Под приоритетом понимается то, что некоторым группам вагонов может отдаваться предпочтение. Эти вагоны ремонтируются в первую очередь, и по всему потоку им дан «зелёный свет». Если есть повышенная потребность на данный момент использования в перевозочном процессе, например, полувагонов, то этот тип вагонов становится приоритетным и ремонтируется в первую очередь, а вагоны остальных типов ремонтируются по мере возможности. В ремонт же вагоны поступают равномерно, согласно заданной программе.

Учитывая, что вагоноремонтное производство носит стохастический

характер, оно практически не может быть точно рассчитано при помощи небольшого количества простых аналитических формул, а нуждается в использовании имитационного моделирования производственного процесса на компьютерах.

Для решения указанных задач необходимо максимально использовать современные методы моделирования, которые позволяют в короткие сроки и с высокой точностью исследовать различные варианты проведения мероприятий по совершенствованию работы поточных линий вагоноремонтных предприятий.

Процесс функционирования потока в несколько упрощённом виде выглядит следующим образом. Перед первой позицией имеется очередь из вагонов, ожидающих ремонта. Будем считать, что система ремонта организована таким образом, что вагоны в очереди есть всегда. Имеется z групп ремонтируемых вагонов. Для каждой a -й группы вагонов для каждой j -й позиции задаются законы распределения времени выполнения ремонтных работ τ_{aj} , $j=1, 2, \dots, m$; $a=1, 2, \dots, z$.

Как только будет освобождён любой из модулей первой позиции, в него сразу же поступает следующий вагон из очереди. Что касается других позиций, то для приёма очередного вагона будет использоваться тот модуль, который освободится раньше остальных. В начальный момент времени все модули потока являются свободными.

Момент окончания ремонта вагона на позиции ещё не говорит о том, что вагон сразу же покинет эту позицию. Может так случиться, что все модули следующей позиции в этот момент будут ещё заняты, и вагону перемещаться будет некуда. Поэтому вагон будет оставаться в модуле до тех пор, пока не освободится один из модулей следующей позиции. В некоторых случаях вагон может поступить в модуль для ожидания.

При окончании ремонта вагона на последней позиции, он сразу же её покидает (будем считать, что место, куда поставить уже отремонтированный вагон, есть всегда).

Будем также считать, что ремонт вагона начинается сразу же в момент поступления его на позицию.

Перемещение вагонов между ремонтными модулями производится при помощи транспортных агрегатов. Транспортный агрегат самостоятельно осуществляет погрузку на себя вагона, перемещение вместе с ним к необходимому ремонтному модулю и выгрузку вагона. Таким образом, процесс перемещения вагонов между модулями занимает некоторое случайное время $\tau_{тр}$.

При функционировании гибких потоков может возникнуть огромное множество различных случайных ситуаций, что требует разработки специального алгоритма моделирования с учётом вмешательства случая.

В самом начале моделирования происходит «разворачивание» потока. Первый вагон по позициям потока будет двигаться без каких-либо задержек, так как его движение ничем не ограничивается. Поэтому для получения более точных результатов необходимо снимать показатели, начиная с того момента, когда на всех позициях уже будут находиться вагоны.

6.4 Описание блок-схемы алгоритма моделирования работы гибкого потока при нескольких типах вагонов и нескольких видах ремонта

Многие процедуры уже были описаны в предыдущем подразделе, поэтому остановимся только на дополнительных операциях, которые используются в данном алгоритме.

Далее кратко опишем работу алгоритма при помощи основных его операторов.

Для лучшей наглядности на рис. 6.1 представлена укрупнённая блок-схема алгоритма имитационного моделирования работы мультифазного поликанального многопредметного асинхронного гибкого потока ремонта вагонов.

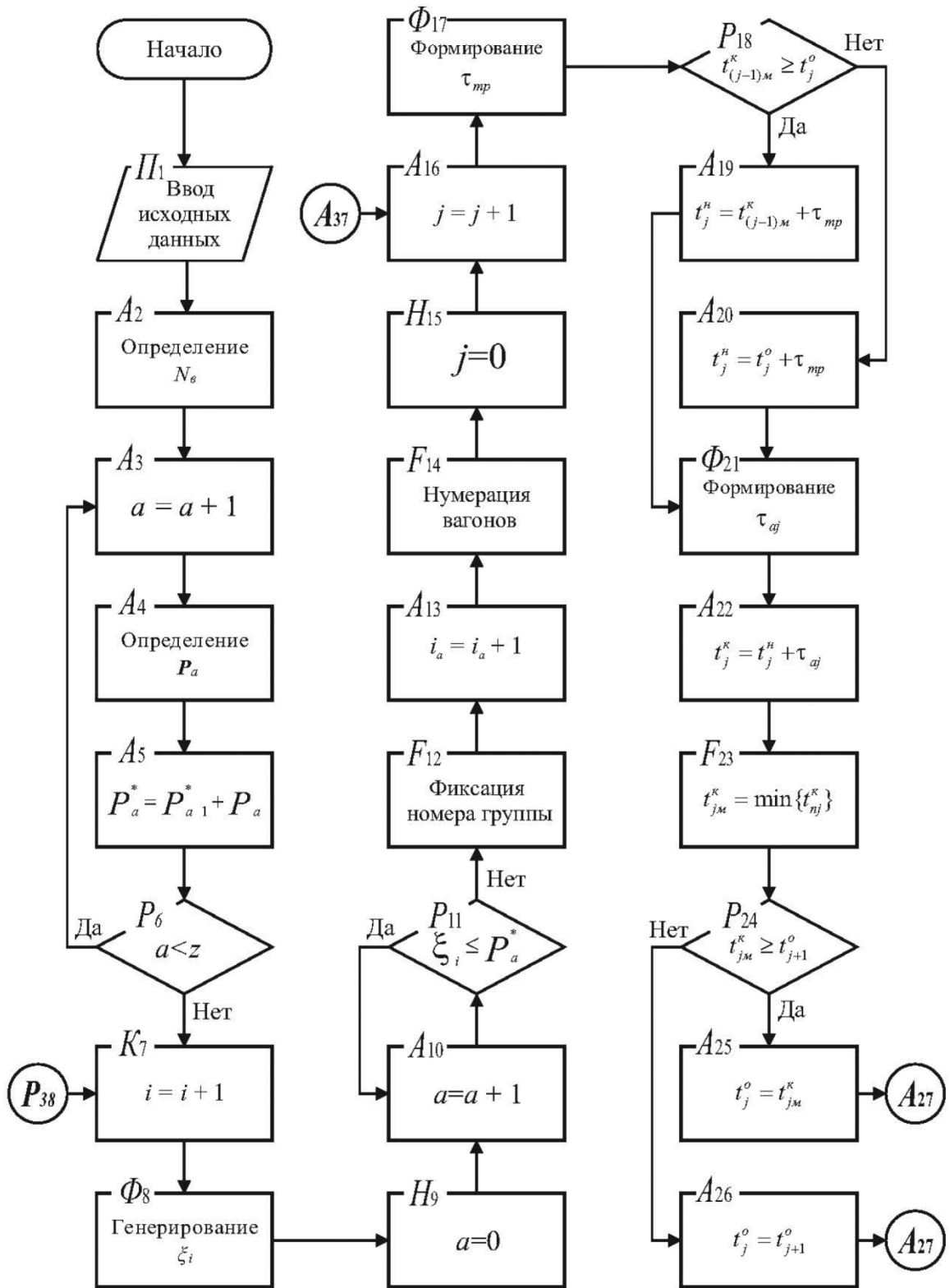


Рисунок 6.1 – (Начало) Укрупнённая блок-схема алгоритма имитационного моделирования работы мультифазного поликанального многопредметного асинхронного гибкого потока ремонта вагонов

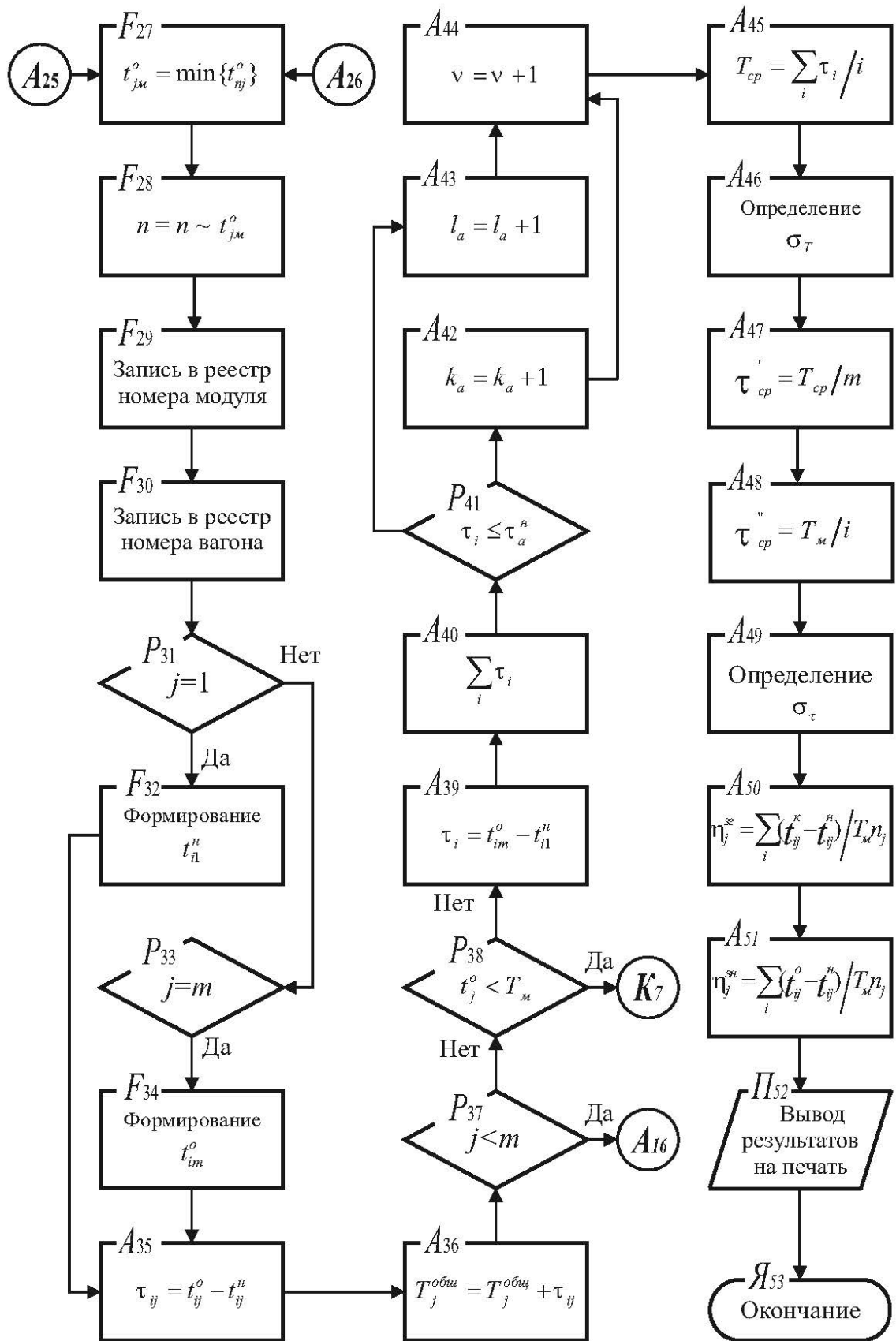


Рисунок 6.1 – (окончание)

Оператор Π_1 осуществляет ввод необходимой исходной информации. В качестве исходных данных вводятся следующие параметры:

структура потока, которая включает:

m – общее количество ремонтных позиций на потоке;

n_j – количество ремонтных модулей на каждой j -й позиции ($j=1, 2, \dots, m$);

$n_{\text{тр}}$ – количество транспортных модулей;

T_m – интервал времени моделирования (равен годовому фонду рабочего времени потока), ч;

z – количество групп вагонов;

N_a – годовая программа ремонта a -й группы вагонов ($a=1, 2, \dots, z$);

$f(\tau_{aj})$ – законы распределения времени выполнения ремонтных работ для каждой a -й группы вагонов по каждой j -й позиции ($a=1, 2, \dots, z; j=1, 2, \dots, m$);

$\varphi(\tau_{\text{тр.}})$ – закон распределения времени перемещения вагонов между ремонтными позициями;

τ_a^H – нормативное время пребывания в ремонте вагонов a -й группы, ч.

Естественно, что в начальный момент времени все промежуточные и вспомогательные величины должны быть обнулены: $i = 0; j = 0; n = 0; k = 0; v = 0; a = 0; P_{a-1}^* = 0; t_j^H = 0; t_{j-1}^O = 0; t_j^O = 0; t_{(j-1)m}^K = 0; t_{j-1}^K = 0; t_{n(j+1)}^O = 0; i_a = 0$ ($a = 1, 2, \dots, z$).

Оператор A_2 определяет общую годовую программу предприятия с учётом ремонта всех групп вагонов

$$N_{\epsilon} = \sum_{a=1}^z N_a . \quad (6.19)$$

Оператор A_3 осуществляет переход к следующей группе вагонов

$$a = a + 1 .$$

Оператор A_4 определяет вероятность поступления в ремонт вагонов a -й группы

$$P_a = N_a / N_{\epsilon} . \quad (6.20)$$

Оператор A_5 рассчитывает верхнюю границу интервала, соответствующего вероятности поступления вагонов из a -й группы

$$P_a^* = P_{a-1}^* + P_a. \quad (6.21)$$

Оператор P_6 проверяет, все ли группы вагонов были смоделированы или нет

$$a < z,$$

если условие выполняется, то управление передаётся A_3 , в противном случае управление переходит к оператору K_7 , который осуществляет подсчёт общего числа всех вагонов, поступивших в ремонт

$$i = i + 1.$$

Оператор Φ_8 генерирует случайное число ξ_i , равномерно распределённое в интервале от 0 до 1 ($0 \leq \xi_i \leq 1$).

Оператор H_9 обнуляет счётчик числа групп вагонов, $a = 0$.

Оператор A_{10} переходит к следующей группе вагонов

$$a = a + 1.$$

Оператор P_{11} сравнивает значение случайной величины ξ_i со значением верхней границы интервала, соответствующего вероятности поступления в ремонт вагона из a -й группы

$$\xi_i \leq P_a^*.$$

Если это условие не выполняется, то управление передаётся оператору A_{10} , в противном случае оператор F_{12} фиксирует номер группы, из которой поступил вагон, a .

Оператор K_{13} осуществляет подсчёт числа вагонов поступивших в ремонт из a -й группы

$$i_a = i_a + 1.$$

Оператор F_{14} нумерует вагоны, поступившие в ремонт (вносит их в реестр).

Оператор H_{15} обнуляет значение числа позиций, $j=0$.

Оператор A_{16} осуществляет переход к моделированию следующей ремонтной позиции

$$j = j + 1.$$

Оператор Φ_{17} формирует случайное время перемещения вагона между ремонтными позициями τ_{mp} .

Оператор P_{18} сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на $(j-1)$ -й позиции с моментом освобождения j -й позиции

$$t_{(j-1),m}^k \geq t_j^o,$$

если это условие выполняется, то оператор A_{19} вычисляет время начала ремонта вагона на j -й позиций следующим образом

$$t_j^H = t_{(j-1),m}^k + \tau_{mp}, \quad (6.22)$$

в противном случае оператор A_{20} осуществляет следующее действие

$$t_j^H = t_j^o + \tau_{mp}. \quad (6.23)$$

Оператор Φ_{21} формирует величину времени выполнения ремонтных работ на j -й позиции, согласно группе принадлежности вагона τ_{aj} .

Оператор A_{22} определяет момент времени окончания ремонта этого вагона на j -й позиции

$$t_j^K = t_j^H + \tau_{aj}. \quad (6.24)$$

Оператор F_{23} производит расчёт очередного минимального времени окончания ремонта одного из вагонов на j -й позиции

$$t_{jm}^k = \min\{t_{nj}^k\}, n = 1, 2, \dots, n_j. \quad (6.25)$$

Оператор P_{24} сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на j -й позиции с очередным моментом освобождения одного из модулей $(j+1)$ -й позиции

$$t_{jm}^k \geq t_{j+1}^o,$$

если это условие выполняется, то оператор A_{25} вычисляет время освобождения j -й позиции от вагона следующим образом

$$t_j^o = t_{jm}^k,$$

в противном случае оператор A_{26} производит следующее действие

$$t_j^o = t_{j+1}^o.$$

Оператор F_{27} производит расчёт минимального момента освобождения модуля на j -й позиции

$$t_{jm}^o = \min\{t_{nj}^o\}, n = 1, 2, \dots, n_j. \quad (6.26)$$

Оператор F_{28} определяет номер модуля j -й позиции с минимальным временем освобождения

$$n = n \square t_{jm}^o.$$

Оператор F_{29} вносит в реестр номер освободившегося модуля.

Оператор F_{30} вносит в реестр номер вагона, который находился в этом модуле.

Оператор P_{31} проверяет условие $j = 1$, если условие выполняется, то оператор F_{32} формирует базу данных, в которой для каждого i -го вагона хранится момент поступления его в ремонт t_{i1}^H .

Оператор P_{33} проверяет условие $j = m$, если условие выполняется, то оператор F_{34} формирует базу данных, в которой для каждого i -го вагона хранится момент выпуска его из ремонта t_{im}^o .

Оператор A_{35} определяет время пребывания i -го вагона на j -й позиции

$$\tau_{ij} = t_{ij}^o - t_{ij}^H. \quad (6.27)$$

Оператор A_{36} определяет общее время простоев i -го количества вагонов в ремонте на j -й позиции

$$T_j^{обш} = T_j^{общ} + \tau_{ij}. \quad (6.28)$$

Оператор P_{37} проверяет, все ли позиции потока были смоделированы при данном цикле или нет

$$j < m,$$

если условие выполняется, то управление передаётся оператору A_{16} .

Оператор P_{38} проверяет, не исчерпан ли интервал времени моделирования

$$t_j^o < T_m,$$

если интервал не исчерпан, то управление передаётся оператору K_7 .

Оператор A_{39} определяет общее время пребывания i -го вагона в ремонте

$$\tau_i = t_{im}^o - t_{i1}^H. \quad (6.29)$$

Оператор A_{40} суммирует эти значения $\sum_i \tau_i$.

Оператор P_{41} проверяет, не было ли превышено нормативное время пребывания вагона a -й группы в ремонте

$$\tau_i \leq \tau_a^H,$$

в случае превышения нормативного времени простоя, управление передаётся оператору K_{42} , который осуществляет подсчёт таких вагонов, в противном случае – к оператору K_{43} .

Оператор K_{42} подсчитывает число вагонов a -й группы, нарушивших регламент

$$k_a = k_a + 1.$$

Оператор K_{43} производит подсчёт количества вагонов a -й группы, не превысивших норматив простоя в ремонте

$$l_a = l_a + 1.$$

Оператор K_{44} производит подсчёт общего количества вагонов, вышедших из ремонта

$$v = v + 1.$$

Оператор A_{45} определяет среднее время пребывания вагонов в ремонте

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^v \tau_i / v. \quad (6.30)$$

Оператор A_{46} определяет среднеквадратическое отклонение времени пребывания вагонов в ремонте σ_T .

Оператор A_{47} определяет величину среднего такта потока

$$\tau'_{cp} = T_{cp} / m. \quad (6.31)$$

Оператор A_{48} также определяет величину среднего такта потока

$$\tau''_{cp} = T_m / i.$$

Оператор A_{49} определяет среднеквадратическое отклонение такта потока σ_τ .

Оператор A_{50} определяет коэффициент загрузки каждой ремонтной позиции

$$\eta_j^{загр} = \sum_i (t_{ij}^k - t_{ij}^h) / T_m n_j. \quad (6.32)$$

Оператор A_{51} определяет коэффициент занятости каждой ремонтной позиции

$$\eta_j^{зан} = \sum_i (t_{ij}^o - t_{ij}^h) / T_m n_j. \quad (6.33)$$

Оператор Π_{52} осуществляет вывод необходимой информации на печать.

Оператор $Я_{53}$ завершает процесс моделирования.

Для более глубокого анализа реальных ситуаций, с которыми могут столкнуться работники действующих предприятий, и для более точного расчёта таких новых видов производств ещё на стадии их проектирования была

разработана компьютерная программа «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов», защищённая свидетельством об авторских правах [283]. Разработанная программа может быть использована для моделирования работы и определения показателей эффективности поточных производств ремонта вагонов с различной структурой с целью более глубокого изучения, выявления и своевременного устранения различных негативных причин, влияющих на эффективность их работы. Программа внедрена также в учебный процесс и используется студентами при разработке курсовых и дипломных проектов по вагонному хозяйству (приложение Б).

6.5 Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких асинхронных потоков ремонта вагонов при помощи имитационного эксперимента на компьютере

В связи с тем, что гибкие потоки ремонта вагонов в настоящее время присутствуют только в теоретических разработках, необходимо предвидеть, как поведут они себя в период эксплуатации, после того, как будут построены и начнут функционировать. Поэтому очень важно ещё на стадии проектирования уже знать, каких технико-экономических показателей можно ожидать от их работы, и насколько эти показатели будут отличаться от показателей работы традиционных поточных линий ремонта вагонов, используемых в настоящее время. Для решения этой задачи был проведен целый ряд имитационных экспериментов, целью которых явился поиск рациональных структур гибких потоков деповского ремонта вагонов. Под рациональной структурой будем понимать такую структуру, при которой достигается наибольший съём вагонов с одного ремонтного модуля.

Используя описанные в данной главе моделирующие алгоритмы и составленные на их основе программы, попытаемся на конкретных примерах смоделировать различные структурные варианты потоков ремонта вагонов и найти наиболее лучшие из них.

В качестве ремонтируемых вагонов был выбран самый многочисленный тип грузовых вагонов – полувагон. По этому типу вагонов были получены исходные данные.

В результате имитационного моделирования работы потока, вычислялись следующие показатели: пропускная способность вагоноремонтного потока, средний такт потока, среднеквадратическое отклонение такта, среднее время простоя вагонов в ремонте, среднеквадратическое отклонение времени простоя в ремонте, порядковый номер поступления вагона в ремонт и выхода его после ремонта, коэффициенты использования позиций, коэффициенты загрузки позиций, а также другие показатели, необходимые для более глубокого понимания процессов, происходящих во время функционирования потока.

Для имитационного моделирования работы конкретного потока необходимо сначала чётко определиться с его структурой. Будем условно считать, что «длина» потока определяется количеством ремонтных позиций (фаз), а его «ширина» – количеством ремонтных модулей (каналов) на каждой позиции.

Как показали исследования, проведенные на различных уже действующих вагоноремонтных предприятиях, количество ремонтных позиций может находиться в диапазоне от 4 до 12. Следует помнить, что с уменьшением количества позиций объёмы работ, выполняемых на позициях, приходится укрупнять. Чрезмерное же увеличение числа позиций неизбежно приводит к дополнительным перемещениям объектов ремонта. В общем случае количество позиций зависит от принятого технологического процесса ремонта, состава технологического оборудования и комплексов работ, выполняемых на специализированных позициях. На наш взгляд целесообразно иметь на потоке от 5 до 7 позиций. В идеальном случае, конечно, весь технологический процесс желательно распределить между специализированными позициями в равных долях. Но, учитывая специфику работ вагоноремонтного производства, да ещё их вероятностный характер, на практике это осуществить невозможно. Ведь совсем не обязательно, что продолжительности разборочных, сборочных, правильных,

газорезательных, электросварочных, слесарных, тормозных, окрасочных и других работ будут равны.

В качестве исходного варианта для начала моделирования была принята самая простая структура потока, состоящая из шести позиций, с одним ремонтным модулем на каждой позиции. По сути дела, это даже не гибкий поток, а – полужёсткий. Все вагоны, ремонтируемые на таком потоке, имеют один и тот же путь движения. Структурная гибкость такого потока равна единице. Кроме того, поток, состоящий из одного модуля на каждой позиции, не является поликанальным и не позволяет осуществлять «обгоны» между ремонтируемыми вагонами.

В качестве интервала времени моделирования был принят годовой фонд рабочего времени существующего предприятия, работающего в четырёхсменном режиме по графику: «день / ночь / 48», $F_M = 7810$ ч (355 x 11 x 2).

Вся сложность функционирования потока состоит в том, что продолжительность ремонта вагонов на каждой позиции является случайной величиной, зависящей от большого количества различных факторов. В качестве исходных данных для расчёта случайной величины времени выполнения ремонтных работ на каждой позиции были использованы статистические данные, собранные в вагоноборочном участке одного из передовых действующих вагоноремонтных предприятиях (табл. 5.2). На основании этой статистики компьютерная программа определённым образом генерирует случайное время выполнения работ по каждому вагону для каждой позиции. Затем согласно алгоритму моделирования определяется возможность перемещения вагона на один из модулей следующей позиции. Математические ожидания и среднеквадратические отклонения случайной величины времени выполнения работ на позициях представлены в табл. 5.3.

Для того, чтобы проследить тенденцию изменения показателей работы потока с изменением его структуры и выявить зависимости между ними, был использован метод «расширения узких мест». Суть этого метода состоит в

пошаговом добавлении ещё одного модуля (канала) к той позиции, которая имеет наибольшую загрузку и таким образом «тормозит» движение потока.

После добавления очередного модуля к одной из позиций, имеющей наибольший коэффициент загрузки, осуществлялось повторное моделирование работы потока. Затем снова изменялась структура потока путём добавления ещё одного модуля уже к другому «узкому месту», и так далее. После добавления дополнительного модуля к позиции, производительность её увеличивается и пропускная способность её возрастает. Если возрастает пропускная способность бывшего «узкого места», то, естественно, возрастает и пропускная способность всего потока. Однако она возрастает до уровня пропускной способности следующего «узкого места», которое уже теперь будет сдерживать движение потока.

При обычном расчёте потока количество модулей на позициях должно задаваться сразу, исходя из равенства пропускных способностей позиций. В общем случае количество модулей на позиции должно быть пропорционально времени выполнения ремонтных работ на этой позиции.

В нашем же случае, приняв по одному модулю на каждой позиции и используя метод «расширения узких мест», мы хотели наглядно продемонстрировать, как изменяются эксплуатационные показатели потока с изменением его структуры.

Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока представлены в табл. 6.2.

На рис. 6.2 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью.

Таблица 6.2 - Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Количество модулей R	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Пропускная способность N	1398	1686	2325	2604	2682	2876	3694	4099	4286	4674	4965	5926	6249	6377	6975	7357	7518	8741	9172
Структурная гибкость Ψ	1	2	4	6	9	18	36	48	60	80	160	320	384	480	720	840	1008	1512	2268
Съём вагонов с 1 модуля	233	241	291	290	268	261	308	315	306	312	310	349	347	336	349	350	342	380	382
Простой в ремонте T	20,6	18,0	22,6	23,5	23,1	23,8	19,7	19,5	19,6	21,9	23,5	19,7	19,8	22,12	19,1	19,0	20,5	18,2	18,8

Из рис. 6.2 и табл. 6.2–6.3 хорошо видно, что, с увеличением количества модулей на потоке на одну единицу, обязательно увеличивается и его пропускная способность. Вместе с тем, она возрастает по-разному: в одних случаях – на незначительную величину, в других – весьма существенно. Всё зависит от того, насколько совпадают пропускные способности позиций в данном структурном варианте.

Таблица 6.3 - Показатели роста пропускной способности потока в зависимости от количества модулей

№ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной спо- собности потока по сравнению с предыду- щим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базо- вым вариантом	
			Вагоны	%	Вагоны	%
1	6	1398	-	-	-	-
2	7	1686	288	20,60	288	20,60
3	8	2325	639	37,9	927	66,30
4	9	2604	279	12,0	1206	86,26
5	10	2682	78	2,99	1284	91,84
6	11	2876	194	7,23	1478	105,72
7	12	3694	818	28,44	2296	164,23
8	13	4099	405	10,96	2701	193,20
9	14	4286	187	4,56	2888	206,58
10	15	4674	388	9,05	3276	234,33
11	16	4965	291	6,22	3567	255,15
12	17	5926	961	19,35	4528	323,89
13	18	6249	323	5,45	4851	346,99
14	19	6377	128	2,04	4979	356,15
15	20	6975	598	9,37	5577	398,92
16	21	7357	382	5,47	5959	426,25
17	22	7518	161	2,18	6120	437,76
18	23	8741	1223	16,26	7343	525,25
19	24	9172	431	4,93	7774	556,08

Наиболее важным комплексным показателем (критерием), характеризующим эффективность работы потока в целом, является съём вагонов с одного ремонтного модуля. Как можно видеть из табл. 6.3, с

увеличением количества модулей этот показатель имеет тенденцию к увеличению.



Рисунок 6.2 - График зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью

На рис. 6.3 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его структурной гибкостью.



Рисунок 6.3 - График зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его структурной гибкостью

Для того, чтобы определить правильно ли имитационная система отражает процесс функционирования гибкого потока, сравним величину пропускной способности потока, полученную в результате имитационного моделирования, с пропускной способностью реального вагоноремонтного участка. Сравнение должно осуществляться при одном и том же количестве ремонтных мест. Так как в реальном производстве имеется одиннадцать ремонтных мест, то будем сравнивать с тем вариантом структуры гибкого потока у которого также было задано одиннадцать ремонтных модулей. Правда в реальном производстве отсутствуют трансбордерные тележки и перемещение вагонов осуществляется иным способом. Кроме того, нарушается очередность прохождения позиций и не всегда соблюдается специализация позиций – одну и ту же работу производят на разных позициях. Но в целом элементы гибкого потока присутствуют, что даёт основание для сравнения теоретических и практических (экспериментальных) показателей.

При моделировании потока пропускная способность составляет – 2876 вагонов в год. В реальном производстве годовая программа ремонта составляет – 2900 вагонов. Разница составляет 0,5 %, что является довольно хорошим результатом. Таким образом полученные результаты имитационного эксперимента на модели адекватно отражают результаты реального производства. Поэтому будем полагать, что и результаты моделирования остальных структурных вариантов будут также адекватно отражать процесс функционирования перспективных гибких потоков.

Сравним между собой структурные варианты разных типов потоков, полученные путём экспериментов на моделях. Для качества сравнения будем сопоставлять между собой показатели работы только тех вариантов разных типов потоков, которые состоят из одинакового количества модулей. Варианты традиционных потоков будем рассматривать, как простую совокупность отдельных идентичных «полужёстких» потоков независимых друг от друга. В качестве базового варианта потока примем шестипозиционный поток. Поэтому

будем сравнивать варианты разных потоков, состоящих из количества модулей, кратных шести.

Так как базовый шестимодульный поток имеет пропускную способность равную 1398 вагонов в год (табл. 6.2), то можно предположить, что двенадцатимодульный поток (две идентичные поточные линии по шесть модулей каждая) будет иметь пропускную способность равную 2796 вагонов в год (1398×2) и так далее.

В табл. 6.4 представлены результаты моделирования сравниваемых вариантов структур потоков разных типов. Так, например, для двенадцатимодульного варианта гибкого потока пропускная способность увеличивается на 32,1 %, а для двадцатичетырехмодульного – на 64,0 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при одном и том же количестве модулей более эффективным является гибкий ремонтный поток.

Таким образом, путём правильного выбора необходимого количества модулей на позициях, можно добиться высоких технико-экономических показателей работы потока. Пропускная способность всего потока будет зависеть от пропускной способности самых загруженных позиций. В идеальном случае пропускные способности позиций должны быть примерно одинаковыми.

Таблица 6.4 - Сравнительная пропускная способность потоков разных типов

Традиционный поток		Гибкий поток		Рост пропускной способности	
Количество модулей	Пропускная способность	Количество модулей	Пропускная способность	Вагон	%
6	1398	6	-	-	-
12	2796	12	3694	898	32,1
18	4194	18	6249	2055	49,0
24	5592	24	9172	3580	64,0
30	6990	30	11496	4506	64,5
36	8388	36	14191	5803	69,5

Каждый вариант гибкого потока имеет свою индивидуальную структуру. Выбор конкретного маршрута перемещения вагона между модулями позиций зависит от многих случайных факторов. В случае, если при заданной структуре потока $\psi \geq N$, то у каждого конкретного вагона появляется теоретическая возможность иметь свой индивидуальный маршрут перемещения, не совпадающий с маршрутами перемещения остальных вагонов. На рис. 6.4 в качестве примера представлена структурная схема варианта гибкого потока, состоящего из 24-х ремонтных модулей, пропускная способность которого составляет 9172 вагонов в год, а структурная гибкость равна – 2268.

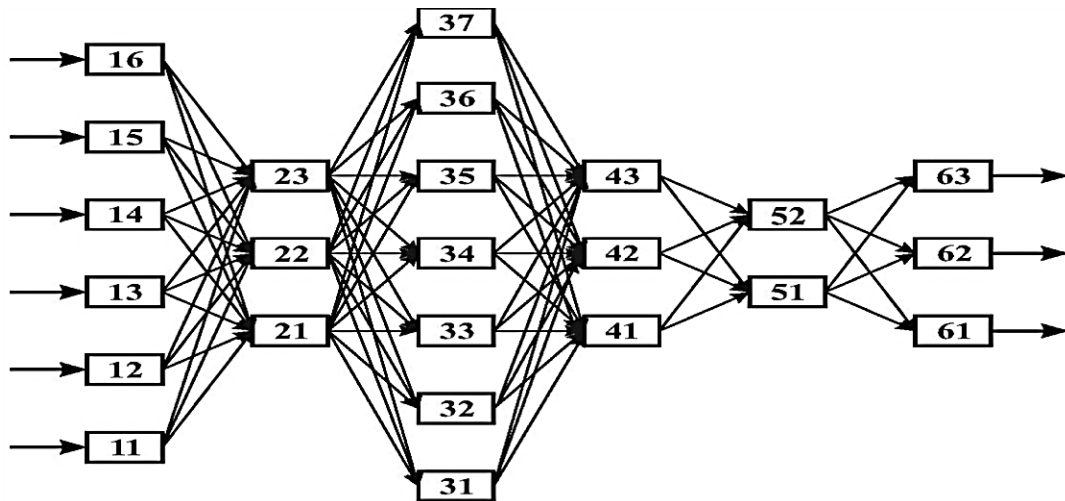


Рисунок 6.4 – Структурная схема варианта гибкого потока, состоящего из 24-х ремонтных модулей

6.6 Анализ преимущества гибких вагоноремонтных потоков в аспекте возможности осуществления «обгонов» между вагонами в процессе ремонта

Как известно, главными стратегическими задачами для вагоноремонтных предприятий являются повышение качества ремонта и рост производительности труда. Реализация последней задачи напрямую зависит от пропускной способности вагоноремонтного потока, которая является результирующим показателем, зависящим от многих составляющих. Поток –

это жёсткая специализация ремонтных позиций для выполнения конкретных работ, расположенных в строгой последовательности в соответствии с технологическим процессом. Продолжительность простоя вагона на каждой позиции в первую очередь зависит от его технического состояния, а уже во вторую – от возможности дальнейшего перемещения на следующую позицию потока.

Одной из основных причин низкой производительности существующих вагоноремонтных предприятий является сложность в организации полноценного поточного метода ремонта вагонов, который учитывал бы все минусы ремонтного производства. А это в первую очередь различная трудоёмкость ремонта вагонов, которая колеблется в очень широких пределах. Аргументированные причины такого колебания представлены в разделе 2. От этого негативного фактора никуда не деться, но его влияние можно значительно ослабить. В «жёстких» поточных системах много рабочего времени непродуктивно расходуется на вынужденные простои просто из-за невозможности дальнейшего перемещения вагонов на следующие позиции по причине того, что они заняты вагонами, на которых работы ещё продолжаются. Причём одна позиция может сдерживать несколько позиций. «Жёсткая» технологическая структура существующих в настоящее время предприятий, обладающая одной степенью свободы и имеющая возможность только одного единственного пути перемещения, этот фактор никак не учитывает. Влияние фактора случайной трудоёмкости можно существенно снизить, если изменить структуру технологического потока. Как показали исследования, самой эффективной формой организации вагоноремонтного производства является асинхронный гибкий поток с независимым перемещением вагонов между ремонтными позициями. Возможность независимого перемещения появляется за счёт создания оригинальной транспортно-технологической структуры участка, позволяющей осуществлять манёвры между вагонами. В результате создания специальной структуры потока появляется возможность придать

движению вагонов две степени свободы. По одной оси координат вагон будет двигаться между позициями, а по другой – вдоль позиций. Это позволит в случае необходимости осуществлять «обгоны» впереди находящихся вагонов и таким образом избегать «пробок».

В результате того, что на каждой позиции размещаются по несколько независимых модулей, то у вагонов появляется возможность перемещения с наименьшими задержками, так как они поступают каждый раз именно на тот модуль следующей позиции, который освободится раньше остальных. Если бы объёмы работ на всех вагонах были одинаковыми, то они двигались бы равномерно, в порядке первоначальной очерёдности. Но так как разная трудоёмкость ремонта оказывает непосредственное влияние на время простоя, то происходит естественная ротация очерёдности перемещения вагонов. Более трудоёмкие вагоны будут замедлять своё «движение», тем самым позволяя «обходить» себя менее трудоёмким вагонам. Таким образом, в процессе ремонта вагонов с объёмами различных форматов в условиях единого потока будет соблюдаться паритет между конкретным объёмом работ на вагоне и временем простоя его в ремонте.

Гибкость системы заключается в том, что она благодаря своей структуре позволяет осуществлять более свободное, относительно независимое перемещение вагонов. Благодаря такому перемещению кардинально сокращается простой вагонов в ремонте и значительно увеличивается пропускная способность потока. Это происходит из-за того, что появляется возможность «обгонов» между вагонами, т. е. вагон может поступить на позицию позже, а покинуть её раньше впереди шедшего вагона. Разные трудоёмкости ремонтных работ по-разному отражаются и на времени простоя на позициях. При «жёстком» же потоке окончание выполнения ремонтных работ на позиции ещё не означает, что этот вагон будет сразу же перемещён на следующую позицию, ведь там может находиться вагон, ремонтные работы на котором завершатся ещё не скоро.

Для того чтобы более подробно разобраться с тем, какие же процессы на самом деле будут происходить внутри потока, был проведён целый ряд имитационных экспериментов с моделями предполагаемых производств. Для этой цели использована разработанная автором специальная программа «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов» (Приложение В, Д).

Целью моделирования было определение количества возможных «обгонов» между вагонами в процессе их перемещения между позициями гибкого потока. Под «обгоном» будем понимать такой порядок следования вагонов, когда вагон, попавший в систему позже, на какой-то позиции обойдёт впереди идущий вагон. Если вагон в процессе перемещения между позициями обогнал только один вагон, то он совершил один обгон, если два вагона, то два «обгона» и т. д. В ходе процесса имитационного моделирования каждому поступившему на первую позицию потока вагону присваивался порядковый номер. Затем программа отслеживала каждый вагон и определяла его порядковый номер уже на выходе. После этого определялась интенсивность его перемещения вдоль позиций потока: он двигался с «опережением», с «отставанием» или «в порядке очереди». Если вагон поступил в ремонтную систему, например, под номером 824, а покинул её под номером 819, то это говорит о том, что он обогнал 5 вагонов ($824-819=5$), а если он покинул систему, например, под номером 827, то это говорит о том, что в процессе ремонта его обогнали 3 вагона ($824-827=-3$), а сам он отстал. Исходные данные по случайному времени выполнения работ на позициях были взяты из раздела 5.

Основные показатели функционирования таких вагоноремонтных потоков значительно улучшаются за счёт возможности осуществления «обгонов» между вагонами, так как их структуры позволяют избежать значительного количества «пробок», возникающих в результате отсутствия свободных мест на следующей позиции для вагонов, на которых ремонтные

работы на предыдущих позициях уже закончены. Количество «обгонов», приходящихся в среднем на одну ремонтную позицию или на один ремонтный модуль, является важным дополнительным показателем, характеризующим эффективность принятой структуры гибкого потока.

Создание новых структурных вариантов осуществлялось путём расширения «узких мест», т. е. добавлялся ещё один модуль к самой загруженной позиции. Моделирование начиналось со структуры потока, имеющего по одному модулю на каждой позиции.

В ходе имитационного моделирования определялась наиболее загруженная позиция («узкое место») потока. Затем количество ремонтных модулей на ней увеличивалось на единицу, тем самым изменяя структуру потока, и дальнейшее моделирование продолжалось уже с новой структурой.

В табл. 6.5 представлены результаты имитационного моделирования работы шестипозиционного потока с различной структурой. Здесь выделены те позиции, которые при данном структурном варианте являются «узким местом» и подлежат расширению (добавлению ещё одного модуля) на следующем этапе имитационного моделирования.

Структуры гибких потоков позволяют осуществлять многовариантный сценарий перемещения вагонов потому, что появляются реальные возможности для такого перемещения вагонов.

Результаты движения вагонов при различных структурных вариантах гибкого потока представлены в табл. 6.6.

То, что происходят «обгоны» между вагонами, свидетельствует о том, что у гибких потоков действительно есть возможность независимого перемещения.

На рис. 6.5 показана зависимость между общим количеством «обгонов» между вагонами, приходящимся на один модуль, и количеством модулей на потоке.

Таблица 6.5 - Различные структуры потоков и показатели их функционирования

Номер варианта	Количество модулей на позиции						Всего модулей	Пропускная способность	Съём вагонов с одного модуля	Структурная гибкость	Количество вагонов, приходящихся	
	I	II	III	IV	V	VI					на один маршрут	на один «обгон»
1	1	1	1	1	1	1	6	1398	233	1	1398,00	-
2	1	1	2	1	1	1	7	1686	241	2	843,00	7,39
3	2	1	2	1	1	1	8	2325	291	4	581,25	3,50
4	2	1	3	1	1	1	9	2604	289	6	434,00	2,73
5	3	1	3	1	1	1	10	2682	268	9	298,00	2,54
6	3	1	3	1	1	2	11	2876	261	18	159,78	2,01
7	3	1	3	2	1	2	12	3694	308	36	102,61	1,33
8	3	1	4	2	1	2	13	4099	315	48	85,40	1,16
9	3	1	5	2	1	2	14	4286	306	60	71,43	1,08
10	4	1	5	2	1	2	15	4674	312	80	58,43	0,98
11	4	2	5	2	1	2	16	4965	310	160	31,03	0,88
12	4	2	5	2	2	2	17	5926	349	320	18,52	0,68
13	4	2	6	2	2	2	18	6249	347	384	16,27	0,65
14	5	2	6	2	2	2	19	6377	336	480	13,29	0,64
15	5	2	6	2	2	3	20	6975	349	720	9,69	0,57
16	5	2	7	2	2	3	21	7357	350	840	8,76	0,55
17	6	2	7	2	2	3	22	7518	342	1008	7,46	0,52
18	6	2	7	3	2	3	23	8741	380	1512	5,78	0,44
19	6	3	7	3	2	3	24	9172	382	2268	4,04	0,43
20	6	3	8	3	2	3	25	9233	369	2592	3,56	0,43
21	6	3	8	3	3	3	26	9781	376	3888	2,52	0,40
22	7	3	8	3	3	3	27	10403	385	4536	2,29	0,38
23	7	3	8	3	3	4	28	10687	382	6048	1,77	0,36
24	7	3	9	3	3	4	29	11138	384	6804	1,64	0,34
25	8	3	9	3	3	4	30	11496	383	7776	1,48	0,34
26	8	3	10	3	3	4	31	11864	383	8640	1,37	0,32
27	9	3	10	3	3	4	32	12095	378	9720	1,24	0,32
28	9	3	11	3	3	4	33	12216	370	10692	1,14	0,31
29	9	3	11	4	3	4	34	13586	400	14256	0,95	0,29
30	10	3	11	4	3	4	35	13735	392	15840	0,87	0,28
31	10	3	11	4	3	5	36	14191	394	19800	0,72	0,27
32	10	3	11	5	3	5	37	14640	396	24750	0,59	0,26
33	10	3	12	5	3	5	38	15012	395	27000	0,56	0,25

Таблица 6.6 - Результаты движения вагонов при различных структурных вариантах потока

Номер варианта	Всего модулей	Пропускная способность	Съём вагонов с одного модуля	Структурная гибкость	Показатели движения вагонов по потоку			
					Всего «обгонов» по всем позициям	Вышли с «опережением»	Вышли с «отставанием»	Двигались равномерно
1	6	1398	233	1	0	0	0	1398
2	7	1686	241	2	228	228	228	1230
3	8	2325	291	4	665	610	501	1214
4	9	2604	289	6	953	806	680	1118
5	10	2682	268	9	1056	863	706	1113
6	11	2876	261	18	1433	1105	870	901
7	12	3694	308	36	2776	1773	1136	785
8	13	4099	315	48	3532	2098	1333	668
9	14	4286	306	60	3955	2229	1447	610
10	15	4674	312	80	4751	2361	1631	682
11	16	4965	310	160	5655	2612	1771	582
12	17	5926	349	320	8701	3200	2141	585
13	18	6249	347	384	9584	3431	2236	582
14	19	6377	336	480	10037	3437	2326	614
15	20	6975	349	720	12254	3845	2498	632
16	21	7357	350	840	13410	4067	2628	662
17	22	7518	342	1008	14342	4131	2797	590
18	23	8741	380	1512	19703	4946	3206	589
19	24	9172	382	2268	21386	5252	3348	572
20	25	9233	369	2592	21241	5219	3402	612
21	26	9781	376	3888	24749	5594	3569	618
22	27	10403	385	4536	27697	5937	3847	619
23	28	10687	382	6048	29799	6074	3978	635
24	29	11138	384	6804	32299	6379	4150	609
25	30	11496	383	7776	34216	6547	4310	639
26	31	11864	383	8640	36597	6836	4455	573
27	32	12095	378	9720	37686	6884	4608	603
28	33	12216	370	10692	39027	7069	4585	562
29	34	13586	400	14256	47666	7903	5100	583
30	35	13735	392	15840	48847	8105	5091	539
31	36	14191	394	19800	52365	8246	5349	596
32	37	14640	396	24750	56174	8535	5536	569
33	38	15012	395	27000	59648	8818	5652	542

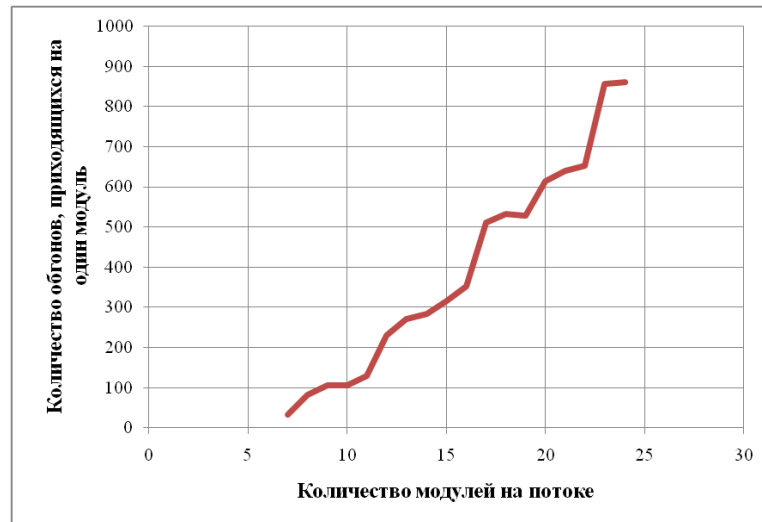


Рисунок 6.5 - График зависимости количества «обгонов», приходящихся на один модуль, от количества модулей на потоке

Для возможности более глубокого исследования процессов, происходящих на позициях потока, по каждому варианту был произведен детальный анализ перемещения вагонов. В табл. 6.7 на примере варианта 12 представлены уточнённые данные по количеству «обгонов» между вагонами, полученные в результате имитационного моделирования перемещения вагонов по потоку.

Результаты имитационного моделирования наглядно свидетельствуют о том, что с увеличением гибкости потока увеличивается количество «обгонов» между вагонами, что в свою очередь незамедлительно приводит к сокращению времени пребывания вагонов в ремонте и увеличению пропускной способности. Хорошо видно, что структуры гибких потоков позволяют в условиях нестабильности объёмов работ осуществлять перемещение вагонов со свободным тактом и возможностью опережения ранее поступивших вагонов с повышенной трудоёмкостью, что благоприятно сказывается на увеличении пропускной способности потока.

Таким образом, ещё раз подтверждается мысль о том, что гибкие потоки представляют собой более совершенную форму организации вагоноремонтного

производства и поэтому от их успешного внедрения в жизнь во многом зависит перспектива развития всего вагонного хозяйства в целом.

Таблица 6.7 - Результаты движения вагонов по потоку с гибкой структурой

Кол-во вагонов, которые вышли с «отставанием»	Величина «отставания» (вагонов)	Всего отставаний	Кол-во вагонов, которые вышли с «опережением»	Величина «опережения» (вагонов)	Всего опережений
508	1	508	690	1	690
391	2	782	834	2	1668
313	3	939	798	3	2394
209	4	846	543	4	2172
180	5	900	247	5	1235
166	6	996	74	6	444
91	7	637	14	7	98
72	8	576			
51	9	459			
33	10	330			
26	11	286			
30	12	360			
17	13	221			
11	14	154			
12	15	180			
11	16	176			
9	17	153			
5	16	80			
3	19	57			
2	20	40			
1	21	21			
Σ 2141		Σ 8701	Σ 3200		Σ 8701

Исследования показали, что в результате поэтапного изменения структуры потока в ней начинают появляться новые возможности, благоприятно влияющие на протекание технологического процесса при функционировании потока и позволяющие «сглаживать» вероятностную природу ремонтного производства. В результате таких преобразований значительно возрастает пропускная способность потоков и сокращается простой вагонов в ремонте.

К новым возможностям относятся, например, такие возможности, как «обгоны» между вагонами, выбор варианта пути перемещения. Традиционные поточные линии такими возможностями не обладают, что делает их очень уязвимыми к различным случайным факторам, оказывающим большое влияние на ход протекания технологического процесса ремонта вагонов, что в конечном счёте отражается на их технико-экономических показателях.

6.7 Выводы по разделу 6

1. Разработаны алгоритмы моделирования работы гибких потоков с различной структурой. Алгоритмы построены на основании функционирования отдельных кусочно-линейных агрегатов, которые увязаны в единую технологическую систему. Представлены блок-схемы алгоритмов и описаны работы отдельных операторов.

2. На основании моделирующих алгоритмов автором разработана специальная программа «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов», на которую автором получено Свидетельство о регистрации авторского права на произведение.

3. Проведены теоретические исследования по анализу работы гибких потоков с различной структурой. Функционально-морфологический анализ проводился при помощи имитационного моделирования методом «расширения узких мест». Первоначально на каждой позиции находилось только по одному модулю. После проведения моделирования определялась самая загруженная

позиция и к ней добавлялся еще один модуль. Моделирование затем продолжалось. Пропускная способность потока при этом возрастала. Затем снова определялась самая загруженная позиция и так далее.

4. После сравнения результатов моделирования можно сделать вывод, что пропускная способность поточных ремонтных сетей по сравнению с «жесткими» поточными линиями при одном и том же количестве модулей увеличивается на 50–70 %, в зависимости от структуры потока. Это говорит о явном преимуществе такой формы организации ремонта подвижного состава.

5. На основании данных, полученных в результате моделирования, можно сделать вывод, что преимущества гибких потоков для ремонта вагонов начинают проявляться уже на начальных стадиях наращивания дополнительных модулей на позициях. Но наиболее ярко преимущества гибких потоков проявляются при значительном количестве модулей, так как для эффективного их функционирования нужен определенный «простор», чтобы было где «развернуться», была бы возможность для маневра. Целесообразная величина программы ремонта должна находиться в диапазоне от 6000 до 9000 вагонов в год.

6. Полученные результаты свидетельствуют о том, что принятые в настоящее время «классические» поточные линии для ремонта вагонов, являются далеко не лучшим решением, так как не учитывают вероятностную природу ремонтного производства.

7. Данные результаты должны быть учтены при проектировании новых перспективных предприятий для ремонта вагонов, а также при реконструкции или расширении существующих предприятий, с целью перевода их на гибкий поток.

РАЗДЕЛ 7

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И НАУЧНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ

7.1 Факторы, влияющие на рост производительности труда

Качество функционирования сложных производственных систем как правило оценивают с использованием таких понятий, как эффективность, показатель эффективности, критерий эффективности, оптимальная система [51].

Эффективность – это степень соответствия системы своему назначению. Из нескольких возможных систем более эффективной считается та, которая лучше соответствует своему назначению.

Показатель эффективности (качества) – это мера одного свойства в численном выражении. К показателям эффективности могут относиться, например, производительность, надёжность, занимаемая площадь, стоимость.

Критерий эффективности – это мера эффективности производственной системы в целом.

Оптимальная система – это система, которой соответствует максимальное (минимальное) значение критерия эффективности на множестве реальных вариантов построения систем.

Среди факторов, влияющих на эффективность производства, одно из важнейших мест отводится росту производительности труда. Применительно к вагонному хозяйству это хорошо показано в работах [160, 244, 357].

Суть роста производительности труда заключается в том, что доля живого труда в производстве продукции сокращается, а доля овеществлённого труда (материалы, электроэнергия, топливо) увеличивается. При этом общая сумма затрат труда, использованная для производства изделия, снижается.

Основная мера функциональной полезности и эффективности потока – его **производительность**, а гарантия достижения высокой эксплуатационной

производительности – надежность технологического оборудования и правильно выбранная структура потока.

В общем, под производительностью технологического потока следует понимать способность его перерабатывать или выпускать то или иное количество продукции за определенный промежуток времени. Как правило, различают три вида производительности: техническую $P_{\text{техн}}$, теоретическую $P_{\text{теор}}$ и эксплуатационную $P_{\text{эксп}}$.

Техническая производительность характеризует технические возможности потока, обусловленные технологическим процессом и конструкцией оборудования. При определении технической производительности принимают в расчет количество переработанной или выпущенной продукции, длительность непосредственной работы оборудования, а также дополнительные затраты рабочего времени, необходимые для успешного функционирования оборудования. Дополнительные затраты зависят от конструкционных особенностей оборудования, они предусмотрены технической документацией и учитывают наличие регламентированных возвратных отходов, дефектной продукции и потерь сырья, а также необходимость дополнительных затрат времени на выполнение вспомогательных операций и обслуживание оборудования.

Техническая производительность – главный технико-экономический показатель технологического оборудования. По значению этого показателя, прежде всего, решают вопрос, можно ли использовать конкретное технологическое оборудование в составе проектируемого потока. При создании нового потока значение технической производительности устанавливает заказчик, и она указывается в исходных требованиях и техническом задании. По значению этой производительности при проектировании потока необходимо рассчитать **теоретическую производительность** как генерального потока в целом, так и его составных участков.

Теоретическую производительность рассчитывают по количеству переработанной или выпущенной продукции за период непосредственной работы оборудования без учета дополнительных затрат сырья и рабочего времени. *Теоретическая производительность* – важнейшая характеристика любой конструкции. Поэтому в процессе разработки линии важно проанализировать взаимосвязь между заданной технической производительностью и проектируемой, теоретической производительностью.

Эксплуатационная производительность поточной линии определяется эксплуатационной производительностью последнего участка или последней позиции, которые помимо собственных простоев могут иметь простои, вызванные простоями предыдущих позиций потока.

В поточных линиях с жёсткой связью между позициями продолжительность простоя всей линии равна продолжительности самого длительного простоя одной из позиций.

Для предприятий вагонного хозяйства принято определять производительность по эффективности живого труда, а экономия овеществлённого труда проявляется в величине себестоимости продукции.

Развитие производства может осуществляться за счёт использования достижений научно-технического прогресса в виде более производительного оборудования, инструментов, материалов, инновационных технологических процессов.

Высокая экономическая эффективность поточного производства находит свое обобщающее выражение в относительно более низкой себестоимости продукции. Снижение трудоемкости изделий в поточном производстве обуславливает соответствующее уменьшение доли производственной зарплаты в себестоимости единицы продукции. Расходы хотя и возрастают по абсолютной своей величине в связи с повышением технического и организационного уровня производства, но по относительной величине на единицу продукции уменьшаются вследствие значительного увеличения

общего выпуска продукции. Сокращаются также затраты на основные материалы в себестоимости единицы продукции, что является результатом уменьшения отходов материалов благодаря более совершенному технологическому процессу. Сокращение потерь от брака приводит также к снижению себестоимости единицы продукции. Таким образом, себестоимость продукции в поточном производстве снижается по главнейшим ее составляющим.

Рост производительности труда зависит от целого ряда факторов, которые можно условно разбить на три группы:

- **материально-технические**, зависящие от уровня развития и степени использования средств производства (орудий труда), новых технологий, материалов, сырья и энергоресурсов;

- **организационно-экономические**, регламентирующие научную организацию производства, управления и труда;

- **социально-психологические**, зависящие от квалификации работников, их состава, условий труда, трудовой дисциплины, уровня производственной культуры, оплаты труда, морально-психологического климата в коллективе, состояния условий быта.

Рост производительности труда на вагоноремонтных предприятиях может проявляться в следующих видах:

- увеличения объёма продукции, выпускаемой в единицу времени при неизменном её качестве;

- повышения качества продукции при неизменном её объёме, создаваемой в единицу времени;

- сокращения затрат труда на единицу выпускаемой продукции;

- сокращение материалоемкости продукции;

- сокращение энергоёмкости продукции;

- уменьшения доли затрат труда в себестоимости продукции;

- сокращения времени производственного цикла.

Производительность гибкого потока представляет собой комплексный показатель, учитывающий технические, технологические, организационные, социальные, экономические показатели. Для гибкого потока следует рассматривать производительность в двух аспектах: в виде производительности труда работников и оборудования на отдельных позициях и в виде пропускной способности потока в целом.

Производительность труда ПТ – довольно ёмкое экономическое понятие. Согласно [100], основную формулу производительности труда в общем виде можно представить следующим образом

$$ПТ = \frac{\text{Выпуск}}{\text{Затраты}},$$

где Выпуск – объём выпущенной продукции;

Затраты – затраты живого труда, капиталовложения, текущие материальные затраты, услуги со стороны.

Таким образом, производительность труда является интегрированным показателем, зависящим от всевозможных используемых ресурсов.

В зависимости от используемого ресурса может быть получено несколько значений производительности труда. Теоретически число таких показателей равно количеству ресурсов. Как правило, на практике чаще всего используют три частных показателя

$$ПТ = \frac{\text{Объем продукции}}{\text{Затраты живого труда}},$$

$$ПТ = \frac{\text{Объем продукции}}{\text{Затраты основного капитала}},$$

$$ПТ = \frac{\text{Объем продукции}}{\text{Текущие материальные затраты}}.$$

Таким образом, величина производительности труда прямо пропорциональна объёму выпущенной продукции. А объём выпущенной

продукции, например, для вагоноремонтного предприятия напрямую зависит от пропускной способности потока.

Учитывая, что пропускная способность гибкого асинхронного потока ремонта вагонов примерно на 50–70 % выше пропускной способности потока «жёсткого» типа при прочих равных условиях, то можно сделать вывод, что гибкие потоки являются более производительными, а, следовательно, и более эффективными.

Одним из возможных методов повышения эффективности вагоноремонтных предприятий могла бы стать интеграция вагоносборочного и вагоноремонтного производства в единое целое. Было бы целесообразно, если бы и ремонт вагонов занималось бы то же предприятие, которое их производит. Тогда бы строители уделяли бы больше внимание конструкции вагонов с точки зрения её ремонтпригодности. Особенно ярко этот синтез мог бы проявить себя именно при гибких многопредметных асинхронных потоках. К тому же в период временного отсутствия необходимого количества объектов ремонта предприятие могло бы переключаться на сборку новых вагонов на тех же самых площадях.

7.2 Техничко-экономическое обоснование создания новых вагоноремонтных предприятий с гибким асинхронным потоком ремонта подвижного состава

В методиках по определению экономической эффективности под новой техникой принято понимать: новые средства труда (оборудование, машины, устройства), новые предметы труда (материалы, энергию, топливо), новую технологию и организацию производства. В нашем случае речь идёт об организационно-технических мероприятиях, применение которых обеспечивает получение определённого экономического эффекта.

Согласно [355, 356] годовой экономический эффект может быть определён по формуле

$$\mathcal{E} = (Z_0 - Z_2)N_2, \quad (7.1)$$

где \mathcal{E} – экономический эффект от использования гибкой технологии ремонта подвижного состава;

Z_0 и Z_2 – приведенные затраты на ремонт вагонов по базовому и гибкому варианту;

N_2 – программа ремонта подвижного состава по гибкому варианту.

Чтобы точно определить сумму капитальных вложений в новый объект, нужно полностью разработать проект депо. Учитывая, что проекты новых депо в последнее время практически не разрабатываются, расчёт произведём по упрощённому методу. При сравнении вариантов, например, для вагоноремонтного участка, использующих традиционный поток или гибкий поток, будем учитывать только те дополнительные затраты, которые, собственно, и обеспечивают организационно-технологическую гибкость. При сравнении различных вариантов потоков при прочих равных показателях целесообразно в качестве критерия использовать количество отремонтированных вагонов, приходящихся на один модуль.

Будем считать, что текущие затраты на ремонт одного вагона (расход материалов, запчастей, энергоресурсов и т. п.) не зависят от принятой организации ремонта и определяются только его техническим состоянием.

Известно, что при гибком потоке возрастает стоимость строительства депо. Определим, насколько этот рост оправдывает увеличение пропускной способности потока.

Дополнительные капитальные затраты на строительство вагоноремонтного участка с учётом гибкой технологии определяются следующим образом

$$K_{\Gamma} = K_{CMP} + K_{TO}, \quad (7.2)$$

где $K_{смп}$ – дополнительные капитальные затраты на строительные-монтажные работы;

$K_{то}$ – дополнительные капитальные затраты на технологическое оборудование.

При сравнении показателей будем исходить из одного и того же количества ремонтных модулей на потоке, например, 24. При этом, согласно нормам [238], укрупнённая площадь одного ремонтного места (модуля) при традиционном варианте организации потока принимается равной 180 м^2 . При организации гибких потоков с учётом появления дополнительных площадей для перемещения транспортных агрегатов, площадь, приходящаяся на один модуль, будет составлять примерно 280 м^2 . Таким образом, на один ремонтный модуль вагоноремонтного участка, работающего по гибкой технологии, необходима дополнительная площадь, равная 100 м^2 ($280 - 180 = 100$). Для 24 модулей необходима дополнительная площадь, равная 2400 м^2 ($24 \times 100 = 2400$). Исходя из стоимости 1 м^2 предприятий подобного типа, равной 500 дол., стоимость дополнительной площади составит 1,2 млн дол.

Дополнительная стоимость двух транспортных агрегатов, которые будут использованы для перемещения вагонов, составит примерно 200 тыс. дол.

Тогда общие дополнительные капитальные затраты на строительство вагоноремонтного участка составят $K_r = 1,2 + 0,2 = 1,4$ млн дол.

Разница в текущих затратах на техническое обслуживание и ремонт обычных грузоведущих конвейеров и транспортных агрегатов будет отличаться не на много, поэтому ими можно пренебречь.

Используя результаты имитационного моделирования (табл. 6.2), сравним пропускные способности традиционного потока и гибкого. Для традиционного (базового) потока при 6 ремонтных модулях пропускная способность составляет 1398 вагонов в год (табл. 6.4). Для потока, состоящего из 24-х ремонтных модулей (четыре ремонтные «нитки» по шесть позиций),

пропускная способность будет составлять в четыре раза больше $N_6 = 1398 \times 4 = 5592$ вагона в год. Для 24-модульного гибкого потока пропускная способность составляет $N_2 = 9172$ вагона в год (табл. 6.4).

При увеличении базовой стоимости традиционного вагонного депо (20,0–25,0 млн дол.), в связи с использованием гибкого ремонтного потока, на 1,4 млн дол. (5–7 % от базовой стоимости депо), пропускная способность (производительность) вагоноремонтного участка вырастет примерно на 50–70 %. Каждый дополнительно отремонтированный вагон позволит депо получить дополнительный доход.

Общий ежегодный экономический эффект от внедрения разработанных автором технологий на одном вагоноремонтном предприятии позволит получать ежегодно дополнительную прибыль в размере 35 млн грн при программе ремонта 9100 вагонов.

Определим экономическую эффективность от внедрения предлагаемых научно-технических решений.

Экономическая эффективность – это соотношение полезного результата (эффекта), выраженного в стоимостном эквиваленте, с расходами, которые обусловили его получения.

Оценка эффективности реальных инвестиционных проектов должна осуществляться на основе сопоставления объема инвестиционных затрат, с одной стороны, и сумм и сроков возврата инвестированного капитала, с другой. Это общий принцип формирования системы оценочных показателей эффективности, в соответствии с которым результаты любой деятельности должны быть сопоставимы с расходами (примененными ресурсами) на ее осуществление.

Оценка объема инвестиционных затрат должна охватывать всю совокупность используемых ресурсов, связанных с реализацией проекта.

При оценке эффективности реальных инвестиций величина эффекта (возврат инвестированного капитала) оценивается на основе показателя

"денежный поток" [cash flow(CF)]. Этот показатель отражает разницу между поступлением и выбытием денежных средств (или финансовых ресурсов в других формах) на предприятие, формируется как следствие инвестирования. Он определяется как сумма чистой прибыли и амортизационных отчислений.

В процессе оценки эффективности суммы денежного потока и инвестиций должны быть приведены к текущей стоимости путем дисконтирования. Для оценки эффективности инвестиций используется система показателей.

В зависимости от метода учета фактора времени в осуществлении инвестиционных затрат и получении обратной денежного потока все показатели эффективности делятся на две группы - динамические (дисконтные) и статические (бухгалтерские).

Показатели оценки эффективности реальных инвестиционных проектов, основанные на учетных методах расчета, предусматривают обязательное дисконтирование затрат и доходов по отдельным интервалам жизненного цикла инвестиций. В то же время показатели оценки, основанные на статических методах расчета, предусматривают использование в расчетах бухгалтерских данных об инвестиционных расходах и доходах без их дисконтирования.

К динамическим показателям относятся:

- Чистая текущая стоимость или чистый дисконтированный доход (NPV);
- Индекс доходности (DPI)
- Динамический период окупаемости (PBP)
- Внутренняя норма дохода (IRR).

К статическим показателям относят:

- Коэффициент рентабельности инвестиций;
- Статический период окупаемости.

В современной инвестиционной практике динамические показатели эффективности реальных проектов являются преобладающими.

Поскольку в данном случае задача заключается в выборе лучшего варианта строительства вагонного депо, в качестве показателя эффективности используется внутренняя норма дохода. Это позволяет избежать сложной процедуры точного определения ставки дисконта.

Внутренняя норма дохода характеризует уровень доходности инвестиционного проекта, который выражается ставке дисконта, по которой будущая стоимость денежного потока приводится к текущей стоимости инвестиционных расходов. Внутреннюю норму доходности можно охарактеризовать и как ставку дисконта, по которому чистая текущая стоимость равна нулю. Расчет этого показателя осуществляется решением уравнения

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + R_{IRR})^t} - \sum_{t=0}^T \frac{I_t}{(1 + R_{IRR})^t} = 0, \quad (7.3)$$

где R_{IRR} – внутренняя норма дохода;

CF_t – денежный поток интервала t ;

I_t – инвестиции интервала t ;

T – продолжительность жизненного цикла инвестиций.

Проект является эффективным если внутренняя норма дохода выше ставки дисконта, то есть минимальной приемлемой для инвестора нормы дохода при вложении капитала в рассматриваемый проект.

Если суммы денежного потока одинаковы по интервалам частую жизненного цикла и вложения капитала осуществляется однократного в начале жизненного цикла, уравнение для определения внутренней нормы дохода может быть упрощено до вида

$$CF \cdot \frac{1 - (1 + R_{IRR})^{-T}}{R_{IRR}} - I = 0. \quad (7.4)$$

Исходными данными для определения внутренней нормы дохода по

вариантам строительства вагонного депо являются:

- продолжительность жизненного цикла проекта: 20 лет;
- годовая программа ремонта: для традиционного потока (1-й вариант) – 5592 вагона, для гибкого потока (2-й вариант) – 9 172 вагона;
- капитальные вложения: 1-й вариант – 20000 тыс. дол.; 2-й вариант – 21400 тыс. дол.;
- плановая себестоимость ремонта одного вагона для традиционного потока: 1,37 тыс. дол.;
- доля переменных затрат в себестоимости ремонта при традиционном потоке 0,7;
- стоимость услуг по ремонту вагона для обоих вариантов: 1,78 тыс. дол. без НДС.

Расчеты по приведенным исходным данным позволяют установить величины показателей для двух вариантов депо.

Доходы от реализации услуг по ремонту:

1-й вариант

$$1,78 \cdot 5592 = 9954 \text{ тыс. дол.}$$

2-й вариант

$$1,78 \cdot 9172 = 16326 \text{ тыс. дол.}$$

Переменные расходы

1-й вариант

$$1,37 \cdot 0,7 \cdot 5592 = 5363 \text{ тыс. дол.}$$

2-й вариант

$$1,37 \cdot 0,7 \cdot 9172 = 8796 \text{ тыс. дол.}$$

Условно-постоянные расходы

1-й вариант

$$1,37 \cdot (1 - 0,7) \cdot 5592 = 2298 \text{ тыс. дол.}$$

2-й вариант

$$2298 \cdot \frac{21400}{20000} = 2459 \text{ тыс. дол.}$$

Чистая прибыль (при ставке налога на прибыль 16 %):

1-й вариант

$$(9954 - 5363 - 2298) \cdot (1 - 0,16) = 1926 \text{ тыс. дол.}$$

2-й вариант

$$(16326 - 8796 - 2459) \cdot (1 - 0,16) = 4260 \text{ тыс. дол.}$$

Денежный поток за год:

1-й вариант

$$1926 + \frac{20000}{20} = 2926 \text{ тыс. дол.}$$

2-й вариант

$$4260 + \frac{21400}{20} = 5330 \text{ тыс. дол.}$$

Внутренняя норма дохода определяется решением уравнения.

Для 1-го варианта

$$2926 \cdot \frac{1 - (1 + R_{IRR})^{-20}}{R_{IRR}} - 20000 = 0.$$

Для 2-го варианта

$$5330 \cdot \frac{1 - (1 + R_{IRR})^{-20}}{R_{IRR}} - 21400 = 0.$$

В результате решения уравнений установлено, что внутренняя норма дохода для 1-го варианта равна 13,4 %, а для 2-го варианта – 24,6 %.

Таким образом, величина внутренней нормы дохода при гибком потоке значительно (на 83,5 % или на 11,2 процентных пунктов) выше, чем при традиционном потоке, что свидетельствует о существенно большей экономической эффективности предложенной технологии.

Таким образом доказано, что не только технические, но и экономические преимущества гибких поточных технологий очевидны. Более детальный расчёт может быть осуществлён на стадии разработки проекта для строительства конкретного вагонного депо или предприятия по ремонту подвижного состава.

7.3 Выводы по разделу 7

1. Описаны и проанализированы основные факторы, влияющие на рост производительности труда вагоноремонтных предприятий, а также сформулированы рекомендации по адаптации гибких поточных технологий для ремонта подвижного состава железных дорог.

2. При сравнении различных вариантов потоков при прочих равных показателях рекомендовано в качестве критерия оценки использовать количество отремонтированных вагонов, приходящихся на один модуль, который дает возможность комплексно учесть все основные особенности применяемых поточных технологий ремонта.

3. Техничко-экономические расчеты показывают, что капитальные вложения при применении гибкой поточной технологии для ремонта вагонов в зависимости от количества ремонтных модулей увеличиваются всего на 5 –7 % от общей стоимости объекта, а пропускная способность при этом возрастает на 50 – 70 %. Таким образом, в работе доказаны не только технические, но и экономические преимущества гибких поточных технологий при ремонте подвижного состава железных дорог.

4. Рассчитаны экономические показатели деятельности модернизированного вагоноремонтного предприятия. Общий ежегодный экономический эффект от внедрения разработанных автором технологий на одном вагоноремонтном предприятии позволит получать ежегодно дополнительную прибыль в размере 35 млн грн (при курсе валют 25 грн/дол. это составит 1,4 млн дол. США) для программы ремонта 9100 вагонов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе получили дальнейшее развитие научные основы создания гибких поточных технологий ремонта подвижного состава, которые представлены в виде понятийно-терминологического аппарата, методологического императива и методологического инструментария. При этом решена важная научно-прикладная проблема, которая существует при поточном ремонте подвижного состава железнодорожного транспорта и связана с противоречием между регламентированным тактом поточной линии и значительными колебаниями времени выполнения ремонтных работ на позициях, что постоянно приводит к сбою такта поточной линии и вынужденному простоям технологического оборудования и исполнителей на позициях. Эта проблема может быть решена с помощью создания гибких поточных технологий, но такие системы представляют новое направление в ремонте подвижного состава, которые ранее ни теоретически, ни практически не были изучены и остро требовали разработки методов их создания и исследования. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований были получены новые данные и предложены новые решения, благодаря которым исчезает вышеназванная проблема и появляется возможность более эффективного функционирования поточных вагоноремонтных технологий, поскольку за счет изменения организационно-структурных решений потоков существенно возрастает их пропускная способность, сокращается простой вагонов в ремонте и увеличивается снятие вагонов с одного ремонтного места. На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен комплексный анализ научных исследований и технических решений по организации поточного метода ремонта подвижного состава, который свидетельствует о том, что поточный метод – это не просто одна из форм организации технологического процесса, а закономерный результат

эволюции производственных систем. На сегодня альтернативы поточному методу производства нет. Поток наилучшим образом позволяет объединить в единое целое и распределить во времени и в пространстве средства труда, предметы труда и сам труд, создавая при этом комбинации, позволяющие обеспечивать высокие технико-экономические показатели производства. При этом специфика вагоноремонтного производства имеет свои особенности и связана главным образом с неопределенностью продолжительности технологического процесса. В работе доказано, что должны быть использованы такие технологические решения, которые позволяют адаптировать поточный метод к вероятностной природе ремонтного производства.

2. Проведены экспериментальные исследования по определению параметров ремонта вагонов, проанализирован статистический материал по трудоемкостям деповского ремонта полувагонов по основным видам работ и подготовлены исходные данные для моделирования ремонтных процессов на потоке. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что трудоемкости ремонта вагонов являются случайными величинами, которые имеют достаточно широкий разброс. Так, трудоемкости газорезательных работ на полувагонах могут отличаться друг от друга в 34,5 раза, трудоемкости электросварочных работ – в 6,4 раза, трудоемкости слесарных работ – в 4,1 раза.

3. Проведен комплексный анализ других возможных причин, влияющих на колебание времени выполнения ремонтных работ на позициях потока, кроме трудоемкости. К этим причинам можно отнести прежде всего человеческий фактор: работоспособность исполнителей, их профессиональные качества, психоэмоциональное состояние, а также организационно-технические и организационно-технологические факторы производства. Наличие этих факторов также подтверждает целесообразность использования асинхронного такта при перемещении вагонов между позициями.

4. Выполнен структурно-параметрический анализ вариантов построения гибких вагоноремонтных потоков с учетом получения максимальной структурной гибкости для определенного варианта. Предложены приемы рационального соединения участков генерального вагоноремонтного потока между собой и приведены формулы расчета его структурной гибкости. Тем самым доказано преимущество гибких вагоноремонтных потоков в аспекте их способности иметь значительное количество возможных сценариев перемещения вагонов вдоль всех позиций потока. Если традиционные вагоноремонтные потоки имеют только один маршрут перемещения вагонов, то гибкие потоки могут иметь несколько тысяч возможных маршрутов перемещения вагонов, что существенно влияет на пропускную способность гибких потоков.

5. На основании матрицы взаимодействия подразделений и моделей теории графов разработан метод рациональной компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия, которое использует гибкий поток, что будет позитивно влиять на снижение транспортных затрат при перемещении вагонов и комплектующих деталей и узлов между участками.

6. Представлен алгоритм решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при разработке гибкой технологии ремонта, что позволяет существенно повысить эффективность выбора варианта решения, которое позволит минимизировать время простоя в ремонте и стоимость ремонта вообще.

7. На основе математических моделей теории кусочно-линейных агрегатов, которые позволяют отображать поведение различных модулей, алгоритмически описан процесс функционирования потоков для ремонта подвижного состава, что, в отличие от ранее применяемых аналитических моделей теории массового обслуживания, максимально приближает модель к реальному процессу и тем самым позволяет не только получить более достоверный результат, но и спрогнозировать будущие показатели

функционирования ремонтного потока.

8. Подготовлены исходные данные для моделирования, которые представляют собой интегральные функции распределения случайной величины времени выполнения комплексов ремонтных работ на позициях потока.

9. Имитационные модели и компьютерные программы разработаны в вероятностном исполнении, когда прослеживается движение каждого отдельного вагона через все позиции потока, что, в отличие от известных упрощенных моделей, которые были разработаны в квазирегулярном исполнении, когда определялись усредненные показатели по каждой позиции, а потом уже рассчитывались показатели всего потока, позволяет получить дополнительные показатели функционирования потока.

10. Углубленно исследованы процессы функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта подвижного состава. Доказано, что в едином гибком потоке можно как успешно ремонтировать различные типы вагонов, так и осуществлять различные виды ремонтов, что позволяет значительно расширить номенклатуру ремонтируемых изделий и делает производство менее зависимым от конкретных объектов ремонта, в отличие от специализированных депо, которые ремонтируют конкретный тип вагонов одним видом ремонта.

11. Усовершенствован принцип работы и конструкция транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого ремонтного потока, что позволит повысить эффективность транспортных операций и безопасность технологического процесса ремонта грузовых вагонов.

12. Получили дальнейшее развитие аналитические методы расчета основных параметров гибкого производства в плане нахождения в едином потоке различных типов вагонов и производства разных видов ремонта, а также разработанные на их основе имитационные программы в части учета дополнительных показателей.

13. Техничко-экономические расчеты показывают, что капитальные вложения при применении гибкой поточной вагоноремонтной технологии в зависимости от количества ремонтных модулей увеличиваются всего на 5 – 7 % от общей стоимости объекта, а пропускная способность при этом повышается на 50 – 70 %. Таким образом доказано, что не только технические, но и экономические преимущества гибких поточных технологий очевидны. Общий экономический эффект от внедрения разработанных автором технологий на одном вагоноремонтном предприятии позволит получать ежегодно дополнительную прибыль в размере 35 млн грн при программе ремонта 9100 вагонов.

14. Предложена целостная концепция гибкого вагоноремонтного производства, которая может быть положена в основу создания перспективных вагоноремонтных предприятий нового поколения. Рекомендуется при проектировании, строительстве и реконструкции вагоноремонтных предприятий обязательно использовать только такие ремонтные системы, которые основаны на гибких поточных технологиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аввакумов, С. М. Расчёт поступления вагонов в деповской ремонт / С. М. Аввакумов // Ж.-д. трансп.– 1969. – № 12. – С. 43–47.
2. Автоматизированные системы обработки информации и гибкие технологии на ремонтных предприятиях / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, Т. В. Второва, И. В. Козловский // Автоматизация и современные технологии. – 1992. – № 8. – С. 21 – 23.
3. Аглицкий, Ю. С. Этапы развития вагонного хозяйства МПС России / Ю. С. Аглицкий // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Обзорная информация. – Москва : ЦНИИТЭИ ЖТ, 1995. – Вып. 1. – С.1 – 22.
4. Азбель, В. О. Гибкие автоматизированные производства / В. О. Азбель, В. А. Егоров, А. Ю. Звоницкий. – Ленинград : Машиностроение, 1983. – 376 с.
5. Алдохин, А. П. Моделирование работы сложных производственных систем / А. П. Алдохин. – Харьков : Вища шк., 1978. – 145 с.
6. Алдохин, А. П. Теория массового обслуживания в промышленности / А. П. Алдохин. – Москва : Экономика, 1970. – 270 с.
7. Александров, М. В. Планирование поточного производства / М. В. Александров, Э. Э. Миллер.– Москва : Экономиздат, 1961. – 182 с.
8. Алиев, Г. А. Некоторые вопросы многофазных систем массового обслуживания и их моделирования: дис. ... канд. физ.-мат. наук / Г. А. Алиев. – Москва : 1964. – 89 с.
9. Аяшева, Д. К. Исследование влияния ритмичности деповского ремонта грузовых вагонов на повышение эффективности и качества работы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Д. К. Аяшева; Ташкентский ин-т инж. тр-та. – Ташкент, 1989. – 23 с.
10. Баранов, Г. Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г. Л. Баранов, А. В. Макаров. – Кинв : Наукова думка, 1986. – 272 с.
11. Баратов, С. Ф. Планирование труда в вагонном хозяйстве

железнодорожного транспорта / С. Ф. Баратов. – Москва : Трансжелдориздат, 1951. – 118 с.

12. Бараш, Ю. С. Поточные линии гибкого маневрирования / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько, А. Ф. Люлько // Ж.-д. трансп. – 1987. – № 2. – С. 64 – 65.

13. Басов, Г. Г. Удосконалення моделювання організації обслуговування моторвагонного рухомого складу / Г. Г. Басов // Харків : УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 81. – С. 26 – 31.

14. Баскаков, А. Я. Методология научного исследования / А. Я. Баскаков, Н. В. Туленков. – Киев : МАУП, 2002. – 216 с.

15. Бедняк, М. Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / М. Н. Бедняк. – Київ : Вища шк., 1983. – 131 с.

16. Белоусов, Л. С. Организация поточного производства в механосборочных цехах / Л. С. Белоусов. – Москва : Машиностроение, 1972. – 120 с.

17. Белуха, Н. Т. Основы научных исследований в экономике / Н. Т. Белуха. – Киев : Вища школа, 1985. – 215 с.

18. Белянин, П. Н. Гибкие производственные комплексы / П. Н. Белянин, В. А. Лещенко. – Москва : Машиностроение, 1984. – 384 с.

19. Белянин, П. Н. Гибкие производственные системы / П. Н. Белянин, М. Ф. Идзон, А. С. Жогин. – Москва : Машиностроение, 1988. – 256 с.

20. Бережная, Е. В. Математические методы моделирования экономических систем / Е. В. Бережная, В. И. Бережной. – Москва : Финансы и статистика, 2006. – 432 с.

21. Берман, А. Г. Ритмичность производства в машиностроении и приборостроении (организационно-экономические вопросы) / А. Г. Берман. – Ленинград : Машиностроение, 1974. – 296 с.

22. Бехтерев, В. Д. Основы организации вагонного хозяйства / В. Д. Бехтерев. – Москва : МИИТ, 1962. – 107 с.

23. Биленко, А. И. Ремонт контейнеров на потоке: Опыт вагонного депо

Лихоборы / А. И. Биленко, Е. В. Трушкин. – Москва : Транспорт, 1983. – 62 с.

24. Блехерман, М. Х. Гибкие производственные системы: (Организационно-экономические аспекты) / М. Х. Блехерман. – Москва : Экономика, 1988. – 221 с.

25. Болотин, М. М. Критерии и способы оценки ресурсов депо / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, М. В. Козлов // Мир транспорта. – 2009. – № 3. – С. 14 – 25.

26. Болотин, М. М. Математические методы структурного анализа машин и оптимизации параметров производства / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, М. В. Козлов // Наука и техника транспорта. – 2009. – № 2. – С. 56 – 64.

27. Болотин, М. М. Математические модели инженерного анализа вагонных депо / М. М. Болотин // Мир транспорта. – 2005. – № 3. – С. 4 – 15.

28. Болотин, М. М. Моделирующие алгоритмы и автоматизация расчётов / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир транспорта. – 2008. – № 3. – С. 100-109.

29. Болотин, М. М. Новая технология ремонта вагонов / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Ж. д. трансп. – 1991. – № 9. – С. 29–33.

30. Болотин, М. М. Совершенствование технического уровня вагонных депо и вагонных конструкций: автореф. дис. ...д-ра. техн. наук: 05.22.07 / М. М. Болотин; Моск. ин-т инж. тр-та. – Москва, 1994. – 69 с.

31. Болотин, М. М. Теоретические основы экспертизы производственного потенциала вагонного депо / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, М. В. Козлов // Мир транспорта. – 2005. – № 3. – С. 14–25.

32. Бондаренко, А. Д. Современная технология: теория и практика / А. Д. Бондаренко. – Киев-Донецк : Вища школа, 1985. – 171 с.

33. Борзилов, І. Д. Концепція спеціалізації підприємств з технічного утримання вагонів / І. Д. Борзилов, В. О. Міхійенко, М. Г. Котов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк : ДонІЗТ, 2008. – № 14. – С. 108–114.

34. Борзилов, І. Д. Наукові основи реструктуризації виробничо-технічної бази технічного утримання вагонів / І. Д. Борзилов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. –

Донецьк : ДонІЗТ, 2009. – № 17. – С. 87 – 96.

35. Боровиков, В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В. П. Боровиков. – Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 688 с.

36. Боровиков, В. П. Популярное введение в программу STATISTICA / В. П. Боровиков. – Москва : Компьютер Пресс, 1998. – 267 с.

37. Боровков, А. А. Математическая статистика. Оценка параметров, проверка гипотез / А. А. Боровков. – Москва : Наука, 1984. – 472 с.

38. Бородай, С. М. Система ремонта и повышение работоспособности вагонов / С. М. Бородай // Ж.-д. трансп. – 1980. – № 4. – С. 59–63.

39. Босов, А. А. Векторная оптимизация по двум показателям / А. А. Босов, Г. Н. Кодола, Л. Н. Савченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – № 17. – С. 134 – 138.

40. Босов, А. А. Теоретические основы рационального содержания подвижного состава железных дорог / А. А. Босов, П. А. Лоза. – Днепропетровск : Издательство ООО предприятие «Дриант», 2015. – 252 с.

41. Босов, А. А. Функции множества и их применение / А. А. Босов. – Днепропетровск : Издательский дом «Андрей», 2007. – 182 с.

42. Бродовский, А. Л. Организация вагонного хозяйства и содержание вагонов / А. Л. Бродовский. – Москва : Гострансжелдориздат, 1940. – 538 с.

43. Бугаев, В. П. Планирование распределения операций между рабочими при ремонте вагонов на поточных линиях / В. П. Бугаев, И. А. Ножевников, В. Ф. Разон // Повышение эффективности работы вагонного хозяйства: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1982. – С. 17 – 22.

44. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов (системный подход) / В. П. Бугаев. – Москва : Транспорт, 1982. – 152 с.

45. Бугаев, В. П. Теоретические основы и пути повышения эффективности организации ремонта грузовых вагонов: автореф. дис. ...д-ра. техн. наук :

05.22.07 / В. П. Бугаев; Моск. ин-т инж. тр-та. – Москва, 1989. – 46 с.

46. Бугаев, В. П. Экономико-математическое моделирование производственной структуры вагоноремонтных предприятий / В. П. Бугаев. – Гомель : БелИИЖТ, 1975. – 65 с.

47. Бугаев, В. П. Экономико-математическое моделирование производственной структуры поточно-конвейерной линии вагоноборочного участка / В. П. Бугаев, В. Ф. Разон // Повышение эффективности работы вагонного хозяйства: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1982. – С. 66–74.

48. Бугаев, В. П. Эффективность ремонта вагонов и их узлов на потоке / В. П. Бугаев // Ж.-д. трансп. – 1978. – № 3. – С. 45 – 49.

49. Букин, В. И. Совершенствование поточного метода деповского ремонта крытых вагонов с использованием ЭВМ : дис. ...канд. техн. наук : 05.22.07 / В. И. Букин; Белорус. ин-т инж. ж.-д. тр-та. – Гомель, 1976. – 226 с.

50. Бусленко, В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В. Н. Бусленко. – Москва : Наука, 1977. – 240 с.

51. Бусленко, Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашник, И. Н. Коваленко. – Москва : Советское радио, 1973. – 440 с.

52. Бусленко, Н. П. Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах / Н. П. Бусленко. – Москва : Наука, 1964. – 364 с.

53. Бусленко, Н. П. Метод статистического моделирования / Н. П. Бусленко. – Москва : Статистика, 1975. – 113 с.

54. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – Москва : Наука, 1978. – 400 с.

55. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту. ЦВ-0016 / Наказ Укрзалізниці від 20.06.2006, № 242-Ц. – Київ : Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2006. – 176 с.

56. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 (1524) мм. Правила з деповського ремонту. ЦВ-0017 / Наказ Укрзалізниці від 16.10.2007, № 492-Ц. –

Київ : ТОВ «Видавничий дім «САМ», 2008. – 152 с.

57. Васецкий, В. В. Моделирование и оптимизация диспетчерского управления многостадийным вагоноремонтным производством: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / В. В. Васецкий; Воронежский гос. техн. ун-т. – Воронеж, 2007. – 17 с.

58. Васецкий, В. В. Оптимизация управления потоками заявок на ремонт в условиях многостадийного вагоноремонтного производства / В. В. Васецкий, С. А. Олейникова, В. М. Питолин // Информационные технологии моделирования и управления. – 2006. – № 7 (32). – С. 882–890.

59. Васильев, В. Н. Организационно-экономические основы гибкого производства / В. Н. Васильев, Т. Г. Садовская. – Москва : Высшая школа, 1988. – 272 с.

60. Васильев, В. Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении / В. Н. Васильев. – Москва : Машиностроение, 1986. – 312 с.

61. Веников, В. А. О моделировании / В. А. Веников. – Москва : Знание, 1974. – 64 с.

62. Виленкин, Н. Я. Комбинаторика / Н. Я. Виленкин. – Москва : Наука, 1969. – 328 с.

63. Вильдавский, И. М. Проектирование и эксплуатация поточных линий в серийном производстве машин и приборов / И. М. Вильдавский. – Москва-Ленинград : Машгиз, 1962. – 246 с.

64. Винниченко, Н. Г. Повысить качество деповского ремонта вагонов / Н. Г. Винниченко, И. Л. Ким // Ж.-д. трансп.–1989. – № 12. – С. 48 – 51.

65. Власов, М. П. Моделирование экономических процессов / М. П. Власов, П. Д. Шимко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2005. – 409 с.

66. Воротников, В. Г. Основные принципы моделирования процессов функционирования гибких производственных систем вагонных депо / В. Г. Воротников, А. А. Денисенко // Безопасность движения поездов:

материалы VIII науч.-практ. конф. (Москва, 01.11–02.11.2007). – Москва, 2007. – С. VI – 3.

67. Воротников, В. Г. Перспективные направления повышения производственного потенциала вагонных депо / В. Г. Воротников // Безопасность движения поездов: Материалы VIII науч.-практ. конф. (Москва, 01.11–02.11.2007). – Москва, 2007. – С. VI – 3.

68. Воротников, В. Г. Модульный конвейер / В. Г. Воротников, Р. Мартынов // Гудок. – 2010. – № 3. – С. 3.

69. Гибкое автоматическое производство / В. О. Азбель, В. А. Егоров, А. Ю. Звоницкий. и др.; под общ. ред. С. А. Майорова, Г. В. Орловского, С. Н. Халкиопова. – 2-е изд. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 454 с.

70. Гизатулин, Э. З. Исследование путей совершенствования поточного метода при капитальном и среднем ремонтах тепловозов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07; Моск. ин-т инж. тр-та / Э. З. Гизатулин. – МИИТ, 1978. – 175 с.

71. Гизатулин, Э. З. Организация поточного производства при капитальных ремонтах тепловозов / Э. З. Гизатулин, Е. Г. Стеценко. – Москва : Транспорт, 1982. – 121 с.

72. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – Москва : Наука, 1966. – 432 с.

73. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения: утв. и введ. в дейст. пост. от 15.11.78 № 2986 / Гос. ком. СССР по стандартам. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 12 с.

74. Готаулин, В. В. Совершенствование работы производственных участков по ремонту автосцепных устройств вагонов на основе моделирования технологических процессов: автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.22.07 / В. В. Готаулин; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – Москва, 2008. – 24 с.

75. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – Москва : Транспорт, 1988. – 295 с.

76. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Руководство по деповскому ремонту. Утв. прот. от 18 – 19 мая 2011 года, № 54) / 54-й Совет по ж.-д. тр-ту гос. участ. Содружества. – Москва, 2010. – 154 с.

77. Губенко, В. К. Основные определения и показатели гибкого ремонтного процесса цистерн / В. К. Губенко, В. П. Литвиненко, Г. Г. Псарас. – Ждановский металлургический институт. – Жданов, 1986. – 19 с. – Деп. в УкрНИИНТИ 22.09.1986, № 2229-Ук86.

78. Гундаев, И. В. Разработка и моделирование технологических процессов ремонта колёсных пар вагонов: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 / И. В. Гундаев; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – Москва, 2011. – 24 с.

79. Даль, В. И. Толковый словарь живого великорусского языка / В. И. Даль. – Москва : Мысль, 1989. – 4472 с.

80. Декарт, Р. Сочинения в 2 томах. Том 1 / Р. Декарт. – Москва : Мысль, 1989. – 654 с.

81. Депо для ремонта полувагонов на программу 6000 и 10000 физ. единиц в год. Вагоноборочный участок. Технологическая часть. Альбом 1. Пояснительная записка, чертежи / Типовые проектные решения 501-3-040.22.88. – Москва : Мосгипротранс, 1988. – 44 с.

82. Депо для ремонта полувагонов на программу 6000 и 10000 физ. единиц в год. Вагоноборочный участок. Технологическая часть. Альбом 2. Чертежи / Типовые материалы для проектирования 501-3-39.32.88. – Москва : Мосгипротранс, 1988. – 54 с.

83. Депо компании Siemens в Великобритании // Железные дороги мира. – 2008. – №3. – С. 55 – 61.

84. Джонс, Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс. – Москва : Мир, 1986. – 326 с.

85. Долматов, А. А. Полувагонам – прогрессивный срок службы / А. А. Долматов, Г. В. Райков, В. Б. Костров // Железнодорожный транспорт. –

1982. – № 12. – С. 61 – 63.

86. Дударев, А. Е. Выбор параметров распределения оценок трудоёмкости работ при ремонте вагонов /А. Е. Дударев // Совершенствование ремонта, использования и конструирования вагонов: Сб. тр. ДИИТа, вып. 164/5. – Днепропетровск : ДИИТ, 1975. – С. 13 – 20.

87. Дударев, А. Е. Имитационное моделирование работы поточных линий для ремонта вагонов как многофазных систем массового обслуживания / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин.– Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп. – Днепропетровск, 1985. – 16 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.12.85, № 3406.

88. Дударев, А. Е. Оптимизация структуры поточной вагоноремонтной линии с гибкими связями между производственными участками на стадии её проектирования путём расшивки узких мест / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин. – Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп.– Днепропетровск, 1986. – 7 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.05.86, № 3583.

89. Дударев, А. Е. Применение имитационного моделирования для анализа функционирования поточных вагоноремонтных линий с гибкими связями между производственными участками / А. Е. Дударев, В. В. Мямлин. – Днепропетр. ин-т инж. ж.-д. трансп.– Днепропетровск, 1986. – 12 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.05.86, № 3582.

90. Дударев, А. Е. Разработка поточного метода ремонта пассажирских вагонов и управления технологическими процессами: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / А. Е. Дударев; Днепропетр. ин-т инж. тр-та. – Днепропетровск, 1977. – 249 с.

91. Дударев, А. Е. Сетевое моделирование технологических процессов ремонта вагонов на поточных линиях / А. Е. Дударев, Л. П. Лимаренко // Совершенствование технического обслуживания и ремонта вагонов: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель: БелИИЖТ, 1978. – С. 95 – 101.

92. Дикань, В. Л. Підвищення ефективності функціонування вантажних вагонних депо у сучасних ринкових умовах / В. Л. Дикань // Вісник економіки

транспорту і промисловості. – 2013. – Вип. 42. – Харків : Вид-во УкрДАЗТ, 2013. – С. 122 – 125.

93. Думлер, С. А. Поточные методы производства в машиностроении / С. А. Думлер. – Москва : Машгиз, 1958. – 363 с.

94. Емельянов, А. А. Имитационное моделирование экономических процессов / А. А. Емельянов, Е. А. Власова, Р. В. Дума. – Москва : Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

95. Ёжиков, В. А. Исследование эксплуатационной надёжности и пути повышения производительности поточных механизированных линий вагоноремонтного производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В. А. Ёжиков; Моск. ин-т инж. тр-та. – Москва, 1976. – 196 с.

96. Ёжиков, В. А. Поточно-механизированные линии в вагонных депо / В. А. Ёжиков // Ж.-д. трансп. Серия «Вагоны и вагонное хозяйство». – Москва : ЦНИИТЭИ МПС, 1976. – 20 с.

97. «Загнанные» вагоны выбрасывают // Гудок. – 2007. – 15 февраля.

98. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – Москва : Статистика, 1976. – 598 с.

99. Занин, В. П. Гибкая производственная система: от проекта до эксплуатации / В. П. Занин, Г. И. Кабанов, В. И. Логашев. – Ленинград : Лениздат, 1989. – 112 с.

100. Зубов, В. М. Как измеряется производительность труда в США / В. М. Зубов. – Москва : Финансы и статистика, 1990. – 144 с.

101. Иванищев, В. В. Автоматизация моделирования потоковых систем / В. В. Иванищев. – Москва : Наука, 1986. – 142 с.

102. Ивахненко, А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский. – Москва : Радио и связь, 1987. – 120 с.

103. Инструктивно-методические указания и нормативы по организации поточного деповского ремонта грузовых вагонов. – Москва : ПКБ ЦВ МПС,

ВНИИЖТ, 1986. – 132 с.

104. Иозайтис, В. С. Экономико-математическое моделирование производственных систем / В. С. Иозайтис, Ю. А. Львов. – Москва : Высшая школа, 1991. – 192 с.

105. Исаханов, Г. В. Основы научных исследований в строительстве / Г. В. Исаханов. – Киев : Вища школа, 1985. – 208 с.

106. Исследование операций: в 2-х томах: Методологические основы и математические методы / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – Москва : Издательство «Мир», 1981.- Т. 1. – 712 с.

107. Исследование операций: в 2-х томах: Модели и применения / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – Москва : Издательство «Мир», 1981. – Т. 2. – 677 с.

108. Калашников, В. В. Математические методы построения стохастических моделей обслуживания / В. В. Калашников, С. Т. Рачев. – Москва : Наука, 1988. – 312 с.

109. Калетин, С. В. Эксплуатационный комплекс вагонного хозяйства в новых условиях / С. В. Калетин // Ж.-д. трансп.– 2007. – № 8. – С. 19–21.

110. Калинин, О. М. Моделирование гибких производственных систем / О. М. Калинин, С. Л. Ямпольский, Л. В. Песков. – Київ : Техніка, 1991. – 180 с.

111. Калман Р. Очерки по математической теории систем / Р. Калман, П. Фалб, М. Арбиб. – Москва : Мир, 1971. – 214 с.

112. Карелина, М. В. Обоснование параметров организации ремонта грузовых вагонов (на примере полувагонов): автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 / М. В. Карелина; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – Москва, 1996. – 21 с.

113. Каталог типовых и рекомендованных проектов локомотивного и вагонного хозяйства. – Москва : Трансжелдориздат, 1954. – 48 с.

114. Кириллюк, А. В. Исследование основных параметров поточных линий в вагоноремонтном производстве: дис. ... канд. техн. Наук : 05.22.07 /

А. В. Кириллюк; Моск. ин-т инж. тр-та. – Москва, 1968. – 200 с.

115. Кириллюк, А. В. Поточно-конвейерный метод ремоонта полувагонов / А. В. Кириллюк, С. А. Покровский, В. В. Мямлин, В. В. // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство» Ремонт вагонов. – Москва : ЦНИИТЭИ МПС, 1970. – Вып. 59. – С. 18 – 22.

116. Кириллюк, А. В. Поточный ремонт вагонов / А. В. Кириллюк, Г. В. Райков, В. Ю. Емельянов // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Экспресс-информация.– ЦНИИТЭИ МПС, 1985.– № 4.– 27 с.

117. Кленкин, В. А. Укрепление базы по ремонту подвижного состава / В. А. Кленкин // Ж.-д. трансп.– 2004. – № 3. – С. 79 – 83.

118. Колупаев, В. Конкуренция требует полномочий: вагоноремонтные предприятия ОАО «РЖД» могли бы работать ещё эффективнее / В. Колупаев // Гудок. – 2010. – 30.09, № 177. – С. 3.

119. Компания Talgo на внутреннем и внешнем рынках // Железные дороги мира. – 2006. – № 3. – С. 36 – 42.

120. Кондратюк, Р. З. Поточно-конвейерные линии в вагонном депо / Р. З. Кондратюк, В. В. Василевский // Ж.-д. трансп.–1980. – № 2. – С. 28 – 31.

121. Копачёв, С. В. Совершенствование организации ремонта подвижного состава на основе математического моделирования трудоёмкости технологической подготовки производства: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.02.22 / С. В. Копачёв; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – Москва, 2012. – 22 с.

122. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Определения, теоремы, формулы / Г, Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1977. – 832 с.

123. Королёв, А. Н. Экономика, организация и планирование вагонного хозяйства / А. Н. Королёв, А. И. Попов. – Москва : Трансжелдориздат, 1962. – 292 с.

124. Королюк, В. С. Стохастические модели систем / В. С. Королюк. – Київ : Наук. думка, 1989. – 203 с.

125. Котуранов, В. Н. Пути усиления вагоноремонтной базы / В. Н. Котуранов, М. М. Болотин, С. Н. Муравьев // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 11. – С. 54–56.

126. Кошкин, Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии завтра / Л. Н. Кошкин. – Москва : Машиностроение, 1986. – 320 с.

127. Краткий экономический словарь / Под ред. Г. А. Козлова и С. П. Первушина. – Москва : Гос. изд-во политической литературы, 1958. – 391 с.

128. Кривич, О. Ю. Повышение уровня технологической подготовки производства вагонсборочных участков ремонтных депо: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 / О. Ю. Кривич; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – Москва, 2010. – 24 с.

129. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство / Н. З. Криворучко. – Москва : Трансжелдориздат, 1961. – 320 с.

130. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство / Н. З. Криворучко, А. Е. Цикунов, В. И. Гридюшко. – Москва : Транспорт, 1969. – 312 с.

131. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство / Н. З. Криворучко, В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев. – Москва : Транспорт, 1976. – 280 с.

132. Криворучко, Н. З. Организация вагонного хозяйства / Н. З. Криворучко. – Москва : Гострансжелдориздат, 1950. – 444 с.

133. Криворучко, Н. З. Организация вагонного хозяйства / Н. З. Криворучко. – Москва : Гострансжелдориздат, 1954. – 542 с.

134. Криворучко, Н. З. Ремонт вагонов на потоке / Н. З. Криворучко, К. Н. Межов, В. И. Букин // Ж.-д. трансп. – 1975. – № 8. – С. 56–59.

135. Кузин, Б. И. Организация поточного производства в условиях научно-технического прогресса машиностроения / Б. И. Кузин. – Ленинград : Машиностроение, 1977. – 184 с.

136. Кузнецов, Е. С. Исследование работы поточных линий технического обслуживания автомобилей / Е. С. Кузнецов, В. А. Сорокин. – Москва :

Транспорт, 1966. – 83 с.

137. Лапшин, Ф. А. Вагонное хозяйство / Ф. А. Лапшин, С. Г. Комаров. – Москва : Гострансжелдориздат, 1955. – 191 с.

138. Левитин, А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А. В. Лнаитин. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 576 с.

139. Лисевич, Т. В. Передовые технологии деповского ремонта пассажирских вагонов: Учебное пособие для вузов / Т. В. Лисевич, Е. В. Александров. – Самара : СамГАПС, 2005. – 80 с.

140. Лифшиц, А. Л. Статистическое моделирование систем массового обслуживания / А. Л. Лифшиц, Э. А. Мальц. – Москва : Советское радио, 1978. – 248 с.

141. Лищинский, Л. Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Л. Ю. Лищинский. – Москва : Машиностроение, 1990. – 32 с.

142. Логашев, В. Г. Технологические основы гибких автоматических производств / В. Г. Логашев. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 176 с.

143. Луйк, И. А. Теоретические основы планирования технической эксплуатации машинного парка / И. А. Луйк. – Київ : Вища шк., 1976. – 142 с.

144. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е. Н. Львовский. – Москва : Высш. шк., 1988. – 239 с.

145. Люльчев, К. М. Ремонт вагонов: эффективность затрат / К. М. Люльчев // Мир транспорта. – 2010. – № 4. – С. 58–64.

146. Макаров, И. М. Системные принципы создания гибких автоматизированных производств / И. М. Макаров. – Москва : Высш. шк., 1986. – 174 с.

147. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – Москва : Радио и связь, 1988. – 232 с.

148. Малышев, Г. А. Теория авторемонтного производства / Г. А. Малышев. – Москва : Транспорт, 1977. – 224 с.

149. Малькова, В. Н. Корректировка расчётного ритма поточных линий вагоноремонтных предприятий в зависимости от степени синхронизации / В. Н. Малькова // Вопросы эксплуатации, строительства и экономики железных дорог : труды МИИТ. – Вып. 465. – Ч. 1. – Москва : МИИТ, 1975. – С. 146 – 153.
150. Мартинов, І. Е. Вагоноремонтні машини та обладнання / І. Е. Мартинов, В. Г. Равлюк. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Ч.1. – 156 с.
151. Мартинов, І. Е. Вагоноремонтні машини та обладнання / І. Е. Мартинов, В. Г. Равлюк. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч.2. – 108 с.
152. Математика и кибернетика в экономике: словарь-справочник. – Москва : Издательство «Экономика», 1975. – 700 с.
153. Матросов, А. В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики / А. В. Матросов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
154. Машунин, Ю. К. Методы и модели векторной оптимизации / Ю. К. Машунин. – Москва : Наука, 1986. – 141 с.
155. Мелконян, М. А. Гибкие производства – разведчики будущего / М. А. Мелконян. – Москва : Управление делами Секретариата СЭВ, 1987.–59 с.
156. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. –Москва : Мир, 1978. – 311 с.
157. Миронов, А. Ю. Сокращать простои вагонов в ремонте / А. Ю. Миронов // Ж.-д. трансп.–2007. – № 8. – С. 22–23.
158. Мирошниченко, Ю. В. Поток и ритм – основа высокой эффективности ремонтного производства / Ю. В. Мирошниченко.– Редколлегия журнала «Электрическая и тепловозная тяга». – Москва, 1986. – 7 с. – Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС, № 3851.
159. Митюхин, В. Б. Повышение эффективности вагонного хозяйства на основе использования новых информационных технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07 / В. Б. Митюхин; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – Москва, 2002. – 24 с.
160. Моисеев, Н. Н. Математика ставит эксперимент / Н. Н. Моисеев. –

Москва : Наука, 1979. – 224 с.

161. Молчанов, А. А. Моделирование и проектирование сложных систем / А. А. Молчанов. – Киев : Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 359 с.

162. Морозов, В. Н. Вагонное хозяйство – жизнеобеспечивающая сфера деятельности / В. Н. Морозов // Ж.-д. трансп.– 2003. – № 6. – С. 10 – 16.

163. Мотовилов, К. В. Выбор рациональных путей повышения производственной мощности вагоноремонтных предприятий / К. В. Мотовилов // Вопросы совершенствования технологии, организации и механизации ремонта вагонов : Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 746. – Москва : МИИТ, 1984. – С. 3 – 10.

164. Мотуз, Н. Р. Труд должен быть высокопроизводительным / Н. Р. Мотуз, Г. Н. Перов // Ж.-д. трансп.– 2003.– № 3. – С. 44 – 49.

165. Мямлин, В. В. Больше внимания сохранности вагонов / В. В. Мямлин, Ю. Г. Покус // Ж.-д. трансп. – 1987. – № 3. – С. 49 – 52.

166. Мямлин, В. В. Адаптивный поток ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов : Тезисы докл. III Междунар. партн. конф. (Ялта, 21.05–25.05.2012). – Ялта, 2012. – С. 64.

167. Мямлин, В. В. Анализ различных структур гибких вагоноремонтных потоков / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05. 2014). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 65 – 67.

168. Мямлин, В. В. Анализ трудоёмкостей отдельных видов работ при деповском ремонте полувагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЖТ, 2012. – Вип. 40. – С. 28 – 36.

169. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта / В. В. Мямлин // Вісник

Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2009. – Вип. 26. – С. 28 – 33.

170. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток – следующая ступень на пути эволюции поточных методов ремонта грузовых вагонов в депо / В. В. Мямлин // Интеграция Украины в международную транспортную систему: тезисы II Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27.05–28.05.2010). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2010. – С. 70 – 72.

171. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток – следующий этап на пути совершенствования поточно-конвейерных методов ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин // Трансбалтика – 2009: тезисы Междунар. научной конф. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2009. – С. 37 – 38.

172. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов как агрегативная система / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 69-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 21.05 – 22.05.2009). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2009. – С. 37 – 38.

173. Мямлин, В. В. Варианты организации перспективных вагоноремонтных предприятий, использующих гибкий поток для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // тезисы 70-й Междунар. науч.– практ. конф. (Днепропетровск, 15.04 – 16.04. 2010). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2010. – С. 72 – 73.

174. Мямлин, В. В. Влияние структурной гибкости вагоноремонтного потока на его пропускную способность / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 75-й Междунар. науч.- практ. конф. (Днепропетровск, 15.05 – 16.05. 2015). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2015. – С. 33 – 35.

175. Мямлин, В. В. Гибкие потоки для ремонта вагонов и особенности имитационного моделирования их работы / В. В. Мямлин // Трансп. Росс. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С.57 – 60.

176. Мямлин, В. В. Гибкий асинхронный многопредметный поток – следующий этап на пути совершенствования деповского ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 06.07-10.07.2011). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – С. 54 – 56.

177. Мямлин, В. В. Главная задача в совершенствовании промышленных методов ремонта вагонов – адаптация потока к каждому отдельному вагону / В. В. Мямлин // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.: Тези доп. Міжнар. наук.-прак. конф.: Вагони нового покоління – із XX в XXI сторіччя. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139. – С. 311 – 312.

178. Мямлин, В. В. Имитационное моделирование мультифазных поликанальных многопредметных асинхронных гибких потоков ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 72-й Междунар. науч.-прак. конф. (Днепропетровск, 19.04 – 20.04.2012). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – С. 58 – 59.

179. Мямлин, В. В. Использование математической схемы агрегата для формализации процесса функционирования ремонтной позиции гибкой поточной линии для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II Междунар. науч.-прак. конф. – Гомель : БелГУТ, 2008. – С. 172–73.

180. Мямлин, В. В. Использование метода статистического моделирования при проектировании поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: Сб. науч. тр. Днепропетр. ин-т инж. тр-та.– Днепропетровск : ДИИТ, 1985.– С. 70 – 76.

181. Мямлин, В. В. Использование теории графов для рациональной компоновки участков вагоноремонтного предприятия / В. В. Мямлин //

Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05 – 16.05.2014). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 67 – 69.

182. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2008. – Вип. 24. – С. 44 – 48.

183. Мямлин, В. В. Использование транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого вагоноремонтного потока / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : Тезисы докл. 73-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 23.05 – 24.05.2013). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – С. 53 – 54.

184. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство» Ремонт вагонов. – Москва : ОИ ЦНИИТЭИ МПС, 1989. – Вып. 1. – С. 1 – 11.

185. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для моделирования работы поточных линий ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Второе отраслевое научно-техническое совещание молодых учёных и специалистов по проблемам использования вычислительной техники на железнодорожном транспорте: Тезисы докладов (Москва, 15.04 – 16.04.1987). – Москва : ВНИИЖТ, 1987. – С. 125 – 127.

186. Мямлин, В. В. Исследование количества «обгонов» между вагонами в гибких вагоноремонтных потоках при помощи имитационного моделирования / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы докл. 75-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05 – 16.05. 2015). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2015. – С. 42 – 44.

187. Мямлин, В. В. Исследование трудоёмкостей работ на вагоносборочном участке при деповском ремонте полувагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 72-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 19.04 – 20.04.2012). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – С. 41 – 42.

188. Мямлин, В. В. Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – Вип. 3 (51).– С. 124 – 135.

189. Мямлин, В. В. Комплексное исследование причин, влияющих на колебание времени выполнения работ при деповском ремонте полувагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2012. – Вип. 41. – С. 24 – 34.

190. Мямлин, В. В. Компоновка позиций гибкого вагоноремонтного потока и способ перемещения изделий между ними при помощи транспортного агрегата / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин, А. Н. Михальчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012.– Вип. 42.– С. 205 –213.

191. Мямлин, В. В. Компоновочные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2010. – Вип. 31. – С. 55 – 62.

192. Мямлин В. В. Моделирование работы гибких поточных линий для ремонта вагонов как многофазных многоканальных систем массового обслуживания / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 22.05 – 23.05.2008).– Днепропетровск : ДНУЖТ, 2008.–

С. 51– 52.

193. Мямлин, В. В. Моделирование работы потока для ремонта вагонов как мультифазной поликанальной многопредметной системы массового обслуживания / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011.– Вип. 38.– С. 47 – 57.

194. Мямлин, В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток – реальный механизм повышения эффективности ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 74-й Межд. науч.-техн. конф. (Харьков, 24.04 – 25.04.2012). – Харьков : УкрГАЖТ, 2012. – С. 219 – 220.

195. Мямлин, В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток – следующий уровень в организации ремонта грузовых вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2012.– № 1. – С. 8 – 11.

196. Мямлин, В. В. Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов / В. В. Мямлин, А. А. Босов, С. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 36. – С. 54 – 57.

197. Мямлин, В. В. Оптимизация структуры гибкого вагоноремонтного потока при помощи моделирования путём «расширения узких мест» / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы докл. 74-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05 – 16.05.2014). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2014. – С. 69 – 71.

198. Мямлин, В. В. Основные технологические решения многофункционального производственного комплекса по ремонту и изготовлению грузовых вагонов на базе вагонного депо Гянджа (Азербайджан) / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : Тезисы докл. 73-й Междунар. науч.-практ. конф.

(Днепропетровск, 23.05–24.05.2013). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2013. – С. 55–57.

199. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия подсистем асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2010.– № 7.– С. 19 – 22.

200. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2009. – Вип. 27. – С. 36 – 41.

201. Мямлин, В. В. Перспективы проектирования современных грузовых депо с использованием гибких технологий ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 68-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 22.05 – 23.05.2008). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2008. – С.52 – 53.

202. Мямлин, В. В. Повышение надёжности работы вагоноремонтных потоков за счёт формирования их гибкости / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Проблемы безопасности на транспорте: Матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С.92 – 93.

203. Мямлин, В. В. Повышение эффективности поточного метода ремонта вагонов путём использования специальных архитектурно-технологических решений, обеспечивающих гибкую связь между позициями / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (Брянск, 09.10 – 10.10.2008). – Брянск, 2008.– С. 76 – 78.

204. Мямлин, В. В. Повышение эффективности ремонта вагонов за счёт совершенствования организации поточного производства / В. В. Мямлин // Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов: тезисы докл. II Междунар. партн. конф. (Ялта, 19.05 – 20.05.2011). – Ялта, 2011. – С. 49.

205. Мямлин, В. В. Поиски методов оптимального проектирования вагоноремонтных предприятий с поточными методами ремонта / В. В. Мямлин // Внедрение наукоёмких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте: тезисы докл. IV науч.-практ. Междунар. конф. (Крым, Ялта, 09.06 – 13.06.2008). – Ялта, 2008. – С.14.

206. Мямлин, В. В. Предложения по реконструкции грузового депо на ст. Н/Д-Узел с переводом его на гибкий поток ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 71-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04 – 16.04.2011). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2011. – С. 76 – 77.

207. Мямлин В. В. Применение теории сложных систем к исследованию работы поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Транспортные связи. Проблемы и перспективы: докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, Украина, 29.05 – 30.05.2008). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2008. – С. 8.

208. Мямлин, В. В. Прогнозирование значений производительности труда в проектируемых вагоносборочных цехах при помощи регрессионных моделей / В. В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: Сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инж. тр.-та.– Днепропетровск : ДИИТ, 1985. – С. 64 – 69.

209. Мямлин, В. В. Разработка гибких поточных линий для ремонта вагонов и методы их расчёта / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. – 2011. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – Вып. 6. – С. 53 – 58.

210. Мямлин, В. В. Разработка гибких поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : тезисы докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 08.07 – 12.07.2009). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2009. – С. 235–236.

211. Мямлин, В. В. Разработка машинных методов и алгоритмов

проектирования поточных линий для ремонта вагонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В. В. Мямлин; Моск. ин-т инж. тр-та. – Москва, 1989. – 23 с.

212. Мямлин, В. В. Разработка структурно-информационной модели проектирования поточных вагоноремонтных линий / В. В. Мямлин // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов: Сб. науч. тр. Днепропетр. ин-т инж. трансп.– Днепропетровск : ДИИТ, 1987. – С. 80 – 83.

213. Мямлин, В. В. Ретроспективный анализ методов организации ремонта грузовых вагонов в депо и пути их дальнейшего развития / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 34. – С. 51 – 60.

214. Мямлин, В. В. Роль поточных методов при организации вагоноремонтного производства и их влияние на рост производительности труда / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 37. – С. 32 – 43.

215. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного вагоноремонтного производства за счёт применения асинхронных гибких потоков / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы 70-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04–16.04.2010). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2010.– С. 73 – 74.

216. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С.15 – 17.

217. Мямлин, В. В. Современные тенденции развития ремонта грузовых вагонов на потоке / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : Тезисы 71-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04 – 16.04.2011). – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2011.– С. 78 – 79.

218. Мямлин, В. В. Структурные схемы перспективных вагоноремонтных

предприятий с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк. – 2010. – № 11. – С. 15 – 18.

219. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вагонный парк.– 2010.– № 6. – С. 12–15.

220. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 18 – 22.

221. Мямлин, В. В. Теоретические основы совершенствования технологии ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: тезисы докл. VIII Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 03.07 – 07.07.2013). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – С. 205–207.

222. Мямлин, В. В. Теоретические основы создания гибких поточных производств для ремонта подвижного состава : монография / В. В. Мямлин. – Днепропетровск : Изд-во ЧФ «Стандарт-Сервис», 2014. – 380 с.

223. Мямлін, В. В. Удосконалення технології ремонту вантажних вагонів / В. В. Мямлін, С. В. Мямлін, Ю. В. Кебал // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали V Міжнар. науково-практ. конф. Сер. «Техніка, технологія». – Київ : ДЕТУТ, 2011. – С. 107 – 108.

224. Насибуллин, Ф. Ф. Совершенствование обслуживания и ремонта грузовых вагонов / Ф. Ф. Насибуллин // Ж.-д. трансп. – 2004. – № 4. – С. 63.

225. Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор. – Москва : Мир, 1975. – 500 с.

226. Неймарк, А. И. Основные разновидности поточных линий в машиностроении и приборостроении / А. И. Неймарк. – Ленинград : ЛДНТП,

1959. – 44 с.

227. Некоторые вопросы организации и управления процессом ремонта вагонов на потоке / А. Е. Дударев, К. Н. Фомкин, В. Г. Анофриев, И. К. Мороз // Совершенствование ремонта, использования и конструирования вагонов: Сб. тр. ДИИТа. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 164/5. – С. 3 – 8.

228. Нескуба, Т. В. Стратегія розвитку підприємства вагоноремонтного господарства залізничного транспорту України в умовах реформування галузі / Т. В. Нескуба // Вісник економіки транспорту і промисловості. – Харків: Вид-во УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 26. – С. 252 – 254.

229. Никифоров, Б. Д. Вагонное хозяйство: состояние, перспективы, задачи / Б. Д. Никифоров, И. И. Хаба // Ж.-д. трансп. –1990. – № 11. – С. 28– 32.

230. Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 199 с.

231. Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – Москва : Советское радио, 1969. – 400 с.

232. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с.

233. Ножевников, А. М. Научная организация труда в вагонном хозяйстве / А. М. Ножевников, В. Д. Алексеев, С. В. Аникин. – Москва : Транспорт, 1968.– 279 с.

234. Ножевников, А. М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов / А. М. Ножевников. – Москва : Транспорт, 1980.– 137 с.

235. Ножевников, И. А. Организация ремонта вагонов на поточных линиях / И. А. Ножевников // Повышение эффективности работы вагонного хозяйства: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1982. – С. 61 – 66.

236. Норми витрат матеріалів та запасних частин на ремонт вагонів у вагонних депо залізниць України. ЦВ-0065 / Затв. нак. Укрзалізниці від 22.12.2010 № 201-ЦЗ. – Київ : ПКТБРС, 2011. – 124 с.

237. Норми простою вантажних вагонів при деповському ремонті,

технічному обслуговуванні з відчепленням, та підготовці до навантаження / Затв. наказ. Укрзалізниці від 14.06.2005 р. – Київ : ДП «КПКТБВ», 2005. – 10 с.

238. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов / ВНТП 02 – 86 / МПС. – Москва : Транспорт, 1987. – 33 с.

239. О мероприятиях для понижения процента больных вагонов на железных дорогах : доклад начальника вагонного отдела службы тяги Екатеринбургской железной дороги инженера Н. М. Хлебникова / Н. М. Хлебников. – Екатеринбург : Типо-Литография Екатеринбургской железной дороги, 1914. – 64 с.

240. Образование параметров и оснащение гибких поточных линий по ремонту вагонов / В. Г. Воротников, М. М. Болотин, В. Д. Евстратов, Т. В. Второва // Автоматизация и современные технологии. – 1993. – № 3. – С. 3 – 5.

241. Огурцов, А. А. Поточный ремонт контейнеров в вагонных депо / А. А. Огурцов // Ж.-д. трансп. – 1990. – № 11. – С. 89 – 90.

242. Организация, планирование и управление на вагоноремонтных предприятиях / В. М. Меланин, С. Н. Коржин, Р. Ф. Канивец и др.; под ред. В. М. Меланина. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 383 с.

243. Оре, О. Теория графов / О. Оре. – Москва : Наука, 1980. – 336 с.

244. Осадчук, Г. И. Научно-технический прогресс и экономика вагонного хозяйства / Г. И. Осадчук, Ч. У. Березнякова, С. А. Покровский. – Москва : Транспорт, 1984. – 79 с.

245. Основные технологические решения строительства вагоноремонтного комплекса по ремонту апатитовозов и вагонов для перевозки минеральных удобрений на ст. Апатиты-1 Октябрьской ж. д. (проект № 7713). – Днепропетровск : Днепрожелдорпроект, 1990. – 144 с.

246. Основы моделирования сложных систем / Под ред. И. В. Кузьмина. –

Київ : Вища шк. Головное изд-во, 1981. – 360 с.

247. Особенности технического обслуживания и ремонта подвижного состава за рубежом / В. В. Мямлин, А. В. Кутько, С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Луганск: 2010. – №5 (147), Ч. 2. – С. 86 – 96.

248. Павлов, И. П. Рефлекс свободы / И. П. Павлов. – Санкт-Петербург : Питер, 2001.– 432 с.

249. Пат. 013942 Евразийское патентное ведомство, В1 В60S 5/00. Способ ремонта грузовых железнодорожных вагонов и грузовое депо для его осуществления / Сапетов М. В., Соколов И. Е., Фомин М. Ю., Чистяков А. П. (Россия); заявители и патентообладатели Сапетов М. В., Соколов И. Е., Фомин М. Ю., Чистяков А. П. – № 201000174; заявл. 22.12.2009; опубл. 30.08.2010. – Бюл. № 4.

250. Пат. 10873 Україна, МПК⁷ В 61 J 1/10. Трансбордер для поперечного переміщення рейкових транспортних засобів, наприклад вагонів, на паралельні колії / А. М. Моторін, В. А. Омельченко, П. Я. Сорокін; заявник та патентовласник ТОВ «Науково-виробнича фірма «ТЕХВАГОНМАШ». – № u200509106; заявл. 27.09.2005; опубл. 15.11.2005. – Бюл. № 11.

251. Пат. 11176 Україна, МПК⁷ В 61 J 1/10. Трансбордер для переміщення рухомого складу / Приходько В. І. та ін.; заявник та патентовласник ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод». – № u200505262; заявл. 02.06.2005; опубл. 15.12.2005. – Бюл. № 12.

252. Пат. 17638 Україна, МПК В 61 J 1/00. Трансбордер для поперечного переміщення рейкових транспортних засобів на паралельні колії / П. Я. Сорокін, Ю. С. Козловський; заявники та патентовласники П. Я. Сорокін, Ю. С. Козловський. – № u200602102; заявл. 27.02.2006; опубл. 16.10.2006. – Бюл. № 10.

253. Пат. 2112736 Российская Федерация, МПК⁶ В66 С 17/20. Подъёмно-транспортный агрегат / Воротников В. Г. и др.; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет путей сообщения. – № 97107057/28;

заявл. 25.04.1997; опубл. 10.06.1998. – Бюл. № 16.

254. Пат. 23365 Україна, МПК⁶ В 61 J 1/10. Пристрій для переміщення рейкових транспортних засобів на паралельні колії / П. Я. Сорокін; заявник та патентовласник П. Я. Сорокін, Ю.С. Козловський. – № u200612658; заявл. 01.12.2006; опубл. 25.05.2007. – Бюл. № 7.

255. Пат. 41730 Україна, МПК⁹ В 61 J 1/00. Трансбордер для переміщення рейкових транспортних засобів / А. М. Моторін, В. М. Малюсейко, В. М. Пономарьов; заявник та патентовласник ТОВ «Науково-виробнича фірма «ТЕХВАГОНМАШ».– № u200813237; заявл. 17.11.2008; опубл. 10.06.2009. – Бюл. № 11.

256. Первозванский, А. А. Математические модели в управлении производством / А. А. Первозванский.- Москва : Наука, 1975.- 616 с.

257. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – Москва : Высшая школа, 1989.– 367 с.

258. Петров, В. А. Планирование гибких производственных систем / В. А. Петров, А. Н. Масленников, Л. А. Осипов. – Ленинград : Машиностроение, 1985.– 182 с.

259. По пути реконструкции / В. Н. Стариченков, М. М. Болотин, Н. М. Борисов, В. Г. Воротников // Ж.-д. трансп. –1986. – № 3. – С. 60 – 61.

260. Повышение качества ремонта вагонов / С. А. Покровский, В. В. Мямлин, В. А. Балаканов, В. А. Пивень. – Москва : Транспорт, 1985. – 37 с.

261. Подъёмно-транспортное оборудование для технического обслуживания подвижного состава // Железные дороги мира. – 2003. – № 3. – С.45–49.

262. Политехнический словарь / Гл. ред. И. И. Артоболевский. – Москва : Советская энциклопедия, 1977. – 608 с.

263. Политика SNCF в области подвижного состава и его технического обслуживания // Железные дороги мира. – 2010. – №4. – С. 38 – 45.

264. Поллард, Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Дж. Поллард.– Москва : Финансы и статистика, 1982. – 344 с.

265. Портер, У. Современные основания общей теории систем / У. Портер. – Москва : Наука, 1971. – 224 с.

266. Постол, Б. Г. Организация производства при техническом обслуживании и ремонте локомотивов в депо / Б. Г. Постол. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010.– 123 с.

267. Поточные методы производства в серийном машиностроении и приборостроении / О. И. Бугаков, А. П. Крассовский, О. И. Непорент и др.; под ред. А. Г. Бермана, А. И. Неймарка. – Москва–Ленинград : Машгиз, 1958.– 326 с.

268. Про розрахунок норми тривалості робочого часу на 2014 рік / Додаток до листа міністерства соціальної політики України від 04 вересня 2013 р. № 9884/0/14-13/13.– Режим доступа: http://viv.medprof.org.ua/uploads/media/4_40.pdf

269. Проектирование вагоноремонтных предприятий: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / К. А. Сергеев, В. Н. Жданов, О. Ю. Кривич, Т. А. Фролова; под ред. К. А. Сергеева. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 265 с.

270. Пугачёв, Г. С. Нормирование трудоёмкости технологических процессов с вероятностными составляющими / Г. С. Пугачёв // Сб. науч. тр. ДонИЖТ.– Донецк : ДонИЖТ, 2008. – № 14.– С. 136 – 141.

271 Развитие ремонтной инфраструктуры железных дорог Германии // Железные дороги мира. – 2006. – № 2. – С. 24 – 26.

272. Разон, В. Ф. Исследование влияния внутритактной синхронизации операций на эффективность работы поточно-конвейерной линии ремонта вагонов в депо / В. Ф. Разон // Совершенствование технического обслуживания и ремонта вагонов: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1978.– С. 28–34.

273. Разон, В. Ф. Повышение эффективности функционирования поточно-

конвейерных линий ремонта грузовых вагонов в депо на основе обеспечения внутритактной синхронизации операций : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В. Ф. Разон; Моск. ин-т инж. тр-та.– Москва : МИИТ, 1987. – 24 с.

274. Разон, В. Ф. Совершенствование оперативного управления ремонтом вагонов на поточно-конвейерной линии вагоносборочного участка депо / В. Ф. Разон // Совершенствование организации ремонта вагонов и их технического обслуживания: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1983. – С. 14 – 22.

275. Райков, Г. В. Пути повышения эффективности организации поточного метода ремонта полувагонов в депо: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Г. В. Райков; Моск. ин-т инж. тр-та. – Москва : МИИТ, 1976. – 164 с.

276. Райков, Г. В. Аналитический метод расчёта параметров поточной линии периодического действия / Г. В. Райков ЦНИИ МПС.– Вып. 593. – Москва : Транспорт, 1978. – 136 с.

277. Рекомендации для выбора рациональных путей развития базы деповского ремонта вагонов. – Москва : МИИТ, 1984. – 42 с.

278. Родов, А. С. План, поток, ритм / А. С. Родов, Д. И. Крутянский.– Ростов-на-Дону : Ростовское книжное изд-во, 1964.– 72 с.

279. Рудаков, В. А. Обоснование взаимосвязей показателей работы вагоноремонтного комплекса и безопасность движения: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 / В. А. Рудаков; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ).– Москва, 2008.– 24 с.

280. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшинский. – Москва : Наука, 1971. – 192 с.

281. Самарский , А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – Москва : Физматлит, 2001. – 320с.

282. Сатановский, Р. Л. Организационное обеспечение гибкости машиностроительного производства / Р. Л. Сатановский. – Ленинград :

Машиностроение, 1987. – 96 с.

283. Свідोцтво про реєстрацію авторського права на твір №55741. Комп'ютерна програма «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов» / В. В. Мямлін; Зареєстр. 24.07.2014.

284. Селиверстов, В. В. Вагон не простых проблем / В. В. Селиверстов // Южная магистраль. – 2009. – № 24 – 25. – 12 июня. – С. 6.

285. Сендеров, Г. К. Актуальные проблемы вагонного хозяйства / Г. К. Сендеров, П. Р. Лосев // Ж.-д. трансп. – 1986. – № 12.– С. 32 – 36.

286. Сенько, В. И. К вопросу расчёта пропускной способности линейных вагоноремонтных предприятий с учётом вероятностного характера объёмов работ с объектами / В. И. Сенько // Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов: Межвуз. сб. науч. ст.– Гомель : БелИИЖТ, 1987.– С. 12 – 22.

287. Сенько, В. И. Методика обоснования рационального уровня резервирования базы деповского ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько // Совершенствование технического обслуживания, ремонта и конструкции вагонов: Межвуз. сб. науч. тр. – Гомель : БелИИЖТ, 1991. – С. 103 – 105.

288. Сенько, В. И. Новая технология ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько, И. Л. Чернин // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта : тезисы докл. II Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 24.09 – 25.09.1996). –Москва : МГУПС, 1996.– С. 113.

289. Сенько, В. И. Обоснование долгосрочных тенденций функционирования и развития базы деповского ремонта грузовых вагонов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / В. И. Сенько; Моск. ин-т инж. тр. та.– Москва : МИИТ, 1989.–46 с.

290. Сенько, В. И. Пути усиления базы по деповскому ремонту грузовых вагонов / В. И. Сенько, Ю. С. Бараш, А. Д. Железняков // Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов:

Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель : БелИИЖТ, 1987. – С. 42 – 51.

291. Сенько, В. И. Развитию деповской базы – научный подход / В. И. Сенько // Ж.-д. трансп. – 1990. – № 6. – С. 41 – 42.

292. Сенько, В. И. Разработка основных цехов и отделений грузового вагонного депо и определение рациональных величин производственных программ / В. И. Сенько. – Гомель : БелИИЖТ, 1977. – 36 с.

293. Сергеев, К. А. Математические модели структурного анализа технологических процессов вагоноремонтного производства / К. А. Сергеев // Наука и техника транспорта. – 2005. – № 3. – С. 28 – 36.

294. Сергеев, К. А. Параметрический анализ технологических процессов вагоноремонтного производства / К. А. Сергеев, В. В. Готаулин, О. Ю. Кривич // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 3. – С. 20 – 24.

295. Сергеев, К. А. Современный подход к формированию моделей технологических процессов ремонта вагонов ВНИИЖТ / К. А. Сергеев // Вестник ВНИИЖТа. – 2005. – № 1. – С. 14–16.

296. Сигорский, В. П. Математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. – Киев : Техніка, 1975. – 768 с.

297. Сирина, Н. Ф. Адаптивная организация вагоноремонтного комплекса / Н. Ф. Сирина, В. В. Цыганов. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2008. – 152 с.

298. Сирина, Н. Ф. Методологические основы формирования адаптивных механизмов организации вагоноремонтного комплекса: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.22 / Н. Ф. Сирина; Уральск. гос. ун-т пут. сообщ. – Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – 46 с.

299. Сирина, Н. Ф. Механизмы функционирования вагонного хозяйства: Монография / Н. Ф. Сирина, В. В. Цыганов. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. – 188 с.

300. Сирина, Н. Ф. Оценка конкурентоспособности вагоноремонтного предприятия / Н. Ф. Сирина, А. М. Симонов // Вестник Уральского гос. ун-та

путей сообщения. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. – № 3 – С. 66–74.

301. Система Kaizen на железных дорогах Швейцарии // Железные дороги мира. – 2007. – № 3. – С. 64–65.

302. Системный анализ и структуры управления / Под ред. В. Г. Шорина. – Москва : Издательство «Знание», 1975. – 304 с.

303. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – Москва : Транспорт, 1982. – 136 с.

304. Скиба, И. Ф. К вопросу организации поточного метода ремонта восьмиосных полувагонов в вагонсборочных цехах вагонных депо / И. Ф. Скиба, И. М. Прохоренко, М. М. Болотин // Динамика, прочность, экономика и ремонт восьмиосных вагонов: Труды МИИТ. – Москва : МИИТ, 1976. – Вып. 530. – С. 105–111.

305. Скиба, И. Ф. Обоснование выбора машин, механизмов и устройств на стадии проектирования комплексно-механизированных линий для ремонта восьмиосных вагонов в сборочном цехе депо / И. Ф. Скиба, М. М. Болотин, И. М. Прохоренко // Динамика, прочность, экономика и ремонт восьмиосных вагонов: Труды МИИТ. – Москва : МИИТ, 1976. – Вып. 530. – С. 97–104.

306. Скиба, И. Ф. Организация, планирование и управление на вагоноремонтных предприятиях / И. Ф. Скиба. – Москва : Транспорт, 1978. – 344 с.

307. Скиба, И. Ф. Поточный метод ремонта вагонов на заводах / И. Ф. Скиба. – Москва : Гострансжелдориздат, 1950. – 247 с.

308. Скиба, И. Ф. Экономическая эффективность новой техники, организации и технологии ремонта вагонов / И. Ф. Скиба. – Москва : Транспорт, 1964. – 243 с.

309. Скурихин, В. И. Математическое моделирование / В. И. Скурихин, В. Б. Шифрин, В. В. Дубровский. – Киев : Техніка, 1983. – 270 с.

310. Смирнов, В. А. Повышение технологической гибкости ремонтного

производства / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 1–2. – С. 47–50.

311. Смирнов, В. А. Стратегическое планирование вагоноремонтного производства с учётом рыночных рисков / В. А. Смирнов, А. М. Семёнов, В. И. Хомутских // Трансп. Урала. – 2011. – №4. – С. 39–44.

312. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов / А. Смит. – Москва : Эксмо, 2009. – 960 с.

313. Советов, Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Москва : Высш. шк., 1998. – 319 с.

314. Современная концепция депо для небольших парков подвижного состава // Железные дороги мира. – 2007. – № 3. – С. 60–63.

315. Сосунов, Н. Н. Повышение эффективности процессов эксплуатации и технического обслуживания подвижного состава в системе ремонтных предприятий отрасли / Н. Н. Сосунов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск : 2006. – С. 219–223.

316. Старых, С. А. Повышение эффективности ремонта грузовых вагонов / С. А. Старых // Ж.-д. трансп. – 2007. – № 8. – С. 24–27.

317. Стеченко, Д. М. Методологія наукових досліджень / Д. М. Стеченко, О. С. Чмир. – Київ : Знання, 2007. – 317 с.

318. Стрекалина, Р. П. Экономика и организация вагонного хозяйства / Р. П. Стрекалина. – Москва : Маршрут, 2005. – 436 с.

319. Структуры и параметры гибкой организации вагоноремонтного процесса / А. Е. Дударев, В. П. Свинухов, В. Г. Анофриев, Л. П. Безовская // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов. – Днепропетровск : ДИИТ, 1987. – С. 65–69.

320. Сысоев, В. В. Автоматизированное проектирование линий и комплектов оборудования полупроводникового и микроэлектронного производства / В. В. Сысоев. – Москва : Радио и связь, 1982. – 120 с.

321. Сычѳв, В. В. Развитие вагонного хозяйства / В. В. Сычѳв, Г. Н. Перов

// Ж.-д. трансп. –1991.– № 1. – С. 38–41.

322. Тартаковский, Э. Д. Моделирование пропускной способности участков технического обслуживания локомотивов / Э. Д. Тартаковский // Вестник ВНИИЖТ. – 1984. – № 5.– С. 3–12.

323. Тартаковский, Э. Д. Научные основы и разработка поточной технологии диагностирования и технического обслуживания тепловозов: автореф. дис. ...-д-ра техн. наук: 02.22.07 / Э. Д. Тартаковский; Моск. ин-т инж. трансп. – Москва : МИИТ, 1984. – 36 с.

324. Тартаковский, Э. Д. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностики и ремонта локомотивов / Э. Д. Тартаковский, А. В. Устенко, В. Г. Пузырь – Харьков : ХИИТ, 1992. – 74 с.

325. Тартаковський, Е. Д. Моделювання процесів ремонту локомотивів на потокових лініях / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. –Харків : УКРДАЗТ, 2008. – Вип. 96. – С. 186–189.

326. Техничко-економическое обоснование строительства завода по ремонту рефрижераторного подвижного состава на ст. Комрат в Молдавской ССР. Проект № 6800. – Днепропетровск : Днепрожелдорпроект, 1981. – 560 с.

327. Техническое обслуживание поездов Pendolino // Железные дороги мира. – 2008. – № 5. – С. 50–55.

328. Технологические основы гибких производственных систем / В. А. Медведев, В. Л. Вороненко, В. Н. Брюханов и др.; под ред. Ю. М. Соломенцева.– Москва : Высш. шк., 2000. – 255 с.

329. Технологическое сопровождение ремонта и технологическое обслуживание пассажирских вагонов нового поколения / С. В. Мямлин, А. В. Кутько, Ю. В. Кебал, В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 06 – 10.07.2011). – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – С. 79–81.

330. Технологія ремонту рухомого складу. Ч. 1: навч. посіб. /

В. О. Шамагін, М. Ф. Ареф'єв, В. Н. Пасько та ін. – Київ : Дельта, 2008. – 479 с.

331. Технология производства и ремонта вагонов / К. В. Мотовилов, В. С. Лукашук, В. Ф. Криворудченко, А. А. Петров; под ред. К. В. Мотовилова. – Москва : Маршрут, 2003. – 382 с.

332. Тимченко, А. Ю. Инновационные подходы к решению проблем вагонного хозяйства / А. Ю. Тимченко // Инновационные проекты, новые технологии и изобретения : сб. докл. науч.-прак. конф. (Москва, 27–28 октября 2005 г.). – Щербинка : ВНИИЖТ, 2005. – С. 49–52.

333. Типові норми часу на зварювальні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів / Наказ Укрзалізниці № 554-Ц від 24.12.2008. – Київ, 2008. – 94 с.

334. Типові норми часу на підготовчо-заклучні дії, обслуговування робочого місця і регламентовані перерви для робітників підприємств вагонного господарства / Наказ Укрзалізниці № 576-Ц від 03.12.03. – Київ, 2003. – 36 с.

335. Типові норми часу на слюсарні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів / Наказ Укрзалізниці № 581-ЦЗ від 03.12.03. – Київ, 2004 – 154 с.

336. Типові норми часу на столярні та малярні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів / Наказ Укрзалізниці № 331-Ц від 09.06.09. – Київ, 2009. – 73 с.

337. Типовой проект организации труда на вагоноборочном производственном участке грузового депо / ЦВ МПС, ПКБ ЦВ. – Москва : ПКБ ЦВ, 1981. – 114 с.

338. Типовий технологічний процес на капітальний ремонт чотиривісних напіввагонів у вагонних депо Т08.06. – Київ : Швидкий рух, 2006. – 308 с.

339. Транспортна стратегія України на період до 2020 року : [Схвал. розп. КМУ № 2174-р від 20.10.2010 р.]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.

340. Тухарели, О. Г. Ремонту вагонів – індустріальную базу /

О. Г. Тухарели, Р. Г. Морчиладзе // Ж.-д. трансп. –1985.– № 1. – С. 42–44.

341. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів / В. О. Мельничук, В. В. Мямлін, І. В. Ісопенко, С. В. Мямлін // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк : ДонІЗТ, 2010. – Вип. 22. – С. 101–108.

342. Ужегов, Г. Н. Биоритмы на каждый день / Г. Н. Ужегов. – Москва : Агенство «Фаир», 1997. – 608 с.

343. Устич, П. А. Вагонное хозяйство / П. А. Устич, И. И. Хаба, В. А. Ивашов; под ред. П. А. Устича. – Москва : Маршрут, 2003.– 560 с.

344. Фалендиш, А. П. Аналіз робіт вчених в області оптимізації системи технічного обслуговування і ремонту / А. П. Фалендиш, О. В. Устенко, М. В. Володарець // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк : ДонІЗТ, 2012. – Вип. 31. – С. 114–121.

345. Физиологические и психологические основы труда / Е. Ф. Полежаев, Н. П. Калинина, В. Г. Макушин, С. Э. Славина. – Москва : Профиздат, 1974.– 232 с.

346. Философия науки / Под ред. С. А. Лебедева: Учебное пособие для вузов.- Москва : Академический Просект; Альма Матер, 2007. – 731 с.

347. Философия техники в ФРГ / Состав. и присл. Ц. Г. Арзаканяна и В. Г. Горохова. – Москва : Прогресс, 1989. – 528 с.

348. Фильков, Н. И. Поточные линии ремонта локомотивов в депо / Н. И. Фильков, Е. Л. Дубинский, М. М. Майзель. – Москва : Транспорт, 1983. – 302 с.

349. Форд, Г. Сегодня и завтра / Г. Форд. – Москва : Финансы и статистика, 1992. – 239 с.

350. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. – Москва : ООО «Биком-Пресс», 2007. – 512 с.

351. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – Москва : Издательствл «Мир», 1969. – 595 с.

352. Хорафас, Д. Н. Системы и моделирование / Д. Н. Хорафас. – Москва : Издательство «Мир», 1967. – 420 с.
353. Хубка, В. Теория технических систем / В. Хубка. – Москва : Мир, 1987. – 208 с.
354. Чернышев, П. Н. Ремонт вагонов на конвейере / П. Н. Чернышев, А. К. Сорока, П. Н. Наливайко.– Москва : Трансжелдориздат, 1962. – 156 с.
355. Чирков, В. Г. Выборы рациональных технических решений / В. Г. Чирков.– Київ : Техніка, 1991. – 159 с.
356. Чирков, В. Г. Расчёты экономического эффекта новой техники / В. Г. Чирков. – Київ : Техніка, 1984. – 182 с.
357. Чупейкина, Л. Г. Деповскому ремонту вагонов – экономическую основу / Л. Г. Чупейкина // Ж.-д. трансп. –1987. – № 6. – С. 50–53.
358. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука / Р. Шеннон. – Москва : Мир, 1978. – 418 с.
359. Шикина, Д. И. Оптимизация нормативного срока службы и системы технического обслуживания и ремонта вагона с учётом качества его ремонтов (на примере полувагона): автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 / Д. И. Шикина; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – Москва, 2012. – 24 с.
360. Шилович, А. В. Влияние организации технологических линий ремонта грузовых вагонов на трудоёмкость их технического обслуживания на ПТО /А. В. Шилович // Совершенствование технического обслуживания, ремонта и конструкции вагонов: Межвуз. сб. науч. тр. – Гомель : БелИИЖТ, 1991. – С. 71–77.
361. Шильт, М. З. Поточно-конвейерный метод ремонта полувагонов с широким применением средств механизации и автоматизации производственных процессов / М. З. Шильт, Ю. М. Бакрадзе, В. Г. Башкатова // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Обзорная информация.– Москва : ЦНИИТЭИ МПС, 1978. – № 1.– 17 с.
362. Шипунов, А. С. Ремонт грузовых вагонов под контролем /

А. С. Шипунов // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов.– ОИ/ЦНИИТЭИ. – 2004.– №3.– С. 43–50.

363. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – Москва : Изд-во ин. лит., 1959. – 432 с.

364. Яковлев, Г. Ф. Поток и ритм в локомотиворемонтном производстве / Г. Ф. Яковлев, А. И. Иунихин, Ю. М. Колесников и др. – Москва : Транспорт, 1978. – 174 с.

365. Яковлева, Н. М. Моментно-выборочное наблюдение использования во времени поточной линии сборочного цеха / Н. М. Яковлева // Вопросы эксплуатации, строительства и экономики железных дорог : Труды МИИТ. – Вып. 465, ч. 1. – Москва, 1975.– С. 140–145.

366. Якубов, М. С. Основы создания гибких автоматизированных систем многостадийных производств / М. С. Якубов.– Ташкент : Фан, 1991. – 136 с.

367. Ямпольский, Л. С. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах / Л. С. Ямпольский, М. Н. Полищук. – Киев : Техніка, 1988. – 173 с.

368. Янов, А. М. Эффект реконструкции: (Передовой опыт реконструкции вагонного депо Красноармейск) / А. М. Янов, В. Х. Хозло, К. Х. Клименко. – Москва : Транспорт, 1981. – 102 с.

369. Blokhin, Y. P. Optimization of parameters of spring suspension of the freight car three-piece bogie / Blokhin Y. P., Pshin'ko O. M., Myamlin S. V. // Proc. of the 5th international conf. on railway bogies and running gears. – Budapest : BUTE, 2001. – P.84–86.

370. Myamlin, V. V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system / V. V. Myamlin // TRANSBALTICA 2009 (22.04 – 23.04.2009): Proceedings of the 6-th International Scientific Conference / Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. – Vilnius : Technica, 2009. – P. 173–178.

371. Myamlin, V. V. Searching of the ways of definition of the rational

configuration of divisions of the car-repair facilities on the basis of the flexible stream on the design stage / V. V. Myamlin // TEKA. Commiss. of Motorization and Energetics in Agriculture.– 2013. – Vol. 13, № 4.– P. 167–173.

372. Pat. 6769162 US, MIIK⁷, B 23 P 6/00. Railcar maintenance process / Barich D. J. Barich D. M., Donahue T. P.; assignee General Electric Company.– № 09/725656; Filed 29.11.2000; Date of Pat. 03.08.2004. – 16 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Акты внедрения



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

**ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ
 ПРОЕКТНО-ВИШУКУВАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ»
 ДП «ДНІПРОЗАЛІЗНИЧПРОЕКТ»**

пр. Карла Маркса, 108, м. Дніпропетровськ, 49600, тел./факс (056) 793-07-07 e-mail: np.dzproekt@dp.uz.gov.ua

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Директор інституту
 ДП «Дніпрозалізничпроект»
 В. В. Калінін
 «22» 11 2011 року

м. Дніпропетровськ

А К Т

впровадження результатів виконаних досліджень

Дійсний акт складено про те, що розроблені к.т.н. Мямліним В. В. при підготовці докторської дисертації мультифазні поліканальні багатопредметні потоки для ремонту вантажних вагонів були використані інститутом «Дніпрозалізничпроект» в проекті № 7713 – «Основні технологічні рішення будівництва спеціалізованого вагоноремонтного комплексу для ремонту апатитовозів і вагонів для перевезення мінеральних добрив на ст. Апатити-1 Октябрьської залізниці» (Російська Федерація).

Крім того, запропоновані в дисертаційній роботі основні ідеї та методи імітаційного моделювання вагоноремонтних потоків становлять великий практичний інтерес і прийняті для використання при виконанні проекту реконструкції вагонного депо на ст. Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці (Україна) з переведенням його на повний цикл ремонту вантажних вагонів за гнучкою технологією.

Орієнтовний економічний ефект від використання у виробництві розробленого Мямліним В. В. методу організації ремонту вантажних вагонів складає 2,8 млн. грн. на 1000 вантажних вагонів, які відремонтовано деповським ремонтом.

Головний інженер
 ДП «Дніпрозалізничпроект»

В. П. Біляков

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна,
д.т.н., професор



Б. С. Боднар
Б. С. Боднар

2015 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи к.т.н., доцента кафедри
«Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Мямліна Владислава Віталійовича

на тему «Розвиток наукових основ створення гнучких
потоків технологій ремонту рухомого складу»

Матеріали дисертаційної роботи використані у навчальному процесі
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна при підготовці спеціалістів за напрямом 6.070105 - «Рухомий склад
залізниць» по спеціальності 7.(8).07010502 - «Вагони та вагонне господарство» у
дисциплінах «Основи експлуатації та ремонту вагонів» та «Вагонне господарство».

Завідуючий кафедрою

«Вагони та вагонне господарство»,

д.т.н., професор

А. А. Босов

А. А. Босов

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна,



Б. Є. Боднар

2015 р.

А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи к.т.н., доцента кафедри
«Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Мямліна Владислава Віталійовича

на тему **«Розвиток наукових основ створення гнучких
потоків технологій ремонту рухомого складу»**

Матеріали дисертаційної роботи використані у навчальному процесі при підвищенні кваліфікації фахівців вагоноремонтних підприємств вагонного господарства Укрзалізниці в Навчально-науково-методичному центрі післядипломної освіти Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при викладанні лекційного матеріалу з інноваційних технологій у вагонному господарстві, в частині організації перспективних методів ремонту вагонів із застосуванням гнучких технологій.

Директор ННМЦПО ДНУЗТу,
к.т.н., доцент

О. М. Патласов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Объекты интеллектуальной собственности, созданные
в результате диссертационного исследования

УКРАЇНА

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО
 про реєстрацію авторського права на твір

№ 55741

Комп'ютерна програма "Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов"
(вид, назва службового твору)

Автор(и) Мямлін Владислав Віталійович
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, 49010
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 24.07.2014

Голова Державної служби інтелектуальної власності України
 М.В. Ковнія



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Описание интерфейса компьютерной программы «Имитационное моделирование технологического потока для ремонта вагонов»

Программа имитационного моделирования и расчёта основных показателей генерального вагоноремонтного потока (далее Программа) представляет собой интеллектуальный продукт, предназначенный для имитационного моделирования различных структур потоков ремонта вагонов разных типов.

При разработке программы использовалась среда приложений Microsoft Visual Studio 2010, а текст самой программы написан на алгоритмическом языке Visual Basic. Интерфейс программного обеспечения позволяет в понятной пользователю форме задавать исходные данные для моделирования работы различных структурных вариантов потоков. Данная имитационная программа позволяет производить расчёт вагоноремонтных предприятий практически с любой структурой.

Интерфейс Программы устроен следующим образом. При запуске Программы на экране монитора появляется основная панель, на которой изображена сменяемая заставка и расположена строка главного меню со следующими пунктами: «Исходные данные», «Начало моделирования», «Печать», «Настройки» и «Выход» (рис. В.1).

При наведении курсора на пункты главного меню появляется всплывающая строка с подсказкой: «Исходные данные» → «Установка параметров модели», «Начало моделирования» → «Выполнение моделирования», «Печать» → «Печать результатов», «Настройки» → «Настройки программы», «Выход» → «Завершение работы».

При нажатии левой кнопкой мыши на пункт «Исходные данные» появляется новая панель, в верхней строке которой расположено меню, состоящее из двух пунктов: «Сохранить данные» и «Возврат». Нижняя строка

состоит из четырёх закладок: «Структура потока», «Характеристики временных моделей», «Программа ремонта» и «Времена восстановления оборудования» (рис. В.2).

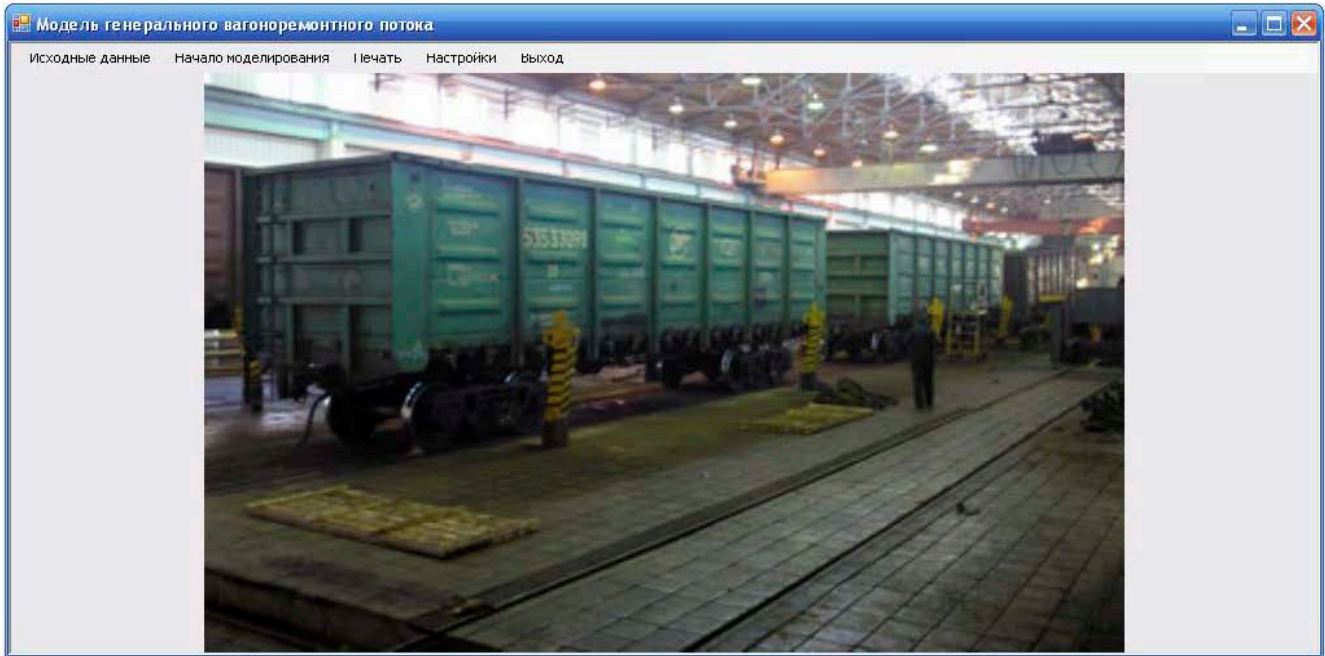


Рисунок В.1 - Вид основной панели интерфейса программы с изображением главного меню

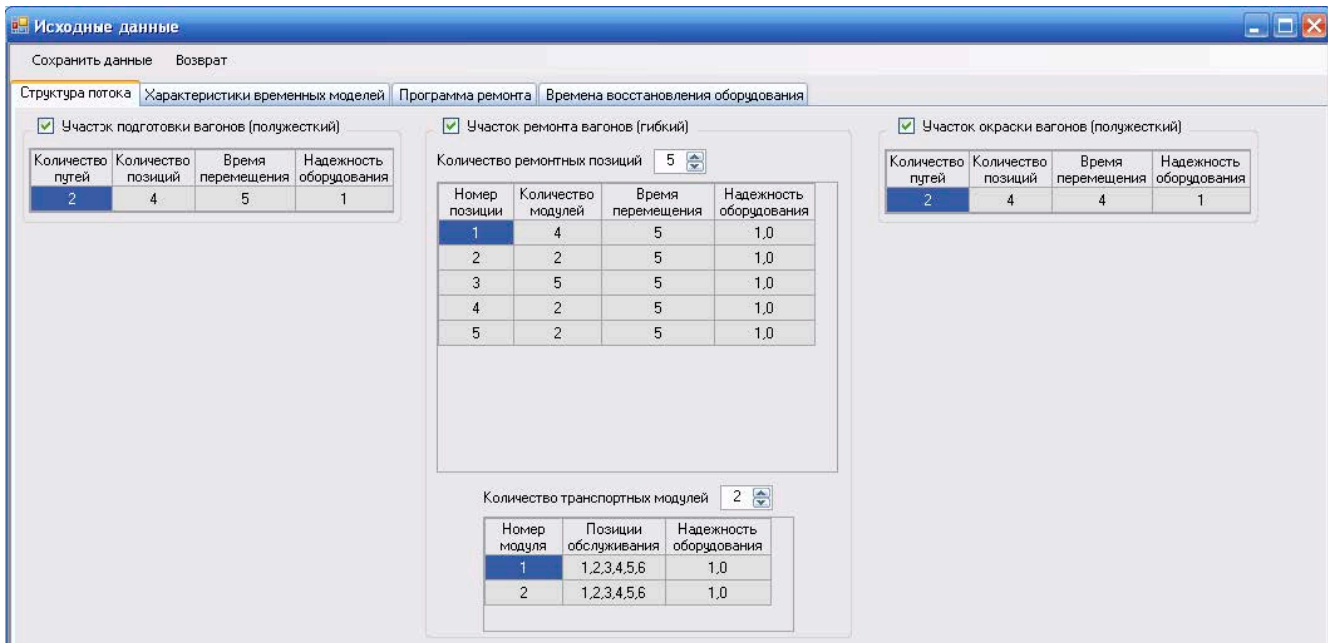


Рисунок В.2 - Вид панели «Структура потока» из раздела «Исходные данные»

При нажатии левой клавишей мыши на закладку «Структура потока» появляется панель, на которой расположены четыре таблицы для ввода исходных данных. Три верхние таблицы представляют данные по структуре отдельных участков потока: участок подготовки вагонов, участок ремонта вагонов, участок окраски вагонов. Данные заносятся путём обычного заполнения таблиц. В таблицах для первого и третьего участков (полужёсткий поток) должно быть указано количество ремонтных путей, количество позиций, время перемещения вагонов между позициями и надёжность технологического оборудования по каждой позиции. Для второго участка (гибкий поток) указывается общее количество позиций, количество ремонтных модулей на каждой позиции, а также надёжность технологического оборудования на позициях. Кроме этого, указывается количество транспортных модулей, их надёжность, а также номера позиций, которые они обслуживают, а также их надёжность.

При открытии закладки «Характеристики временных моделей» появляется панель, на которой имеются три таблицы, каждая из которых характеризует отдельный участок потока: подготовки, ремонта, окраски (рис. В.3). В этих таблицах для каждой отдельной позиции для каждой отдельной группы (тип вагона, вид ремонта) задаются исходные данные в виде случайного времени выполнения работ. Эти данные могут быть заданы либо математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением времени выполнения работ на позиции, либо вводится целый ряд статистических данных, на основании которых, согласно полученной интегральной функции, генерируется случайное время выполнения работ на позиции.

Исходные данные

Сохранить данные Возврат

Структура потока **Характеристики временных моделей** Программа ремонта Времена восстановления оборудования

Временные параметры ремонта объектов (Часток подготовки)

Группа	Позиция 1		Позиция 2		Позиция 3		Позиция 4	
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.
1	30	5	20	3	30	3	30	5
2	30	5	20	3	30	3	45	6

Временные параметры ремонта объектов (Часток ремонта)

Группа	Позиция 1		Позиция 2		Позиция 3		Позиция 4		Позиция 5	
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.
1	210	25	110	5	230	21	90	6	70	5
2	350	30	160	6	280	25	90	6	70	5

Временные параметры ремонта объектов (Часток окраски)

Группа	Позиция 1		Позиция 2		Позиция 3		Позиция 4	
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.
1	50	5	45	3	60	3	30	3
2	60	5	45	3	60	3	40	4

Рисунок В.3 - Вид панели «Характеристики временных моделей»
из раздела «Исходные данные»

При открытии закладки «Программа ремонта» появляется панель, содержащая три таблицы: «Параметры объектов ремонта», «Программа ремонта» и «Временные параметры работы» (рис. В.4). В таблице «Параметры объектов ремонта» задаётся количество групп ремонта, тип вагона, вид ремонта (деповской или капитальный), нормативное время простоя вагонов в ремонте. В случае необходимости для каких-нибудь групп может быть задан приоритет на обслуживание. В таблице «Программа ремонта за год» задаётся годовая мощность предприятия по типам вагонов и видам ремонта. В таблице «Временные параметры работы» задаётся шаг моделирования и режим работы предприятия: продолжительность рабочей смены, количество смен, количество рабочих дней в году.

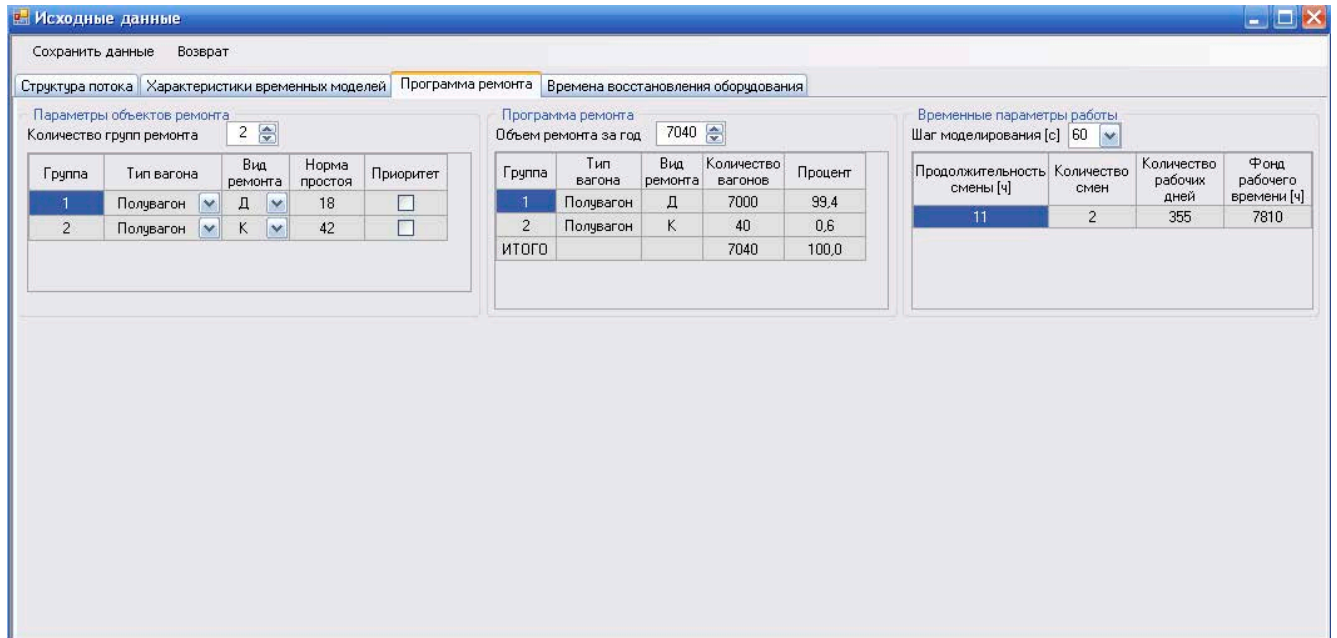


Рисунок В.4 - Вид панели «Программа ремонта»
из раздела «Исходные данные»

При открытии закладки «Времена восстановления оборудования» появляется панель, содержащая четыре таблицы. Каждая таблица соответствует либо одному из участков потока, либо трансбордерным тележкам (рис. В.5). При помощи этих таблиц можно задавать время восстановления оборудования, в случае его поломки.

При нажатии на пункт меню «Сохранить данные», все введенные исходные данные записываются в файлах программы и могут быть использованы при следующем моделировании. При нажатии на пункт меню «Возврат», появляется основная панель с главным меню.

Время восстановления оборудования (Участок подготовки)										
Объект	Позиция 1		Позиция 2		Позиция 3		Позиция 4			
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.		
Модуль	20	3	25	3	20	3	10			

Время восстановления оборудования (Участок ремонта)												
Объект	Позиция 1		Позиция 2		Позиция 3		Позиция 4		Позиция 5			
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.		
Модуль	60	3	10	2	45	3	20	3	25	3		

Время восстановления оборудования (Участок окраски)										
Объект	Позиция 1		Позиция 2		Позиция 3		Позиция 4			
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.		
Модуль	30	3	25	2	10	2	5	1		

Время восстановления оборудования (Трансбордерные тележки)				
Объект	Тележка 1		Тележка 2	
	М.О.	С.К.О.	М.О.	С.К.О.
Тележка	120	5	120	5

Рисунок В.5 - Вид панели «Времена восстановления оборудования»
из раздела «Исходные данные»

При нажатии на пункт меню «Начало моделирования», программа начинает работать.

При нажатии на пункт меню «Печать», происходит выдача результатов моделирования на бумажный носитель.

При нажатии на пункт меню «Настройки», появляется панель с тремя пунктами: «Выбор заставки», «Выбор цвета» и «Выбор мелодии». С помощью пункта «Выбор заставки» можно подобрать заставку для главной панели, которая будет, например, создавать ассоциацию с типом моделируемых вагонов. При помощи пункта «Выбор цвета» пользователь может подобрать для себя необходимый цвет таблиц для ввода исходных данных. При помощи пункта «Выбор мелодии» можно подобрать музыкальное сопровождение, которое будет звучать в течение процесса моделирования. Как только процесс моделирования заканчивается, звучание мелодии прекращается.

Результаты моделирования представлены в виде двух закладок: «Конвейер» и «Программа ремонта». При открытии закладки «Конвейер» (рис. В.6) появляется панель, на которой представлены три таблицы, отражающие

результаты работы отдельных участков потока: участка подготовки вагонов к ремонту, участка ремонта вагонов и участка окраски. В этих таблицах для каждой отдельной позиции приведены расчёты коэффициентов использования позиций и коэффициента загрузки позиций. В нижней строке представлены общие результаты работы потока: время работы потока, среднее время такта и среднеквадратическое отклонение такта.

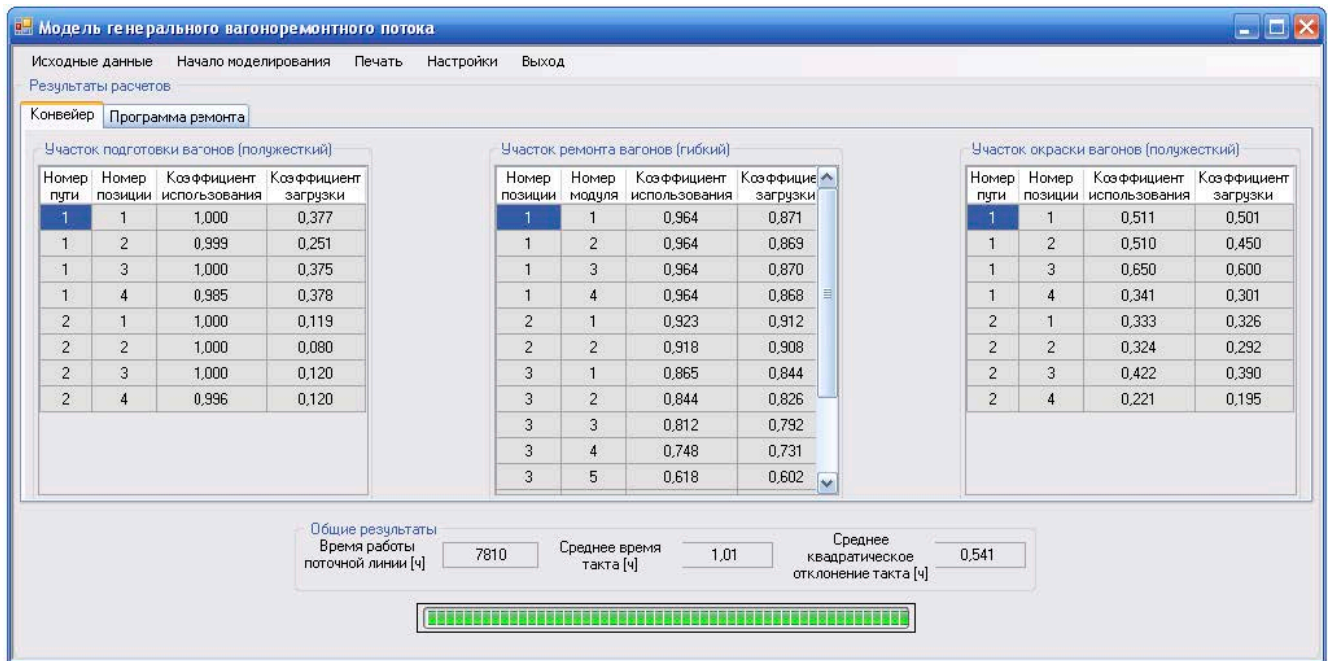


Рисунок В.6 - Вид панели с результатами расчёта показателей работы позиций и модулей

Закладка «Программа ремонта» представлена двумя таблицами (рис. В.7). В левой таблице зафиксированы входящие номера вагонов, выходящие номера этих же вагонов, тип вагона и вид ремонта, время непосредственного ремонта, время простоя и общее время нахождения в цехе. В правой таблице по каждой группе ремонта указывается, сколько всего поступило вагонов в ремонт, сколько вышло из ремонта, сколько вагонов не превысило нормативное время простоя, сколько вагонов превысило нормативное время простоя, математическое ожидание времени нахождения вагонов в ремонте и среднеквадратическое отклонение времени нахождения вагонов в ремонте.

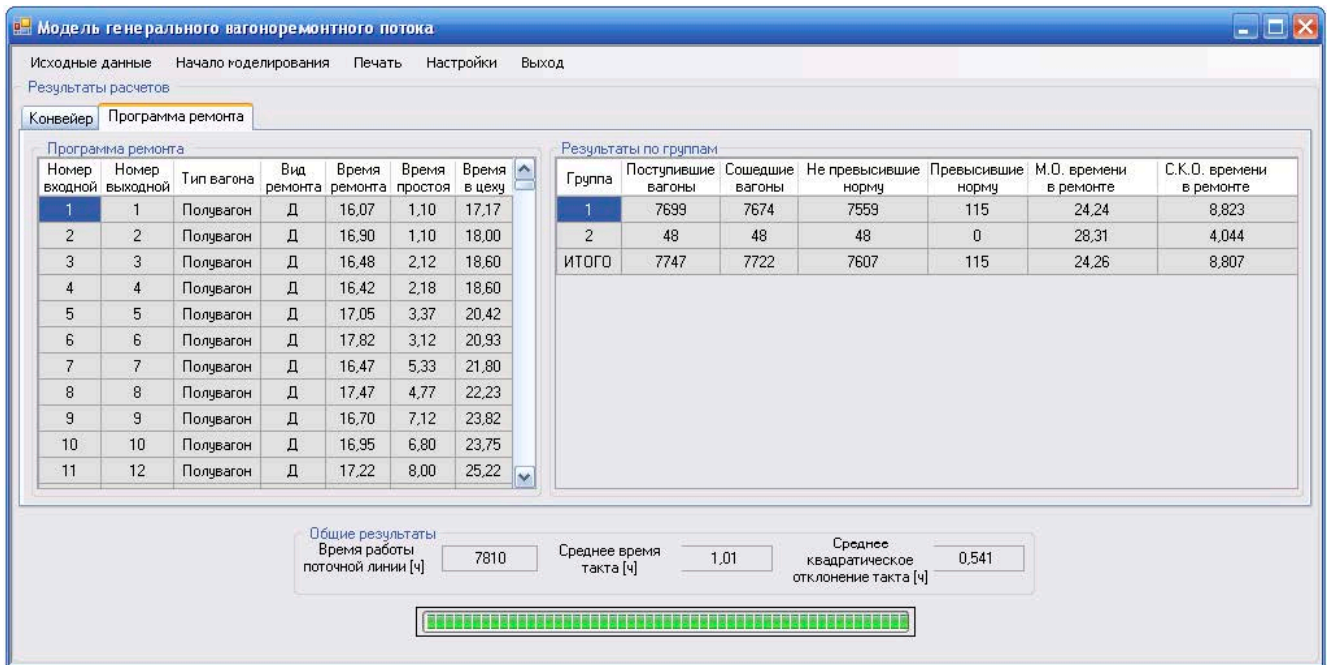


Рисунок В.7 - Вид панели с результатами расчёта
основных показателей работы потока

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Текст программы «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов»

Imports System

Imports System.Collections.Generic

Imports System.IO

Module Model

Public Function Modelling(ByVal ProgressBar As ProgressBar, ByVal PrepPositions As DataGridView, ByVal PaintPositions As DataGridView, ByVal RepairPositions As DataGridView, ByVal RepairProgramm As DataGridView) As TCommonResults

```

'-----
'          Создать модель поточной линии
'-----
'----- Участок подготовки -----

```

```

Dim PrepWayCount As Integer      ' Число путей
Dim PrepPosCount As Integer      ' Число позиций
Dim PrepMovTime As Double        ' Время перемещения между позициями
Dim PrepFailure(20) As Double    ' Вероятность отказа
Dim PrepRecoveryMean(20) As Double ' Средние времена восстановления оборудования
Dim PrepRecoveryDeviation(20) As Double ' С.К.О. времен восстановления оборудования

```

```

'----- Участок окраски -----

```

```

Dim PaintWayCount As Integer      ' Число путей
Dim PaintPosCount As Integer      ' Число позиций
Dim PaintMovTime As Double        ' Время перемещения между позициями
Dim PaintFailure(20) As Double    ' Вероятность отказа
Dim PaintRecoveryMean(20) As Double ' Средние времена восстановления оборудования
Dim PaintRecoveryDeviation(20) As Double ' С.К.О. времен восстановления оборудования

```

```

'----- Участок ремонта -----

```

```

' Ремонтные позиции
Dim PositionCount As Integer      ' Кол-во позиций
Dim ModulesCount(20) As Integer    ' Количества модулей на каждой позиции
Dim MovingTimes(20) As Double      ' Времена перемещения между позициями
Dim Failures(20) As Double         ' Вероятности отказов каждой позиции
Dim RecoveryMean(20) As Double     ' Средние времена восстановления оборудования
Dim RecoveryDeviation(20) As Double ' С.К.О. времен восстановления оборудования

```

```

' Транспотрные модули
Dim TrModCount As Integer          ' Кол-во транспортных модулей
Dim TrServPos(20) As String        ' Позиции обслуживания

```

```

Dim TrFailure(20) As Double      ' Вероятность отказа
Dim TrRecoveryMean(20) As Double ' Средние времена восстановления оборудования
Dim TrRecoveryDeviation(20) As Double ' С.К.О. времен восстановления оборудования

' Объекты ремонта
Dim ObjOption As Integer        ' Кол-во типов объектов ремонта
Dim Mean(20, 20) As Double      ' Средние времена ремонта для такого-то типа и та-
кой-то позиции
Dim PrepMean(20, 20) As Double
Dim PaintMean(20, 20) As Double
Dim Deviation(20, 20) As Double ' С.К.О. времен ремонта для такого-то типа и такой-
то позиции
Dim PrepDeviation(20, 20) As Double
Dim PaintDeviation(20, 20) As Double
Dim EndOfString As String = "" '
Dim RowIndexes(20, 20) As Integer ' Индексы ячеек таблицы участка ремонта

Dim OTCCount(20) As Integer     ' Количества объектов ремонта разных типов
Dim ObjType(20) As String       ' Типы вагонов объектов
Dim ObjMode(20) As String       ' Виды ремонтов объектов
Dim ObjTime(20) As String       ' Нормативные времена ремонта
Dim ObjPriority(20) As Boolean   ' Приоритеты объектов ремонта
Dim ObjTypeIndex As Integer     ' Индекс объекта

Dim Conveyer As TConveyer       ' Модель конвейера
Dim RepairProgram As TRepairProgram ' Модель программы ремонта

Dim OperatingHours As Double    ' Продолжительность смены
Dim ShiftsAmount As Integer     ' Количество смен в день
Dim WorkingDayAmount As Integer ' Количество рабочих дней в году
Dim WorkingTimeFound As Double  ' Фонд рабочего времени за год

Dim CResults As New TCommonResults ' Общие результаты работы поточной линии

Dim FirstSection, SecondSection, ThirdSection As Boolean ' Флаги секций

'-----'
'          Чтение параметров модели конвейера          '
'-----'

'----- Конфигурация поточной линии -----'
Try
    FileSystem.FileOpen(1, ".\DATA\ConveyerConfig.txt", OpenMode.Input)

    FileSystem.Input(1, FirstSection)
    FileSystem.Input(1, SecondSection)
    FileSystem.Input(1, ThirdSection)
Catch ex As FileNotFoundException
    ' Файл не найден

```

```

    MessageBox.Show("Файл конфигурации конвейера не найден. Моделирование пре-
рвано", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End Try
FileSystem.FileClose(1)

'----- Параметры участка подготовки -----'
Try
    ' Структура участка
    FileSystem.FileOpen(1, ".\DATA\PrepData.txt", OpenMode.Input) ' Файл параметров
ремонтных позиций
    ' Бесконечный цикл
    While True
        Try
            ' Чтение параметров позиции
            FileSystem.Input(1, PrepWayCount)
            FileSystem.Input(1, PrepPosCount)
            FileSystem.Input(1, PrepMovTime)
            FileSystem.Input(1, PrepFailure(0))

        Catch ex As IOException
            ' Прервать цикл
            For k As Integer = 1 To PrepPosCount - 1
                PrepFailure(k) = PrepFailure(0)
            Next
            Exit While
        End Try
    End While

'----- Таблица результатов -----'
For n As Integer = 0 To PrepWayCount * PrepPosCount - 1
    PrepPositions.Rows.Add()

    PrepPositions(0, n).Value = n \ PrepPosCount + 1
    PrepPositions(1, n).Value = n Mod PrepPosCount + 1
Next

' Параметры восстановления оборудования
FileSystem.FileOpen(2, ".\DATA\PrepRecoveryData.txt", OpenMode.Input) ' Файл па-
раметров ремонтных позиций
For k As Integer = 0 To PrepPosCount - 1
    FileSystem.Input(2, PrepRecoveryMean(k))
    FileSystem.Input(2, PrepRecoveryDeviation(k))
Next
FileSystem.FileClose(2)

Catch ex As FileNotFoundException
    ' Файл не найден
    If FirstSection Then

```

```

    MessageBox.Show("Параметры участка подготовки не найдены. Моделирование
прервано.", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End If
End Try
' Закрывать файл
FileSystem.FileClose(1)

'----- Параметры участка окраски -----'
Try
    FileSystem.FileOpen(1, ".\DATA\PaintData.txt", OpenMode.Input) ' Файл параметров
ремонтных позиций
    ' Бесконечный цикл
    While True
        Try
            ' Чтение параметров позиции
            FileSystem.Input(1, PaintWayCount)
            FileSystem.Input(1, PaintPosCount)
            FileSystem.Input(1, PaintMovTime)
            FileSystem.Input(1, PaintFailure(0))

            Catch ex As IOException
                ' Прервать цикл
                For k As Integer = 1 To PaintPosCount - 1
                    PaintFailure(k) = PaintFailure(0)
                Next
                Exit While
            End Try
        End While

        '----- Таблица результатов -----'
        For n As Integer = 0 To PaintWayCount * PaintPosCount - 1
            PaintPositions.Rows.Add()

            PaintPositions(0, n).Value = n \ PaintPosCount + 1
            PaintPositions(1, n).Value = n Mod PaintPosCount + 1
        Next

        ' Параметры восстановления оборудования
        FileSystem.FileOpen(2, ".\DATA\PaintRecoveryData.txt", OpenMode.Input) ' Файл па-
раметров ремонтных позиций
        For k As Integer = 0 To PaintPosCount - 1
            FileSystem.Input(2, PaintRecoveryMean(k))
            FileSystem.Input(2, PaintRecoveryDeviation(k))
        Next
        FileSystem.FileClose(2)

        Catch ex As FileNotFoundException
            ' Файл не найден
            If ThirdSection Then

```

```

    MsgBox.Show("Параметры участка окраски не найдены. Моделирование прервано.", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End If
End Try
' Закрывать файл
FileSystem.FileClose(1)

'----- Параметры ремонтных позиций -----'
PositionCount = 0
Try
    FileSystem.FileOpen(1, ".\DATA\PosData.txt", OpenMode.Input) ' Файл параметров
ремонтных позиций
    ' Бесконечный цикл
    While True
        Try
            ' Чтение параметров позиции
            FileSystem.Input(1, ModulesCount(PositionCount))
            FileSystem.Input(1, MovingTimes(PositionCount))
            FileSystem.Input(1, Failures(PositionCount))

            PositionCount += 1
        Catch ex As IOException
            ' Прервать цикл
            Exit While
        End Try
    End While

'----- Таблица результатов -----'
DimRowIndex As Integer = 0
For n As Integer = 0 To PositionCount - 1
    For k As Integer = 0 To ModulesCount(n) - 1
        RepairPositions.Rows.Add()

        RepairPositions(0, DimRowIndex).Value = n + 1
        RepairPositions(1, DimRowIndex).Value = k + 1

        RowIndexes(n, k) = DimRowIndex

        DimRowIndex += 1
    Next
Next

' Параметры восстановления оборудования
FileSystem.FileOpen(2, ".\DATA\RepRecoveryData.txt", OpenMode.Input) ' Файл па-
раметров ремонтных позиций
For k As Integer = 0 To PositionCount - 1
    FileSystem.Input(2, RecoveryMean(k))
    FileSystem.Input(2, RecoveryDeviation(k))
Next

```

```

FileSystem.FileClose(2)

Catch ex As FileNotFoundException
' Файл не найден
If SecondSection Then
    MessageBox.Show("Параметры ремонтных позиций не найдены. Моделирование
прервано.", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End If
End Try
' Закрыть файл
FileSystem.FileClose(1)

'----- Параметры транспортных модулей -----'
TrModCount = 0
Try
    FileSystem.FileOpen(1, ".\DATA\TransData.txt", OpenMode.Input) ' Файл параметров
ремонтных позиций
    ' Бесконечный цикл
    While True
        Try
            ' Чтение параметров позиции
            FileSystem.Input(1, TrServPos(TrModCount))
            FileSystem.Input(1, TrFailure(TrModCount))

            TrModCount += 1
        Catch ex As IOException
            ' Прервать цикл
            Exit While
        End Try
    End While

    ' Параметры восстановления оборудования
    FileSystem.FileOpen(2, ".\DATA\BogiesRecoveryData.txt", OpenMode.Input) ' Файл
параметров ремонтных позиций
    For k As Integer = 0 To TrModCount - 1
        FileSystem.Input(2, TrRecoveryMean(k))
        FileSystem.Input(2, TrRecoveryDeviation(k))
    Next
    FileSystem.FileClose(2)

Catch ex As FileNotFoundException
' Файл не найден
If SecondSection Then
    MessageBox.Show("Параметры транспортных модулей не найдены. Моделирование
прервано.", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End If
End Try
' Закрыть файл

```

```

FileSystem.FileClose(1)

'----- Временные параметры, программа ремонта и параметры объектов ремонта-----'
ObjOption = 0
Try
    FileSystem.FileOpen(1, ".\\DATA\\TimeData.txt", OpenMode.Input)    ' Файл времен-
ных параметров ремонта
    FileSystem.FileOpen(2, ".\\DATA\\ProgData.txt", OpenMode.Input)    ' Файл програм-
мы ремонта
    FileSystem.FileOpen(3, ".\\DATA\\ObjData.txt", OpenMode.Input)    ' Файл парамет-
ров объектов ремонта
    FileSystem.FileOpen(4, ".\\DATA\\PrepTimeData.txt", OpenMode.Input) ' Файл времен-
ных параметров подготовки
    FileSystem.FileOpen(5, ".\\DATA\\PaintTimeData.txt", OpenMode.Input) ' Файл времен-
ных параметров окраски
' Бесконечный цикл
While True
    Try
        ' Временные параметры подготовки этого объекта
        For n As Integer = 0 To PrepPosCount - 1
            FileSystem.Input(4, PrepMean(ObjOption, n))
            FileSystem.Input(4, PrepDeviation(ObjOption, n))
        Next
        FileSystem.Input(4, EndOfString)

        ' Временные параметры ремонта этого объекта
        For n As Integer = 0 To PositionCount - 1
            FileSystem.Input(1, Mean(ObjOption, n))
            FileSystem.Input(1, Deviation(ObjOption, n))
        Next
        FileSystem.Input(1, EndOfString)

        ' Временные параметры окраски этого объекта
        For n As Integer = 0 To PaintPosCount - 1
            FileSystem.Input(5, PaintMean(ObjOption, n))
            FileSystem.Input(5, PaintDeviation(ObjOption, n))
        Next
        FileSystem.Input(5, EndOfString)

        ' Количество таких объектов
        FileSystem.Input(2, OTCount(ObjOption))
        ' Тип вагона и режим ремонта этого объекта и приоритет
        FileSystem.Input(3, ObjType(ObjOption))
        FileSystem.Input(3, ObjMode(ObjOption))
        FileSystem.Input(3, ObjTime(ObjOption))
        FileSystem.Input(3, ObjPriority(ObjOption))

        ObjOption += 1
    Catch ex As IOException
        ' Прервать цикл

```

```

        Exit While
    End Try
End While
Catch ex As FileNotFoundException
    ' Файл не найден
    MessageBox.Show("Временные параметры и программа ремонта не найдены. Моделирование прервано.", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End Try
' Закрывать файлы
FileSystem.FileClose(1)
FileSystem.FileClose(2)
FileSystem.FileClose(3)
FileSystem.FileClose(4)
FileSystem.FileClose(5)

'----- Временные параметры работы линии -----'
Try
    FileSystem.FileOpen(1, ".\DATA\WorkTimeData.txt", OpenMode.Input) ' Файл временных параметров работы линии
    ' Бесконечный цикл
    While True
        Try
            ' Чтение параметров позиции
            FileSystem.Input(1, OperatingHours)
            FileSystem.Input(1, ShiftsAmount)
            FileSystem.Input(1, WorkingDayAmount)
            FileSystem.Input(1, WorkingTimeFound)
        Catch ex As IOException
            ' Прервать цикл
            Exit While
        End Try
    End While
Catch ex As FileNotFoundException
    ' Файл не найден
    MessageBox.Show("Временные параметры работы конвейера не найдены. Моделирование прервано.", "Ошибка", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Exclamation)
    Return CResults
End Try
' Закрывать файл
FileSystem.FileClose(1)

ProgressBar.Maximum = WorkingTimeFound

WorkingTimeFound *= 60

'-----'
'          Создание моделей конвейера и программы ремонта          '
'-----'

```

```

'----- Модель конвейера -----'
If Not FirstSection Then
    PrepWayCount = 0
End If
If Not SecondSection Then
    PositionCount = 0
End If
If Not ThirdSection Then
    PaintWayCount = 0
End If

Conveyer = New TConveyer(PrepWayCount, PrepPosCount, PrepMovTime, PrepFailure,
PrepRecoveryMean, PrepRecoveryDeviation,
    PaintWayCount, PaintPosCount, PaintMovTime, PaintFailure, PaintRecov-
eryMean, PaintRecoveryDeviation,
    PositionCount, TrModCount)

' Установить параметры ремонтных позиций
Conveyer.SetPositionParameters(ModulesCount, MovingTimes, Failures, RecoveryMean,
RecoveryDeviation)

' Установить параметры транспортных модулей
Conveyer.SetTrModuleParameters(TrServPos, TrFailure, TrRecoveryMean, TrRecoveryDe-
viation)

'----- Модель программы ремонта -----'
RepairProgram = New TRepairProgram(ObjOption, OTCCount, PrepPosCount, PositionCount,
PaintPosCount)

' Установить параметры всех объектов ремонта
With RepairProgram
    For n As Integer = 0 To .Count - 1
        ' Получить индекс типа объекта
        ObjTypeIndex = .GetObjectIndex()
        ' Создать объект этого типа
        .Objects(n).Type = ObjType(ObjTypeIndex)
        .Objects(n).Mode = ObjMode(ObjTypeIndex)
        .Objects(n).RTime = CDbI(ObjTime(ObjTypeIndex)) * 60 ' Нормативное время
ремонта в минутах
        .Objects(n).Priority = ObjPriority(ObjTypeIndex)

        If FirstSection Then
            ' Есть первый участок -> Установить временные параметры подготовки
            For k As Integer = 0 To Conveyer.PrepareArea.Ways(0).PositionsCount - 1
                .Objects(n).PrepareTimes(k).SetValues(PrepMean(ObjTypeIndex, k), PrepDevia-
tion(ObjTypeIndex, k))
            Next
        End If
    End For
End With

```

```

    If SecondSection Then
        ' Есть второй участок -> Установить временные параметры ремонта
        For k As Integer = 0 To Conveyor.RepairArea.PositionsCount - 1
            .Objects(n).RepairTimes(k).SetValues(Mean(ObjTypeIndex, k), Devia-
tion(ObjTypeIndex, k))
        Next
    End If

    If ThirdSection Then
        ' Есть третий участок -> Установить временные параметры окраски
        For k As Integer = 0 To Conveyor.PaintingArea.Ways(0).PositionsCount - 1
            .Objects(n).PaintingTimes(k).SetValues(PaintMean(ObjTypeIndex, k), PaintDevia-
tion(ObjTypeIndex, k))
        Next
    End If

Next
End With

'-----'
'      Моделирование работы поточной линии      '
'-----'
Dim CurrentTime As Integer = 0          ' Общее время выполнения ремонта

With Conveyor
    Dim TimeStep As Integer = 1          ' Шаг времени (мин.)
    Dim RepairObject As TRepairObject = Nothing ' Объект ремонта из программы ре-
монта
    Dim TransModule As TTransportModule    ' Транспортный модуль
    Dim RepairModule As TRepairModule = Nothing ' Ремонтный модуль, из которого
забирается отремонтированный вагон
    Dim PrepRnd As Random = New Random(0)   ' Генератор отказов оборудования
участка подготовки
    Dim RepRnd As Random = New Random(0)   ' Генератор отказов оборудования
участка ремонта
    Dim PaintRnd As Random = New Random(0)  ' Генератор отказов оборудования
участка окраски
    Dim TrmRnd As Random = New Random(0)   ' Генератор отказов транспортных
модулей
    Dim FailureProbability As Double        ' Текущая вероятность отказа оборудования

    CResults.EnteredWagons = 0
    CResults.RepairedWagons = 0

Do

'=====
==
'      У Ч А С Т О К   П О Д Г О Т О В К И      '

```

```

=====
==
For n As Integer = 0 To .PrepareArea.WayCount - 1

    '----- Проверка выполнения работ на позициях -----'
    For k As Integer = 0 To .PrepareArea.Ways(n).PositionsCount - 1

        If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied Then
            ' Позиция занята
            If Not .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).WorkFinished Then
                ' Работы еще выполняются -> Проверить завершение подготовки вагона
                If CurrentTime >=
                    .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.PrepareTimes(k).Time Then
                        ' Подготовка закончена
                        .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Working = False
                        ' Посчитать время работы модуля
                        .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalWorkingTime += CurrentTime - .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).StartWorkingTime
                        ' Посчитать время подготовки вагона
                        .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime += CurrentTime - .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartRepairTime
                    End If
                End If
            End If

        Next

        '----- Проверка возможности перемещения вагонов -----'
        For k As Integer = .PrepareArea.Ways(n).PositionsCount - 1 To 0 Step -1
            If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied And
                .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).WorkFinished Then
                ' Эта позиция занята, но работы уже закончены
            End If

            If Not .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied Then
                '----- Эта позиция свободна -----'

                ' Проверить работоспособность оборудования
                If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Operable Then
                    ' Оборудование работоспособно

                    ' Проверить вероятность неисправности
                    If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Failure > 0 Then
                        ' Есть вероятность отказа -> Проверить
                        FailureProbability = PrepRnd.NextDouble()
                        If FailureProbability < .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Failure
                            Then

```

```

' Произошел отказ оборудования -> Определить время
восстановления работоспособности

.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RecoverTime.GetTime(CurrentTime)
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Operable = False
GoTo PrepCheckOperable
End If
End If

If k > 0 Then
' Это не первая позиция -> Проверить готовность вагона на предыду-
щей позиции
If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).Occupied Then
' На предыдущей позиции есть вагон
If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).WorkFinished Then
' Работа на предыдущей позиции закончена -> Начать
перемещения вагона на свободную позицию
' Установить флаг и время окончания перемещения вагона
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).RepairObject.Moving =
True
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k -
1).RepairObject.StopMovingTime = CurrentTime + .PrepareArea.Ways(n).MoveTime

' Переместить вагон на позицию
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject =
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).RepairObject
' Запомнить время перехода позиции в занятое состояние
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).OccupationTime = Cur-
rentTime

' Освободить предыдущую позицию
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).Occupied = False
' Посчитать ее время занятости
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).TotalOccupiedTime +=
CurrentTime - .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).OccupationTime
End If
End If
Else
' Это первая позиция -> Взять следующий объект из очереди
RepairObject = RepairProgram.GetNextObject()
'If Not IsNothing(RepairObject) Then
' Есть следующий объект
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject = RepairObject
' Запомнить время поступления на конвейер
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.StartConveyerTime
= CurrentTime

' Определить время подготовки этого вагона

.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.PrepareTimes(0).GetTime(CurrentTime)

```

```

' Запомнить время перехода в занятое состояние и время начала работы
модуля
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).OccupationTime = CurrentTime
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).StartWorkingTime = CurrentTime
' Начать его ремонт
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).Working = True
' Запомнить время начала ремонта
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.StartRepairTime =
CurrentTime

CResults.EnteredWagons += 1

' Запомнить входной номер вагона
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.EnterNumber =
CResults.EnteredWagons

'----- Таблица результатов -----'
RepairProgramm.Rows.Add()
RepairProgramm(0,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.EnterNumber - 1).Value =
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber ' Номер на входе
RepairProgramm(2,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.EnterNumber - 1).Value =
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.Type ' Тип вагона
RepairProgramm(3,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(0).RepairObject.EnterNumber - 1).Value =
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.Mode ' Вид ремонта
'End If ' No Next Object

End If ' First Position Or Not

Else
' Оборудование не работает
PrepCheckOperable:
If CurrentTime >=
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RecoverTime.Time Then
' Работоспособность оборудования восстановлена
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Operable = True
End If
End If ' Equipment Operable Or Not

Else
'----- Эта позиция занята -> Проверить есть ли перемещаемый вагон и
окончание подготовки -----'

If .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.Moving Then
' Вагон движется к этой позиции -> Проверить приехал или нет
If CurrentTime >=
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StopMovingTime Then
' Вагон приехал -> Начать подготовку

```

```

' Остановить вагон
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.Moving = False
' Определить время подготовки этого вагона

.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.PrepareTimes(k).GetTime(CurrentTime)
' Запомнить время начала подготовки вагона
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartRepairTime =
CurrentTime
' Запомнить время начала работы позиции
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).StartWorkingTime = CurrentTime
' Начать подготовку вагона
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Working = True
End If

ElseIf .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).WorkFinished Then
' Подготовка закончена -> Проверить возможность перемещения вагона

If k = .PrepareArea.Ways(n).PositionsCount - 1 Then
' Это последняя позиция на этом пути -> Проверить наличие следующе-
го участка
If Not SecondSection Then
' Следующего участка нет -> Выпустить вагон из цеха
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalOccupiedTime += Cur-
rentTime - .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).OccupationTime
' Определить время пребывания вагона на конвейере

.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime = CurrentTime -
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartConveyerTime

' Число отремонтированных вагонов
CResults.RepairedWagons += 1

' Запомнить номер вагона на выходе и сохранить вагон в списке ре-
зультатов
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.ExitNumber =
CResults.RepairedWagons
'CRE-
sults.RepairedObject.Add(.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject)
CResults.RepairedObject.Insert(0,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject)

If
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime <=
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.RTime Then
' Время ремонта меньше нормативного
CResults.NLessTime += 1
Else
' Время ремонта больше нормативного
CResults.NMoreTime += 1
End If

```

```

'----- Таблица результатов -----'
    Dim DeadTime As Double
    DeadTime =
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime -
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime
    RepairProgramm(1,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = CRe-
sults.RepairedWagons ' Номер на выходе
    RepairProgramm(4,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime / 60, "#0.00") '
Общее время ремонта
    RepairProgramm(5,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(DeadTime / 60, "##0.00") ' Время простоя
    RepairProgramm(6,
.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime / 60, "##0.00") '
Время на конвейере
    RepairProgramm.FirstDisplayedScrollingRowIndex = RepairPro-
gramm.RowCount - 1

    ' Освободить позицию (убрать вагон)
    .PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied = False

    ' Последняя позиция освободилась -> Проверить готовность вагона
на предыдущей позиции

    End If
    End If

    End If ' Repairing Executed Or Not

    End If ' Position Occupied Or Not

'----- Таблица результатов -----'
    Dim RowNumber As Integer
    RowNumber = n * .PrepareArea.Ways(n).PositionsCount + k
    PrepPositions(2, RowNumber).Value = For-
mat(.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalOccupiedTime / WorkingTimeFound, "0.000")
    PrepPositions(3, RowNumber).Value = For-
mat(.PrepareArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalWorkingTime / WorkingTimeFound, "0.000")

    Next ' NextPosition
    Next ' Next Way

'=====
' У Ч А С Т О К   Р Е М О Н Т А
'=====

```

```

=====
For n As Integer = .RepairArea.PositionsCount - 1 To 0 Step -1
  For k As Integer = 0 To .RepairArea.RepairPositions(n).ModulesCount - 1
    '-----'
    ' Проверить состояние всех модулей всех позиций участка ремонта '
    '-----'
    If Not .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Occupied Then
      '----- Этот модуль свободен -----'

      ' Проверить не едет ли сюда транспортный модуль
      TransModule = Nothing
      For m As Integer = 0 To .RepairArea.TrModuleCount - 1
        If .RepairArea.TransportModules(m).Occupied Then
          ' Этот транспортный модуль занят
          If .RepairArea.TransportModules(m).TargetModule Is
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k) Then
            ' Едет сюда
            TransModule = .RepairArea.TransportModules(m)
            Exit For
          End If
        End If
      Next

      If IsNothing(TransModule) Then
        ' Транспортный модуль к этому модулю не едет

        ' Проверить работоспособность модуля
        If .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Operable Then
          ' Модуль работоспособен

          ' Проверить вероятность неисправности
          If .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).WagMoving = False
And .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Failure > 0 Then
            ' Есть вероятность отказа -> Проверить
            FailureProbability = RepRnd.NextDouble()
            If FailureProbability <
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Failure Then
              ' Произошел отказ оборудования -> Определить время
восстановления работоспособности

.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RecoverTime.GetTime(CurrentTime)
              .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Operable = False
              GoTo RepCheckOperable
            End If
          End If

          ' Проверить наличие свободного транспортного модуля
          TransModule = Nothing
          For m As Integer = 0 To .RepairArea.TrModuleCount - 1

```

```

If .RepairArea.TransportModules(m).Operable Then
' Транспортный модуль работоспособен
If Not .RepairArea.TransportModules(m).Occupied Then
' Этот модуль свободен
TransModule = .RepairArea.TransportModules(m)
Exit For
End If
End If
Next ' Next Transport Module

If TransModule IsNot Nothing Then
' Есть свободный транспортный модуль -> Искать вагон для переме-
щения
If n > 0 Then
' Это не первая позиция -> Проверить готовность вагона на
предыдущей ремонтной позиции
RepairModule = Nothing
For kk As Integer = 0 To .RepairArea.RepairPositions(n -
1).ModulesCount - 1

Then
If .RepairArea.RepairPositions(n - 1).RepairModules(kk).Occupied
' В этом модуле есть вагон
If .RepairArea.RepairPositions(n -
1).RepairModules(kk).WorkFinished Then
' Ремонт в этом модуле закончен
If .RepairArea.RepairPositions(n -
1).RepairModules(kk).RepairObject.Priority Then
' Это приоритетный вагон -> Продвигать его
RepairModule = .RepairArea.RepairPositions(n -
1).RepairModules(kk)

Exit For
End If
If IsNothing(RepairModule) Then
' Это первый модуль с отремонтированным вагоном на
этой позиции -> Запомнить
RepairModule = .RepairArea.RepairPositions(n -
1).RepairModules(kk)

Else
' Это не первый модуль с отремонтированным вагоном ->
Проверить кто раньше отремонтировался
If .RepairArea.RepairPositions(n -
1).RepairModules(kk).RepairObject.RepairTimes(n - 1).Time < RepairMod-
ule.RepairObject.RepairTimes(n - 1).Time Then
' Этот вагон отремонтировался раньше
RepairModule = .RepairArea.RepairPositions(n -
1).RepairModules(kk)

End If
End If
End If

```

```

End If

Next ' Next Module Previous Position

If RepairModule IsNot Nothing Then
    ' Определен модуль с отремонтированным вагоном ->
Переместить в свободный транспортный модуль
    TransModule.RepairObject = RepairModule.RepairObject
    ' Запомнить куда везти вагон
    TransModule.NextPosition = n ' Для отладки
    TransModule.NextModule = k ' Для отладки
    TransModule.TargetModule =
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k)

    ' Флаг движения вагона к модулю
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).WagMoving =
True

    ' Запомнить время перехода в занятое состояние
    TransModule.OccupationTime = CurrentTime
    ' Определить время прибытия к нужному модулю
    TransModule.MovingTime = CurrentTime +
.RepairArea.MovingTimes(n)

    ' Освободить предыдущий модуль
    RepairModule.Occupied = False
    ' Посчитать его время занятости
    RepairModule.TotalOccupiedTime += CurrentTime - RepairMod-
ule.OccupationTime
End If
Else
    ' Это первая ремонтная позиция -> Проверить готовность вагона на
последней позиции участка подготовки, если он есть, или взять из входной очереди
    RepairModule = Nothing
    If FirstSection Then
        ' Есть участок подготовки -> Взять вагон с его последней пози-
ции

        For nn As Integer = 0 To .PrepareArea.WayCount - 1

            If .PrepareArea.Ways(nn).LastPosition.Occupied Then
                ' Последняя позиция этого пути участка подготовки занята
                If .PrepareArea.Ways(nn).LastPosition.WorkFinished Then
                    ' На последней позиции этого пути подготовка закончена
                    If .PrepareArea.Ways(nn).LastPosition.RepairObject.Priority

Then

                        ' Это приоритетный вагон -> Продвигать его
                        RepairModule = .PrepareArea.Ways(nn).LastPosition
                        Exit For
                    End If
                If IsNothing(RepairModule) Then

```

```

' Это первая позиция с отремонтированным вагоном ->
Запомнить
    RepairModule = .PrepareArea.Ways(nn).LastPosition
Else
    ' Это не первая позиция с отремонтированным вагоном
-> Проверить кто был готов раньше
    If
.PrepareArea.Ways(nn).LastPosition.RepairObject.RepairTimes(.PrepareArea.Ways(nn).Positions
Count - 1).Time < RepairMod-
ule.RepairObject.RepairTimes(.PrepareArea.Ways(nn).PositionsCount - 1).Time Then
        ' Вагон в этом модуле готов раньше
        RepairModule = .PrepareArea.Ways(nn).LastPosition
    End If
End If
End If
End If

Next ' Next Last Position Prepare Area

If RepairModule IsNot Nothing Then
    ' Определен модуль с готовым вагоном -> Переместить его в
свободный транспортный модуль
    TransModule.RepairObject = RepairModule.RepairObject
    ' Запомнить куда везти вагон
    TransModule.NextPosition = n ' Для отладки
    TransModule.NextModule = k ' Для отладки
    TransModule.TargetModule =
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k)
    ' Запомнить время перехода в занятое состояние
    TransModule.OccupationTime = CurrentTime
    ' Определить время прибытия к нужному модулю
    TransModule.MovingTime = CurrentTime +
.RepairArea.MovingTimes(n)

    ' Флаг движения вагона к модулю
    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).WagMoving =
True

    ' Освободить предыдущую позицию (последнюю на этом пути
участка подготовки)
    RepairModule.Occupied = False
    ' Посчитать ее время занятости
    RepairModule.TotalOccupiedTime += CurrentTime - RepairMod-
ule.OccupationTime
End If

Else
    ' Нет участка подготовки -> Взять вагон из входной очереди
    RepairObject = RepairProgram.GetNextObject()
    'If Not IsNothing(RepairObject) Then

```

```

' Есть следующий объект -> Переместить его в свободный
транспортный модуль
TransModule.RepairObject = RepairObject
' Запомнить куда везти вагон
TransModule.NextPosition = n ' Для отладки
TransModule.NextModule = k ' Для отладки
TransModule.TargetModule =
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k)
' Запомнить время перехода в занятое состояние
TransModule.OccupationTime = CurrentTime
' Определить время прибытия к нужному модулю
TransModule.MovingTime = CurrentTime +
.RepairArea.MovingTimes(n)

' Флаг движения вагона к модулю
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).WagMoving =
True

' Запомнить время поступления на конвейер
TransModule.RepairObject.StartConveyerTime = CurrentTime

CResults.EnteredWagons += 1

' Запомнить входной номер вагона
TransModule.RepairObject.EnterNumber = CRe-
sults.EnteredWagons

'----- Таблица результатов -----'
RepairProgramm.Rows.Add()
RepairProgramm(0, TransModule.RepairObject.EnterNumber -
1).Value = TransModule.RepairObject.EnterNumber ' Номер на входе
RepairProgramm(2, TransModule.RepairObject.EnterNumber -
1).Value = TransModule.RepairObject.Type ' Тип вагона
RepairProgramm(3, TransModule.RepairObject.EnterNumber -
1).Value = TransModule.RepairObject.Mode ' Вид ремонта
'End If ' No Next Object
End If

End If
End If

Else
' Оборудование не работает
RepCheckOperable:
If CurrentTime >=
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RecoverTime.Time Then
' Работоспособность оборудования восстановлена
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Operable = True
End If

```

```

End If

Else
  ' Транспортный модуль к этому модулю едет -> Проверить приехал или
нет
  If CurrentTime >= TransModule.MovingTime Then
    ' Вагон приехал -> Переставить его в модуль
    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject = Trans-
Module.RepairObject
    ' Определить время ремонта этого вагона

    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.RepairTimes(n).GetTime(Current
Time)
    ' Запомнить время начала ремонта вагона

    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.StartRepairTime = CurrentTime
    ' Запомнить время перехода в занятое состояние и время начала работы
модуля
    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).OccupationTime = Cur-
rentTime
    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).StartWorkingTime = Cur-
rentTime

    ' Начать его ремонт
    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Working = True

    ' Флаг движения вагона к модулю
    .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).WagMoving = False

    ' Освободить транспортный модуль
    TransModule.Occupied = False
    ' Посчитать его время занятости
    TransModule.TotalOccupiedTime += CurrentTime - TransMod-
ule.OccupationTime
  End If

  End If

  Else
    '----- Этот модуль занят -----'

    If .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Working Then
      ' Ремонт идет
      If CurrentTime >=
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.RepairTimes(n).Time Then
        ' Ремонт закончен
        .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Working = False
        ' Посчитать время работы модуля
        .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).TotalWorkingTime +=
CurrentTime - .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).StartWorkingTime

```

```

' Посчитать время ремонта вагона

.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalRepairTime += CurrentTime
- .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.StartRepairTime

'=====
=='

    If n = .RepairArea.PositionsCount - 1 Then
        ' Это последняя ремонтная позиция -> Проверить наличие
следующего участка
        If Not ThirdSection Then
            ' Следующего участка нет -> Выпустить вагон из цеха
            .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).TotalOccupiedTime
+= CurrentTime - .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).OccupationTime
            ' Определить время пребывания вагона на конвейере

.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalConveyerTime = Cur-
rentTime - .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.StartConveyerTime

            ' Число отремонтированных вагонов
            CResults.RepairedWagons += 1

            If
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalRepairTime <=
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.RTime Then
                ' Время ремонта меньше нормативного
                CResults.NLessTime += 1
            Else
                ' Время ремонта больше нормативного
                CResults.NMoreTime += 1
            End If

'----- Таблица результатов -----'

    Dim DeadTime As Double
        DeadTime =
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalConveyerTime -
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalRepairTime
        RepairProgramm(1,
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = CRe-
sults.RepairedWagons ' Номер на выходе
        RepairProgramm(4,
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalRepairTime / 60,
"#0.00") ' Общее время ремонта
        RepairProgramm(5,
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(DeadTime / 60, "##0.00") ' Время простоя

```

```

        RepairProgramm(6,
.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).RepairObject.TotalConveyerTime / 60,
"##0.00") ' Время на конвейере

        ' Освободить модуль (убрать вагон)
        .RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).Occupied = False

    End If
End If

'=====
='

        End If
    End If ' Module Working Or Not
End If

'----- Таблица результатов -----'

RepairPositions(2, RowIndexes(n, k)).Value = For-
mat(.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).TotalOccupiedTime / WorkingTimeFound,
"0.000")
RepairPositions(3, RowIndexes(n, k)).Value = For-
mat(.RepairArea.RepairPositions(n).RepairModules(k).TotalWorkingTime / WorkingTimeFound,
"0.000")

    Next ' Next Module
Next ' Next Position

'=====
'
У Ч А С Т О К   О К Р А С К И
'
'=====

For n As Integer = 0 To .PaintingArea.WayCount - 1
    For k As Integer = .PaintingArea.Ways(n).PositionsCount - 1 To 0 Step -1
        '-----
        ' Проверить состояние всех позиций участка окраски '
        '-----
        If Not .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied Then

            '----- Эта позиция свободна -----'

            ' Проверить работоспособность оборудования
            If .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Operable Then
                ' Оборудование работоспособно

            ' Проверить вероятность неисправности

```

```

        If .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).WagMoving = False And
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Failure > 0 Then
            ' Есть вероятность отказа -> Проверить
            FailureProbability = PaintRnd.NextDouble()
            If FailureProbability < .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Failure
Then
                ' Произошел отказ оборудования -> Определить время восстано-
вления работоспособности

.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RecoverTime.GetTime(CurrentTime)
                .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Operable = False
                GoTo PaintCheckOperable
            End If
        End If

        If k > 0 Then
            ' Это не первая позиция -> Проверить готовность вагона на
предыдущей позиции
            If .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).Occupied Then
                ' На предыдущей позиции есть вагон
                If .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).WorkFinished Then
                    ' Окраска на предыдущей позиции закончена -> Начать переме-
щения вагона на свободную позицию
                    ' Установить флаг и время окончания перемещения вагона
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).RepairObject.Moving =
True
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k -
1).RepairObject.StopMovingTime = CurrentTime + .PaintingArea.Ways(n).MoveTime

                    ' Переместить вагон на позицию
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject =
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).RepairObject
                    ' Запомнить время перехода позиции в занятое состояние
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).OccupationTime = Cur-
rentTime

                    ' Освободить предыдущую позицию
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).Occupied = False
                    ' Посчитать ее время занятости
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).TotalOccupiedTime +=
CurrentTime - .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k - 1).OccupationTime
                End If
            End If

        Else
            ' Это первая позиция -> Проверить не едет ли сюда транспортный мо-
дуль

            TransModule = Nothing
            For m As Integer = 0 To .RepairArea.TrModuleCount - 1
                If .RepairArea.TransportModules(m).Occupied Then

```

```

        ' Этот транспортный модуль занят
        If .RepairArea.TransportModules(m).TargetModule Is
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k) Then
            ' Едет сюда
            TransModule = .RepairArea.TransportModules(m)
            Exit For
        End If
    End If
Next

If IsNothing(TransModule) Then
    ' Транспортный модуль к этому модулю не едет -> Проверить
наличие свободного транспортного модуля
    TransModule = Nothing
    For m As Integer = 0 To .RepairArea.TrModuleCount - 1
        If .RepairArea.TransportModules(m).Operable Then
            ' Транспортный модуль работоспособен
            If Not .RepairArea.TransportModules(m).Occupied Then
                ' Этот модуль свободен
                TransModule = .RepairArea.TransportModules(m)
                Exit For
            End If
        End If
    Next ' Next Transport Module

If TransModule IsNot Nothing Then
    ' Есть свободный транспортный модуль -> Найти вагон для пере-
мещения на последней позиции участка ремонта
    RepairModule = Nothing
    For kk As Integer = 0 To .RepairArea.LastPosition.ModulesCount - 1

        If .RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk).Occupied Then
            ' Этот модуль последней позиции занят
            If .RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk).WorkFinished
Then
                ' Ремонт закончен
                If
.RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk).RepairObject.Priority Then
                    ' Это приоритетный вагон -> Продвигать его
                    RepairModule =
.RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk)
                End If
                If IsNothing(RepairModule) Then
                    ' Это первый модуль с отремонтированным вагоном ->
Запомнить
                    RepairModule =
.RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk)
                Else
                    ' Это не первый модуль с отремонтированным вагоном ->
Проверить кто отремонтирован раньше

```

```

                                If
.RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk).RepairObject.RepairTimes(.RepairArea.PositionsCo
unt - 1).Time < RepairModule.RepairObject.RepairTimes(.RepairArea.PositionsCount - 1).Time
Then
                                ' Этот вагон отремонтировался раньше
                                RepairModule =
.RepairArea.LastPosition.RepairModules(kk)
                                End If
                                End If
                                End If
                                End If

Next ' Next Module Last Position Repair Area

If RepairModule IsNot Nothing Then
' Определен модуль с отремонтированным вагоном -> Переме-
стить вагон в свободный транспортный модуль
TransModule.RepairObject = RepairModule.RepairObject
' Запомнить куда везти вагон
TransModule.NextPosition = n ' Для отладки
TransModule.NextModule = k ' Для отладки
TransModule.TargetModule =
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k)
' Запомнить время перехода в занятое состояние
TransModule.OccupationTime = CurrentTime
' Определить время прибытия к нужному модулю
TransModule.MovingTime = CurrentTime +
.PaintingArea.Ways(n).MoveTime

' Флаг движения вагона к модулю
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).WagMoving = True

' Освободить модуль на последней позиции участка ремонта
RepairModule.Occupied = False
' Посчитать его время занятости
RepairModule.TotalOccupiedTime += CurrentTime - RepairMod-
ule.OccupationTime
                                End If
                                End If

Else
' Транспортный модуль к этому модулю едет -> Проверить приехал
или нет
If CurrentTime >= TransModule.MovingTime Then
' Вагон приехал -> Переставить его в модуль
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject = TransMod-
ule.RepairObject
' Определить время окраски этого вагона
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.PaintingTimes(k).GetTime(CurrentTime)

```

```

        ' Запомнить время начала окраски вагона
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartRepairTime = CurrentTime
        ' Запомнить время перехода в занятое состояние и время начала
работы модуля
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).OccupationTime = Cur-
rentTime
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).StartWorkingTime = Cur-
rentTime
        ' Начать его окраску
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Working = True
        ' Флаг движения вагона к модулю
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).WagMoving = False
        ' Освободить транспортный модуль
TransModule.Occupied = False
        ' Посчитать его время занятости
TransModule.TotalOccupiedTime += CurrentTime - TransMod-
ule.OccupationTime
    End If
    End If ' Transport Module Moving Or Not
    End If ' First Position Or Not
    Else
        ' Оборудование не работает
PaintCheckOperable:
        If CurrentTime >=
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RecoverTime.Time Then
            ' Работоспособность оборудования восстановлена
            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Operable = True
        End If
    End If ' Equipment Operable Or Not
    Else
        '----- Эта позиция занята -----'
        If k > 0 Then
            ' Это не первая позиция -> Проверить есть ли перемещаемый вагон и
окончание окраски
            If .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.Moving Then
                ' Вагон движется к этой позиции -> Проверить приехал или нет
                If CurrentTime >=
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StopMovingTime Then
                    ' Вагон приехал -> Начать окраску
                    ' Остановить вагон
                    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.Moving = False
                    ' Определить время окраски этого вагона

```

```

.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.PaintingTimes(k).GetTime(CurrentTime)
    ' Запомнить время начала окраски вагона
    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartRepairTime
= CurrentTime
    ' Запомнить время начала работы позиции
    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).StartWorkingTime = CurrentTime
    ' Начать окраску вагона
    .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Working = True
End If
ElseIf Not .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).WorkFinished Then
    ' Окраска продолжается
    If CurrentTime >=
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.PaintingTimes(k).Time Then
        ' Окраска закончена
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Working = False
        ' Посчитать время работы модуля
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalWorkingTime += CurrentTime -
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).StartWorkingTime
        ' Посчитать время окраски вагона
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime
+= CurrentTime - .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartRepairTime

        If k = .PaintingArea.Ways(n).PositionsCount - 1 Then
            ' Это последняя позиция на этом пути -> Ремонт этого вагона закончен полностью
            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalOccupiedTime += CurrentTime -
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).OccupationTime
            ' Определить время пребывания вагона на конвейере

.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime = CurrentTime -
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartConveyerTime

            ' Число отремонтированных вагонов
            CResults.RepairedWagons += 1

            If
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime <=
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.RTime Then
                ' Время ремонта меньше нормативного
                CResults.NLessTime += 1
            Else
                ' Время ремонта больше нормативного
                CResults.NMoreTime += 1
            End If

            '----- Таблица результатов -----'

```

Dim DeadTime As Double

```

        DeadTime =
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime -
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime
        RepairProgramm(1,
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = CRe-
        sults.RepairedWagons ' Номер на выходе
        RepairProgramm(4,
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
        mat(.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime / 60, "#0.00") '
        Общее время ремонта
        RepairProgramm(5,
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
        mat(DeadTime / 60, "##0.00") ' Время простоя
        RepairProgramm(6,
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
        mat(.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime / 60, "##0.00") '
        Время на конвейере

        ' Освободить позицию (убрать вагон)
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied = False

    End If

End If

End If ' Repairing Executed Or Not

Else
    ' Это первая позиция -> Проверить окончание окраски
    If Not .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).WorkFinished Then
        ' Окраска продолжается
        If CurrentTime >=
        .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.PaintingTimes(k).Time Then
            ' Окраска закончена
            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Working = False
            ' Посчитать время работы модуля
            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalWorkingTime += Cur-
            rentTime - .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).StartWorkingTime
            ' Посчитать время окраски вагона
            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime
            += CurrentTime - .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartRepairTime

            If k = .PaintingArea.Ways(n).PositionsCount - 1 Then
                ' Это последняя позиция на этом пути -> Ремонт этого вагона за-
                кончен полностью
                .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalOccupiedTime += Cur-
                rentTime - .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).OccupationTime
                ' Определить время пребывания вагона на конвейере

            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime = CurrentTime -
            .PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.StartConveyerTime

```

```

' Число отремонтированных вагонов
CResults.RepairedWagons += 1

If
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime <=
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.RTime Then
' Время ремонта меньше нормативного
CResults.NLessTime += 1
Else
' Время ремонта больше нормативного
CResults.NMoreTime += 1
End If

'----- Таблица результатов -----'

Dim DeadTime As Double
DeadTime =
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime -
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime
RepairProgramm(1,
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = CRe-
sults.RepairedWagons ' Номер на выходе
RepairProgramm(4,
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalRepairTime / 60, "#0.00") '
Общее время ремонта
RepairProgramm(5,
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(DeadTime / 60, "##0.00") ' Время простоя
RepairProgramm(6,
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.EnterNumber - 1).Value = For-
mat(.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).RepairObject.TotalConveyerTime / 60, "##0.00") '
Время на конвейере
' Освободить позицию (убрать вагон)
.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).Occupied = False

End If

End If
End If ' Repairing Executed Or Not
End If

End If

'----- Таблица результатов -----'

Dim RowNumber As Integer
RowNumber = n * .PaintingArea.Ways(n).PositionsCount + k

```

```

        PaintPositions(2, RowNumber).Value = For-
mat(.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalOccupiedTime / WorkingTimeFound,
"0.000")
        PaintPositions(3, RowNumber).Value = For-
mat(.PaintingArea.Ways(n).RepairPositions(k).TotalWorkingTime / WorkingTimeFound, "0.000")
        Next ' Next Painting Area Way Position
    Next ' Next Painting Area Way
'----- Моделирование отказов транспортных модулей -----'
    For n As Integer = 0 To .RepairArea.TrModuleCount - 1
        If Not .RepairArea.TransportModules(n).Occupied Then
            ' Модуль свободен

If .RepairArea.TransportModules(n).Operable Then
    ' Модуль работоспособен -> Проверить вероятность отказа
    If .RepairArea.TransportModules(n).Failure > 0 Then
        ' Есть вероятность отказа -> Проверить
        FailureProbability = TrmRnd.NextDouble()
        If FailureProbability < .RepairArea.TransportModules(n).Failure Then
            ' Отказ -> Определить время восстановления работоспособности
            .RepairArea.TransportModules(n).RecoverTime.GetTime(CurrentTime)
            .RepairArea.TransportModules(n).Operable = False
        End If
    End If
Else
    ' Модуль неисправен -> Проверить восстановление работоспособности
    If CurrentTime >= .RepairArea.TransportModules(n).RecoverTime.Time Then
        ' Работоспособность восстановлена
        .RepairArea.TransportModules(n).Operable = True
    End If
End If
    End If
Next
'-----'
    CurrentTime += TimeStep

    ProgressBar.Value = CurrentTime / 60

    Application.DoEvents()

    Loop While CurrentTime < WorkingTimeFound

    CResults.TotalWorkingTime = CurrentTime / 60

End With

Return Cresults

End Function

End Module

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Перечень ремонтных операций, выполняемых на вагонах и закреплённых за специализированными ремонтными позициями потока (фрагмент)

п п/п	Наименование операции	Вид операции	Номера вагонов					
			60436458	60391828	63344824	...	65945610	63654230
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Позиция I							
1	Выправить верхнюю обвязку	Сл.	x	x	x		x	x
2	Выправить нижнюю обвязку	Сл.	x	x	x		x	x
3	Выправить шкворневую стойку	Сл.						
4	Выправить балку концевую	Сл.						
5	Выправить балку промежуточную	Сл.						
6	Выправить угольник жёсткости концевой балки	Сл.						
7	Выправить угловую стойку	Сл.						
8	Выправить промежуточную стойку	Сл.						
9	Выправить промежуточные и шкворневые стойки ВРМ	Сл.	x					
10	Выправить стойку каркаса кузова	Сл.						
11	Приварить оборванный шов накладки угловой стойки	Св.						
12	Выправить поручень лестницы	Сл.	x					
13	Срезать коррозионный двутавр	Рез.						
14	Срезать поручень составителя	Рез.	x					
15	Вырезать деформированный участок промежуточной балки	Рез.						
16	Вырезать вертикальный лист промежуточной балки	Рез.						
17	Вырезать деформированный участок верхнего листа	Рез.	x					
18	Вырезать деформированные участки верхнего листа про-	Рез.						
19	Срезать верхний лист промежуточной балки	Рез.						
20	Срезать верхний лист шкворневой балки	Рез.						
21	Срезать уголки крепления торцевой лестницы	Рез.						
22	Срезать подножку составителя	Рез.	x					
23	Срезать заглушку с двери вагона	Рез.						
24	Срезать деформированную накладку	Рез.	x					
25	Срезать накладку промстойки	Рез.						
26	Срезать поручень лестницы	Рез.	x					
27	Разделать трещину угловой стойки кузова	Рез.						
28	Разделать трещину промежуточной стойки кузова	Рез.	x					
29	Разделать оборванный шов накладки угловой стойки	Рез.						
30	Заварить трещину в месте соедин. шкворн. балки	Св.						
31	Заварить оборванную косынку угловой стойки	Св.						
32	Заварить трещину верхней обвязки с исп. ВРМ	Св.	x					
33	Заварить трещину промежуточной стойки	Св.	x					
34	Заварить оборванную угловую стойку	Св.	x					

35	Заварить трещину в балке промежуточной	Св.							
36	Заварить трещину в балке шкворневой	Св.							
37	Заварить трещину в верт. листе балки шкворневой	Св.							
38	Заварить трещину в верт. листе балки промежуточной	Св.							
39	Заварить трещину в верт. листе балки шкворневой	Св.							
40	Заварить трещину в угловой стойке	Св.							
41	Заварить трещину в стойке	Св.							
42	Разделать, зачистить трещину сварного шва угловой стойки	Рез.	x						
43	Разделать трещину верхней обвязки	Рез.	x						
44	Заварить оборванный шов накладки угловой стойки	Св.	x						
45	Приварить верхнюю обвязку к угловой стойке	Св.							
46	Приварить верт.лист шкворн. и промеж. балки к стойке лист	Св.							
47	Приварить верт. лист шкворн. и пром. балки к стойке	Св.							
48	Приварить накладку к верхней обвязки	Св.							
49	Приварить накладку на промежуточную стойку	Св.							
50	Приварить промежуточную стойку к нижней обвязке	Св.							
51	Приварить промежуточную стойку к вертикальному листу	Св.	x						
52	Приварить накладку на угловую стойку	Св.							
53	Приварить накладку на вертикальный лист промежуточной	Св.							
54	Приварить обшивку к промежуточной стойке	Св.							
55	Приварить шкворневую стойку к вертикальному листу	Св.	x						
56	Приварить шкворневые и промежуточные стойки к обшив-	Св.							
57	Приварить однобортную накладку на стойку	Св.	x						
58	Приварить накладку на угловую стойку под подножку	Св.							
59	Приварить балку промежуточную к хребтовой балке	Св.							
60	Приварить балку шкворневую к хребтовой балке	Св.							
61	Приварить балку продольную к промежуточной балке	Св.							
62	Приварить накладку к балке шкворневой	Св.							
63	Приварить накладку к верт. листу шкворневой балки	Св.							
64	Приварить накладку к верт. листу конц. балки балкицевой-	Св.							
65	Приварить накладку к балке промежуточной	Св.							
66	Приварить накладку соединит. балки промеж. с кузовом	Св.							
67	Приварить накладку соедин. балки шкворневой с кузовом	Св.							
68	Приварить накладку соедин. балки треб. с промежуточной	Св.							
69	Приварить накладку соедин. балки хребт. со шкворн. бал-	Св.							
70	Привар. планку усилив.соедин. балок хребт. и шкворн. верх.	Св.							
71	Привар. планку усилив. соедин. балок хребт. и шкворн.	Св.							
72	Приварить стойку угловую к нижней обвязке	Св.							
73	Зачистить коррозионное место на диафрагме	Св.							
74	Приварить вертикальный лист промежуточной балки	Св.							
75	Приварить оборванную верхнюю обв'язку	Св.							
76	Приварить накладку к стойке	Св.							
77	Приварить обвязку верхнюю к стойке	Св.	x						
78	Приварить обвязку нижнюю к стойке	Св.							
79	Приварить обшивку к угловой стойке	Св.							
80	Приварить накладку на соедин. угловой стойки, концевой	Св.							
81	Приварить стойку	Св.	x						
82	Разделать накладку	Рез.							
83	Газорезательные работы на 1 позиции	Рез.							

84	Срезать деформир. накладку на верхнем листе пром. балки	Рез.						
85	Приварить шкворневую стойку к верхн. листу шкворн. бал-	Св.						
86	Срезать накладку на верхнем листе промежуточной балки	Рез.						
87	Срезать накладку угловой стойки	Рез.						
88	Вырезать нижнюю полку нижней обвязки	Рез.						
89	РЗ трещину сварного соедин. обшивки с нижней обвязкой	Рез.						
90	РЗ трещину сварного соединения таврика хребтовой балки	Рез.						
91	РЗ трещину сварного шва между верт. листом промеж. бал-	Рез.						
92	РЗ трещину свар. шва между промеж. стойкой и пром. бал-	Рез.						
93	Срезать лопнувшие накладки соедин. стойки с верхн. ли-	Рез.						
94	Срезать накладку в месте соединения промежуточной стой-	Рез.						
95	Срезать старую накладку верхней обвязки	Рез.						
96	Разделать, зачистить трещину свар. шва верхней обвязки	Рез.						
97	РЗЗ трещину свар. шва между верт. листом пром/балки и	Рез.						
98	РЗЗ трещину сварного шва промеж. стойки и промеж. балки	Рез.						
99	Заварить трещину сварного шва соедин. пром. стойки с в/л	Св.						
100	Срезать лопнувшие накладки соединения стойки с верхним	Рез.						
101	Срезать накладку в месте соединения промежуточной стой-	Рез.						
102	Срезать старую накладку верхней обвязки	Рез.						
	Позиция II							
103	Выправить закидку крышки люка	Сл.						
104	Вырезать коррозионные участки обшивки кузова торцев.	Рез.						
105	Нагреть закидку крышки люка	Сл.						
106	Вырезать коррозионные участки обшивки кузова торцевой	Рез.						
107	Вырезать деформированные участки обшивки	Рез.						
108	Срезать скобу для подтягивания крышки люка	Рез.	x					
109	Срезать болт М16 сектора запорного механизма КЛ	Рез.						
110	Срезать болт М22 закидки запорного мех-ма КЛ	Рез.						
111	Срезать болт М16 крепления рычага расцепного привода	Рез.						
112	Установить отсутствующий запорный механизм КЛ	Сл.						
113	Установить отсутствующую скобу для подтягивания КЛ	Сл.						
114	Установить верхний лист промежуточной балки	Сл.						
115	Установить верхний лист шкворневой балки	Сл.	x					
116	Приварить армировочные накладки к верхнему листу про-	Св.						
117	Приварить накладку на соедин. шкворн.стойки с в/л	Св.						
118	Приварить накладку на верхн. лист промеж. балки, соедин.	Св.						
119	Приварить накладку на верхний лист промеж. балки, соедин.	Св.						
120	Приварить армировочный лист	Св.	x					
121	Приварить часть концевой балки внутри вагона	Св.						
122	Приварить накладку к верхнему листу балки шкворневой	Св.						
123	Привар. накладку к верт. листу балки шкворн. возле	Св.						
124	Приварить вставку в лист пола (глухой кузов)	Св.						
125	Приварить лист пола между балками концевой и шкворне-	Св.						
126	Приварить лист пола между балками промеж. и шкворневой	Св.						
127	Приварить лист пола между балками промеж. (глухой ку-	Св.						
128	Срезать и приварить диафрагму	Рез.						
129	Срезать упор крышки люка	Рез.						
130	Приварить накладку на лист пола	Св.						
131	Приварить верхний лист балки промежуточной	Св.						

132	Приварить верхний лист балки шкворневой	Св.						
133	Заварить трещину верхнего листа промежуточной балки	Св.						
134	Сменить скобу для подтягивания крышки люка	Сл.						
135	Тележки выкатить	Сл.						
136	Разделать, зачистить трещину верхнего листа	Рез.						
137	Ремонт закидки запорного механизма крышки люка	Сл.						
138	Сменить закидку ЗМ крышки люка	Сл.						
139	Сменить болт закидки ЗМ крышки люка	Сл.						
140	Сменить сектор ЗМ крышки люка	Сл.						
141	Установить отсутствующий сектор запорного механизма	Сл.						
142	Комплекс работ по автосцепному устройству	Сл.						
143	Автосцепное устройство снять (слесарная по автосцепке)	Сл.						
144	Выправить палец сектора	Сл.						
145	Срезать палец сектора	Рез.						
146	Обварить гайку М16 сектора запорного механизма	Св.						
147	Обварить гайку М22 закидки запорного механизма	Св.						
148	Срезать болт закидки М22х90	Рез.						
149	Сменить болт сектора	Сл.						
150	Заварить трещину сварного соединения таврика х/б	Св.						
151	Приварить верхний лист промежуточной балки к двутавру	Св.						
152	Р33 трещину двутавра	Рез.						
153	Заварить трещину сварного шва между в/л и тавром х/б	Св.						
154	Заварить трещину сварного шва накладки верхнего листа	Св.						
155	Заварить трещину сварного шва накладки верхнего листа	Св.						
156	Приварить накладку к верхней полке двутавра 53454872	Св.						
157	Приварить накладку на верхнем листе шкворневой балки	Св.						
158	Р33 трещину сварного шва шкворневой балки с обшивкой	Рез.						
159	Приварю накладку на место соедин. промеж. стойки с в/л	Св.						
160	Приварить часть верхнего листа промежуточной балки	Св.						
161	Установить закидку, болт М22х90, гайку М22	Сл.						
162	Установ. сектор втулку болт гайку сектора запорн. мех-ма	Сл.						
163	Приварить верхний лист промежуточной балки к двутавру	Св.						
164	Р33 трещину сварного шва шкворневой балки с обшивкой	Рез.						
	Позиция III							
165	Комплекс работ по автосцепному устройству	Сл.						
166	КЛ прижать, поставить и приварить подкладку под закидку	Св.						
167	Крышку люка отремонтировать без снятия с вагона	Сл.						
168	Снять крышку люка	Сл.						
169	Установить крышку люка	Сл.						
170	Сменить крышку люка	Сл.						
171	Срезать старые и приварить новые скользуны	Св.						
172	Приварить табличку УЗ 22 на крышку люка	Св.						
173	Установить валик крышки люка, шайбу, скобу	Сл.						
174	Выправить крышку люка	Сл.						
175	Выправить упор крышки люка	Сл.						
176	Выправить запорный угольник крышки люка	Сл.						
177	Подогнать накладки КЛ	Сл.						
178	Придавить нижнюю обвязку КЛ	Сл.						
179	Придавить верхнюю обвязку КЛ	Сл.						

180	Поджать крышку люка	Сл.							
181	Срезать валики КЛ (по 2 валика на 1 крышке)	Рез.							
182	Установить валик крышки люка, шайбу, скобу	Рез.							
183	Сменить пятник	Сл.							
184	Приварить ушко торсиона	Св.							
185	Приварить косынку к балке хребтовой и шкворневой	Св.							
186	Приварить накладку к балке хребтовой	Св.							
187	Приварить накладку к вертикальному листу балки концевой	Св.							
188	Приварить накладку к горизонтальной полке балки хребто-	Св.							
189	Приварить накладку к нижнему листу балки шкворневой	Св.							
190	Приварить верхний лист к вертикальной промежуточной	Св.							
191	Заварить трещину в балке хребтовой	Св.							
192	Заварить трещину в горизонтальной полке балки хребтовой	Св.							
193	Заварить трещину в нижнем листе балки шкворневой	Св.							
194	Приварить верхний лист промеж. балки к промеж. стойке	Св.							
195	Приварить планку регулир. для устранения зазора люка	Св.							
196	Приварить косынку усиливающую	Св.							
197	Приварить кронштейн запорный литой	Св.							
198	Приварить кронштейн торсиона	Св.							
199	Приварить накладку к обшивке	Св.							
200	Заварить трещину в кронштейне запорном	Св.							
201	Заварить трещину в обвязке	Св.							
202	Срезать скобу крепления тормозной магистрали	Рез.							
203	Приварить вставку в лист пола	Св.							
204	Приварить лист пола между балками концевой и шкворне-	Св.							
205	Приварить лист пола между балками промежуточной и	Св.							
206	Приварить лист пола между балками промежуточными	Св.							
207	Крышку люка отремонтировать без снятия с вагона	Сл.							
208	Крышку люка отремонтировать без снятия с вагона	Св.							
209	Приварить накладку на лист пола	Св.							
210	Приварить верхний лист балки промежуточной	Св.							
211	Приварить накладку на диафрагму	Св.							
212	Комплекс работ по тормозам	Сл.							
213	Приварить накладку на верхний лист промежуточной балки	Св.							
214	Приварить кронштейн тормозного цилиндра	Св.							
215	Приварить кронштейн двухкамерного резервуара	Св.							
216	Приварить кронштейн концевого крана	Св.							
217	Приклепать пятник	Сл.							
218	Срезать заклёпки крепления пятника	Рез.							
219	Срезать болт М20 крепления рабочей камеры	Рез.							
220	Срезать болт М22 крепл. поддерж. планки фрикц. аппарата	Рез.							
221	Газорезательные работы на 3 позиции	Рез.							
222	Приварить армировку под верхн. лист промежуточной бал-	Св.							
223	Приварить накладку под верхний лист промежуточной бал-	Св.							
224	Приварить прут к нижней обвязке	Св.							
225	Приварить уголок на нижнюю обвязку	Св.							
226	РЗЗ между собой кронштейны падения люков	Рез.							
227	РЗЗ трещину сварного шва между кронштейнами падения	Рез.							
228	РЗЗ трещину сварного шва между нижней обвязкой и про-	Рез.							

229	РЗЗ трещину в месте соединения упоров падения крышки	Рез.							
230	Сменить скобу крепления концевого крана	Сл.							
231	Срезать и установить скобу крепления концевого крана	Рез.							
232	Срезать подкладку под закидку крышки люка	Рез.							
233	Срезать скобу крепления концевого крана	Рез.							
234	Установить скобу крепления концевого крана	Сл.							
	Позиция IV								
235	Приварить вставку листа повреждённой обшивки дверей	Св.							
236	Постановка поручней внутри вагона	Сл.							
237	Обварить накладку на обшивке кузова вагона снаружи	Св.							
238	Обварить пробоину обшивки кузова вагона снаружи	Св.							
239	Газорезательные работы на 4 позиции	Рез.							
240	Приварить накладку по периметру на обшивке кузова внут-	Св.							
241	Приварить накладку на обшивку кузова внутри вагона	Св.							
242	Приварить шкворневую стойку к обшивке	Св.							
243	Приварить нижнюю обвязку к обшивке кузова	Св.							
244	Приварить вставку к обвязке верхней	Св.							
245	Приварить вставку обвязки верхней к обшивке	Св.							
246	Приварить вставку обвязки нижней к обшивке	Св.							
247	Приварить кольцо увязочное	Св.							
248	Приварить скобу к стойке лесной	Св.							
249	Приварить накладку к обшивке металлической	Св.							
250	Приварить накладку к обвязке нижней	Св.							
251	Приварить скобу увязочную	Св.							
252	Приварить держатель скобы стойки лесной	Св.							
253	Заварить трещину на обшивке кузова	Св.							
254	Разделать трещину обшивки кузова	Рез.							
255	Автосцепное устройство поставить (слесарная по автосцеп-	Сл. а							
256	Приварить обшивку к обвязке	Св.							
257	Постановка державки скобы лесной	Сл.							
258	Постановка скобы увязочной внутри вагона	Сл.							
259	Постановка кольца внутри вагона	Сл.							
260	Приварить уголок на нижнюю обвязку	Св.							
261	Заварить трещину на обшивке кузова Поставить накладку	Св.							
262	Приварить поручень лестницы	Св.							
263	Выправить деформированные кромки пробоины кувалдой	Сл.							
264	Заплавить электрозаклёпки соедин. промеж. стойки к н/обв.	Св.							
265	Приварить накладку в месте соединения верхней обвязки с	Св.							
266	Приварить накладку на верхнюю обвязку и угловую стойку	Св.							
267	Приварить стойку угловую к нижней обвязке	Св.							
268	Заварить трещину сварочного шва верхней обвязки	Св.							
269	Заварить трещину сварного шва на торцевой стойке	Св.							
270	Заварить трещину сварн. шва накладки на боковую обшив-	Св.							
271	Заварить трещину сварного шва накладки угловой стойки	Св.							
272	Заварить трещину сварного шва нижней обвязки с обшив-	Св.							
273	Заварить трещину сварн. шва нижней полки нижней обвяз-	Св.							
274	Заварить трещину сварного шва обшивки	Св.							
275	Заварить трещину сварного шва пром/стойки с обшивкой	Св.							

276	Заварить трещину сварн. шва соедин. кронштейна лестницы	Св.							
277	Заварит трещину сварн. шва соедин. кронштейна поручня с	Св.							
278	Заварить трещину сварного шва соединения пром/стойки,	Св.							
279	Заварить трещину сварного шва соедин. стойки с обшивкой	Св.							
280	Заварить трещину сварного шва стойки и обшивки	Св.							
281	Заварить трещину соединения стойки с нижней обвязкой	Св.							
282	Заварить трещину сварного шва приварить шкворневую	Св.							
283	Выправить деформированные кромки пробоины кувалдой	Сл.							
284	Заварить электрозаклёпки на стойках	Св.							
285	Р33 трещину между верхней обвязкой и боковой обшивкой	Рез.							
286	Р33 сварной шов между верхней обвязкой и угловой стой-	Рез.							
287	Р33 сварной шов соединения обшивы с верхней обвязкой	Рез.							
288	Р33 трещину боковой обшивы	Рез.							
289	Приварить стойку угловую к нижней обвязки	Св.							
290	Заплавить электрозаклёпки соединения промежуточной	Св.							
291	Разделать зачистить нагреть заварить трещину св. шва соедин.	Св.							
292	Приварить боковую обшивку к верхней обвязке	Св.							
293	Приварить боковую обшивку к промежуточной стойке	Св.							
294	Приварить накладку на трещину шва	Св.							
295	Приварить накладку на верхнюю обвязку и угловую стойку	Св.							
296	Приварить накладку в месте соедин. верхн. обвязки с обшив-	Св.							
	Позиция V								
297	Комплекс работ по автосцепному устройству	Сл.							
298	Приварить штурвал стояночного тормоза	Св.							
299	Нагреть, выправить верхний лист шкворневой балки	Св.							
300	Выправить поручень составителя	Сл.							
301	Выправить скобу для подтягивания крышки люка	Сл.							
302	Нагреть нижнюю полку нижней обвязки внутри вагона	Сл.							
303	Срезать болт М16 крепления тормозного цилиндра	Рез.							
304	Нагреть и выправить винт стояночного тормоза	Сл.							
305	Нагреть и выправить кроншт. крепл. стояночного тормоза	Сл.							
306	Нагреть и выправить подножку составителя	Сл.							
307	Выправить верхний лист промежуточной балки	Сл.							
308	Выправить рычаг расцепного привода	Сл.							
309	Приварить накладку на торцевую обшивку	Св.							
310	Выправить кронштейн расцепного привода	Сл.							
311	Выправить транспортную скобу (4 раза ударить кувалдой)	Сл.							
312	Установить вновь изготовленную подножку составителя	Сл.							
313	Установить поручень составителя	Сл.							
314	Заварить трещину верхней обвязки	Св.							
315	Заварить трещину обшивки торцевой стены	Св.							
316	Заварить трещину в балке концевой	Св.							
317	Разделать оборванный сварной шов заглушки	Рез.							
318	Заварить трещину в вертикальном листе балки концевой	Св.							
319	Обварить кольцо соедин. цепочки расцепного привода	Св.							
320	Установить отсутствующ. подножку составителя из полосы	Сл.							
321	Приварить планку крепления подножки составителя	Св.							
322	Приварить уголки крепления торцевой лестницы	Св.							
323	Проверить цельность воздухопровода, тяговую передачу	Сл.							

324	Приварить кронштейн крепл. тормозной магистрали	Св.						
325	Приварить накладку к балке концевой	Св.						
326	Приварить подножку составителя (2 кронштейна)	Св.						
327	Приварить упор крышки люка	Св.						
328	Приварить упоры крышки люка между собой	Св.						
329	Приварить поручень составителя	Св.						
330	Приварить ступеньку подножки составителя нижнюю	Св.						
331	Приварить ступеньку подножки составителя промежуточ-	Св.						
332	Приварить вставку порога дверей	Св.						
333	Приварить вставку к обвязке нижней	Св.						
334	Приварить вставку обвязки нижней к полу	Св.						
335	Приварить лестницу к стене торцевой	Св.						
336	Приварить косынку к угловой стойке и обвязке нижней	Св.						
337	Приварить обшивку металлическую к обвязке верхней	Св.						
338	Приварить обшивку металлическую к обвязке нижней	Св.						
339	Приварить обшивку металлическую к стойке	Св.						
340	Приварить планку порога дверей	Св.						
341	Приварить порог дверей	Св.						
342	Приварить поручень-ступеньку (2 кронштейна)	Св.						
343	Приварить скобу сигнального фонаря	Св.						
344	Приварить накладку к порогу дверей	Св.						
345	Приварить накладку к стойке угловой (под поруч. состав)	Св.						
346	Приварить ступеньку к лестнице	Св.						
347	Приварить накладку на двутавр	Св.						
348	Приварить усиливающие косынки на заглушку	Св.						
349	Наплавить изношенные поверхн. розетки автосцепки	Св.						
350	Наплавить изношен. опорные места для маятник. подвески	Св.						
351	Заварить трещину по периметру приваривания розетки	Св.						
352	Приварить поручень лестницы	Св.						
353	Приварить лобовые накладки соед. порога с конц. балкой	Св.						
354	Приварить заглушку дверей на обвязку верхнюю	Св.						
355	Приварить косынку усилив. к порогу дверей и к стойке	Св.						
356	Приварить накладку на заглушенные двери	Св.						
357	Приварить поперечный брус-заглушку	Св.						
358	Заварить трещину в элементах глушения дверей	Св.						
359	Заварить трещину в обвязке дверей	Св.						
360	Заварить трещину в обшивке дверей	Св.						
361	Заварить трещину в обвязке нижней	Св.						
362	Заварить трещину в пороге дверей	Св.						
363	Приварить накладку на нижнюю полку нижней обвязки	Св.						
364	Приварить кронштейн тяговый	Св.						
365	Приварить накладку к нижней обвязке дверей	Св.						
366	Приварить накладку к обшивке дверей	Св.						
367	Приварить петлю створки дверей	Св.						
368	Приварить скобу запора верхнего дверей на лев. сторону	Св.						
369	Заварить трещину в обвязке дверей	Св.						
370	Заварить оборванный сварочный шов на обшивке	Св.						
371	Приварить накладку на заглушку двери	Св.						
372	Приварить накладку под подножку составителя	Св.						

373	Обварить гайку М16 на скобе для подтягив. крышки люка	Св.							
374	Приварить накладку на заглушку	Св.							
375	Приварить оборванный сварочный шов заглушки	Св.							
376	Приварить поперечную связь со швеллера	Св.							
377	Выправить нижнюю полку нижней обвязки	Сл.							
378	Приварить стойки заглушки к концевой балке	Св.							
379	Приварить отсутствующую транспортную скобу	Св.							
380	Приварить кронштейн ручки режимного переключателя	Св.							
381	Приварить верхний языковой запор к заглушке	Св.							
382	Приварить накладку соединения стойки и верхней обвязке	Св.							
383	Нагреть скобу для подтягивания крышки люка	Сл.							
384	Нагреть верхний лист	Сл.							
385	Нагреть и выправить поручень составителя	Сл.							
386	Нагреть поручень лестницы	Сл.							
387	Выправить поручень лестницы	Сл.							
388	Нагреть нижнюю полку нижней обвязки	Сл.							
389	Газорезательные работы на 5 позиции	Рез.							
390	Заварить трещину сварного шва на торцевой стойке	Св.							
391	Заварить трещину сварного шва нижн. обвязки с конц. бал.	Св.							
392	Заварить трещину сварного шва подножки составителя	Св.							
393	Заварить трещину сварного шва торц. стойки и конц. балки	Св.							
394	Заварить трещину свар. шва угловой стойки и конц. балки	Св.							
395	Заварить трещину сварного шва угловой стойки с верхн.	Св.							
396	Заварить трещину угловой стойки и верхней обвязки	Св.							
397	Заварить трещину свар. шва торцевой стойки и концевой	Св.							
398	Заварить трещину свар. шва угловой стойки и конц. балки	Св.							
399	Заварить трещину свар. шва угловой стойки с верхн. обвяз.	Св.							
400	Заварить трещину угловой стойки и верхней обвязки	Св.							
401	Заварить трещину свар. шва торцевой стойки и конц. балки	Св.							
402	Заварить трещину свар. шва угловой стойки и конц. балки	Св.							
403	Заварить трещину свар. шва между верхн. обвяз. и торц.	Св.							
404	Вырезать зачист. деформ. участ. нижн. полки нижн. обвязки	Рез.							
405	Р33 трещину сварного шва торцевой обшивки	Рез.							
406	Нагреть и выправить кроншт. крепл. запорного механизма	Сл.							
407	Нагреть и выправить лестницу	Сл.							
408	Наплавка розетки	Св.							
409	Приварить гайку к болту крепл. сектора запорн. механизма	Св.							
410	Приварить кронштейн тормозной магистрали	Св.							
411	Привар. накладку в месте соед. углов. стойки с торц. стеной	Св.							
412	Приварить накладку на косынку	Св.							
413	Приварить уголок крепления подножки составителя	Св.							
414	Приварить уголок лестницы к верхн. обвязки конц. стенки	Св.							
415	Р33 сварные швы угловых накладок (косынки)	Рез.							
416	Р33 трещину между боковым раскосом и угловой стойкой	Рез.							
417	Р33 трещину между верхней обвязкой и угловой стойкой	Рез.							
418	Р33 трещину между верхней обвязкой и шкворневой стой-	Рез.							
419	Р33 трещину между углов. стойкой и усилив. раскосом	Рез.							
420	Р33 трещину накладки угловой стойки (косынки)	Рез.							
421	Р33 трещину свар. шва в месте соед. углов. стойки с верхн.	Рез.							

422	Р33 трещину сварного шва кронштейна крепления поднож-	Рез.							
423	Установить планку балки авторежима	Сл.							
Позиция VI									
424	Поводок выпускного клапана установить	Сл.							
425	Зазор скользунов отрегулировать	Сл.							
426	Модернизация крепления МЧ и ГЧ воздухораспределителя	Сл.							
427	Тормоз на вагоне испытать (автотормозная)	Исп.							
428	Зачистить коррозион. места, покрасить в один слой кузов	Мал.							
429	Нанести трафареты	Мал.							

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Перечень работ при деповском ремонте полувагонов

Перечень работ

на деповской ремонт кузова полувагона № 55159263

1. Автосцепное устройство снять.
2. Тележки отсоединить.
3. Кузов вагона с тележек снять.
4. Кузов вагона в технологическую яму скантовать.
5. Кузов вагона с технологической ямы поднять.
6. Кузов вагона на тележки установить.
7. Тележки подсоединить.
8. Автосцепное устройство установить.
9. Зазоры скользунов отрегулировать.
10. Произвести обмер механизма автосцепки шаблоном 940 р.
11. Произвести обмер колесных пар абсолютным шаблоном.
12. Произвести регулировку и смазку рычажной передачи.
13. Произвести проверку тормоза на вагоне.
14. Покрасить в один слой установленные накладки, подножки и поручни.

№ п/п	Наименование ремонтных работ	Кол-во
1	Разделать, зачистить, заварить трещину св.швов угловой стойки длина св. шва гориз.100 + 100 + 150 + 150 мм, толщ. 6 мм	2
2	Срезать, установить и приварить верхний лист промежуточной балки (заводской)	8
3	Приварить накладку на верхний лист промежуточной балки 180 x 190 x 6 мм L св. шва 180 + 190 + 180 + 190 мм горизонтальный внахлест, S = 6 мм	12
4	Нагреть и выправить нижнюю полку нижней обвязки внутри вагона 300 x 50 x 6	2
5	Нагреть, выправить поручень составителя, три места диаметр 16 мм, длина 25 мм	3
6	Срезать деформированный поручень лестницы составителя и установить новый	7
7	Разделать, зачистить и заварить сварочный шов верхней обвязки: 1000 + 800 + 600 + 200 + 100 + 120 мм	1
8	Крышку люка прижать, поставить и приварить подкладку под закидку крышки люка 50 x 60 x 6 мм	20
9	Приварить промежуточную стойку к вертикальному листу промежуточной балки L св.шва вертикал.тавр. =250 + 250 мм, в два прохода S = 8 мм	8
10	Приварить промежуточную стойку к верхнему листу промежуточной балки L св.шва вертикал. тавр.60 + 50 + 50 + 60мм, в два прохода, S = 8 мм	8

11	Приварить шкв.стойку к верхнему листу пром.балки L св.шва вертикал. тавр.60 + 45 + 45 + 60 мм, в два прохода, S = 8 мм	4
12	Приварить накладку на вертикальный лист промежуточной балки 190 x 300 x 220 x 4 мм L св. шва гориз. внахлест 300 + 300 мм, вертикал. внахлест 220 + 190 мм S = 4 мм	16
13	Срезать и установить вновь изготовленную скобу ломовую, диаметр реза 16 мм два раза, Болт М16 – 2 шт., гайка М16 – 2 шт., заварить 15 мм	4
14	Приварить накладки на обшивку снаружи кузова: 100 x 100 x 4 мм 200 x 90 x 4 мм 50 x 60 x 4 мм	1 10 2
15	Ремонт крышки люка сборочный, сварочные работы и правильные вагоноремонтной машиной каждую крышку придавить три раза	7
16	Снять крышку люка и поставить новую крышку люка (заказчика), 3 валика, 3 шайбы, 3 шплинта	7
17	Срезать болт крепления М16 сектора запорного механизма, установить новую втулку сектора, новый болт М16, новую гайку М16, заварить 15 мм	1
18	Установить отсутствующий сектор запорного механизма, установить новую втулку сектора, новый болт М16, новую гайку М16, заварить 15 мм	2
19	Заварить трещину обшивы кузова длина: 100 + 40 + 40 + 40 + 80 + 20 + 150 + 80 + 80 + 20 + 20 + 40 + 20 + 100 + 100 + 60 + 80 + 80 + 150 + 20 + 20 + 80 + 120 + 100 + 100 + 150 + 150 мм на всем кузове	1
20	Приварить шккворневую стойку к обшиве кузова шов вертикальный длина шва 120 + 120 + 110 + 100 мм	1
21	Срезать деформированный поручень сцепщика	1
22	Приварить вновь изготовленный поручень сцепщика	1
23	Приварить нижнюю обвязку обшиве кузова длина шва 500 + 500 + 60 + 250 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 мм	1
24	Приварить накладку на коррозионную обшиву кузова внутри вагона: 150 x 150 x 4 мм 350 x 200 x 4 мм 500 x 90 x 4 мм 100 x 100 x 4 мм	1 3 1 1
25	Разделать трещину на верхней обвязке, заварить длина сварочного шва: 100 мм 100 + 100 + 100 мм	1 1
26	Приварить накладку на верхнюю обвязку 400 x 100 x 4	3
27	Приварить накладку на угловую стойку 200 x 150 x 4 мм	1
28	Срезать деформированную подножку составителя и установить новую	2

29	Приварить концевую балку длина сварочного шва 120 мм, толщина металла 6 мм, шов горизонтальный внахлест	2
30	Приварить накладку на концевую балку 500 x 200 x 4 мм, гор. внах.	1
31	Срезать и установить новый болт закидки запорного механизма М22, гайку М22, заварить 15 мм	3
32	Выправить верхнюю обвязку ВРМ 1 место по 1 разу с одной стороны	12
33	Выправить промежуточные и шкворневые стойки ВРМ 2 места по 1 разу с одной стороны	12
34	Выправить нижнюю обвязку ВРМ 2 места по 2 раза с одной стороны	14
35	Модернизация крепления МЧ и ГЧ воздухораспределителя (приварить)	2
36	Кольцо соединительное цепочки расцепного привода сварить	2

Перечень работ

на деповской ремонт кузова полувагона № 53587150

1. Автосцепное устройство снять и поставить – 2 шт.
2. Тележки выкатить, подкатить.
3. Тележку обмыть, разобрать, провести дефектацию, неразрушающий контроль и собрать – 2 шт., колесные пары выкатить и подкатить.
4. Тормозное оборудование снять, поставить.
5. Ремонт кузова вагона.
6. Зазор скользунов отрегулировать.
7. Тормоз на вагоне испытать.
8. Зачистить коррозионные места, подготовить места под трафареты, нанести трафареты.

№ п/п	Наименование ремонтных работ	Кол-во
1	Разделать, зачистить, заварить оборванный шов накладки угловой стойки, длина сварочного шва 100 + 150 + 100 мм	3
2	Приварить накладку на угловую стойку 200 x 100 x 4 мм	4
3	Приварить накладку на угловую стойку 100 x 100 x 4 мм	1
4	Разделать, зачистить, заварить сварочный шов верхней обвязки 100 + 110 мм	1
5	Приварить накладку на верхнюю обвязку: 200 x 100 x 4 мм	2
6	Крышку люка прижать, поставить и приварить подкладку под закидку крышки люка 50 x 60 x 6 мм	1
7	Приварить промежуточную стойку к вертикальному листу промежуточной балки, сварочный шов вертикальный тавровый 250 +250 мм в два прохода толщина 8 мм	8
8	Приварить промежуточную стойку к вертикальному листу промежуточной балки, сварочный шов вертикальный тавровый 60+50+50+60 мм, в два прохода толщина 8 мм	8

9	Приварить шкворневую стойку к вертикальному листу шкворневой балки, сварочный шов вертикальный тавровый 60 + 45 + 45 + 60 мм, в два прохода толщина 8 мм	4
10	Приварить накладку на вертикальный лист промежуточной балки 190 x 300 x 220 x 4 мм, сварочный шов внахлест горизонтальный 300 + 300 мм, вертикальный 220 + 190 мм толщина 4 мм	16
11	Нагреть и выправить нижнюю полку нижней обвязки внутри вагона 200 x 50 x 6	9
12	Приварить накладку внутри вагона на обшиве: 100 x 100 x 4 мм 100 x 200 x 4 мм	8 2
13	Ремонт крышки люка сборочный, сварочные работы и правильные вагоноремонтной машиной каждую крышку придавить три раза	13
14	Снять и установить крышку люка новую ЮГОК	1
15	Ремонт закидки запорного механизма сборочный	4
16	Срезать, установить и приварить верхний лист промежуточной балки (заводской)	3
17	Приварить накладку на верхний лист промежуточной балки 180 x 190 x 6 мм, длина сварочного шва 180 + 190 + 180 + 190 мм горизонтальный внахлест, S = 6 мм	5
18	Нагреть и выправить поручень сцепщика три места диаметр 16 мм длина 20 мм	2
19	Вырезать коррозионную обшиву кузова вагона: 200 x 1700 x 4 мм 250 x 1700 x 4 мм 200 x 1200 x 4 мм	9 4 1
20	Приварить накладку на обшиву кузова внутри вагона: 1600 x 300 x 4 мм 900 x 250 x 4 мм 1600 x 300 x 4 мм 200 x 300 x 4 мм	7 1 6 12
21	Обварить накладку на обшиве кузова вагона снаружи: 200 x 1600 x 4 мм 250 x 1600 x 4 мм 200 x 1200 x 4 мм	9 4 1
22	Приварить накладку на обшиву кузова 100 x 100 x 4 мм	7
23	Заварить трещину обшивы кузова 40 мм	14
24	Нагреть и выправить закидку запорного механизма 20 x 30 x 20 мм два места, ударить кувалдой по 4 раз	1
25	Вырезать деформированные участки верхнего листа промежуточной балки: 300 x 80 x 4 мм 200 x 80 x 4 мм 900 x 80 x 4 мм	2 1 3
26	Приварить накладку на верхний лист промежуточной балки: 350 x 90 x 4 мм 250 x 90 x 4 мм	2 1

	1000 x 90 x 4 мм	3
27	Нагреть и выправить винт стояночного тормоза диаметр 30 мм длина 30 мм два места , ударить кувалдой по 5 раз	1
28	Нагреть и выправить штурвал три места по 30 x 100 x 3 мм, ударить кувалдой по 3 раза	1
29	Нагреть и выправить скобу подтягивания вагона 40 x 25 x 20 мм два места, ударить по 4 раза кувалдой	1
30	Приварить кронштейн крепления скобы магистральной 50 + 90 + 50 мм гор. внах.	1
31	Установить скобу крепления тормозной магистрали, две гайки, одну стопорную планку	1
32	Заварить трещину верхнего листа шкворневой балки 80 мм	5
33	Приварить накладку на нижнюю обвязку снизу 250 x 100 x 4 мм, гор. внах.	1
34	Выправить верхнюю обвязку ВРМ 1 место по 1 разу с одной стороны	12
35	Выправить промежуточные и шкворневые стойки ВРМ 2 места по 1 разу с одной стороны	12
36	Выправить нижнюю обвязку ВРМ 2 места по 2 раза с одной стороны	14
37	При выполнении сварочных работ вагон кантуется на бок	3
38	Модернизация крепления МЧ и ГЧ воздухораспределителя (приварить)	2
39	Кольцо соединительное цепочки расцепного привода сварить	2

Перечень работ
на деповской ремонт кузова полувагона № 56920697

1. Автосцепное устройство снять и поставить – 2 шт.
2. Тележки выкатить, подкатить.
3. Тележку обмыть, разобрать, провести дефектацию, неразрушающий контроль и собрать – 2 шт., колесные пары выкатить и подкатить.
4. Тормозное оборудование снять, поставить.
5. Ремонт кузова вагона.
6. Зазор скользунов отрегулировать.
7. Тормоз на вагоне испытать.
8. Зачистить коррозионные места, подготовить места под трафареты, нанести трафареты.

№ п/п	Наименование ремонтных работ	Кол-во
1	Разделать, зачистить, заварить трещину угловой стойки, длина сварочного шва 90 + 60 + 100 +160 мм	3
2	Приварить накладку на угловую стойку: 200 x 100 x 4 мм	3
3	Крышку люка прижать, поставить и приварить подкладку под закидку крышки люка 50 x 60 x 6 мм	37

4	Приварить промежуточную стойку к вертикальному листу промежуточной балки, сварочный шов вертикальный тавровый 250+250 мм в два прохода толщина 8 мм	8
5	Приварить шкворневую стойку к вертикальному листу шкворневой балки, сварочный шов вертикальный тавровый 250+250 мм в два прохода толщина 8 мм	4
6	Приварить промежуточную стойку к вертикальному листу промежуточной балки, сварочный шов вертикальный тавровый 60+50+50+60 мм, в два прохода толщина 8 мм	8
7	Приварить шкворневую стойку к вертикальному листу шкворневой балки, сварочный шов вертикальный тавровый 60 + 45 + 45 + 60 мм, в два прохода толщина 8 мм	4
8	Приварить накладку на вертикальный лист шкворневой балки 350 x 200 x 4 мм, сварочный шов внахлест горизонтальный 350 + 350 мм, вертикальный 200 + 200 мм толщина 4 мм	8
9	Приварить накладку на вертикальный лист промежуточной балки 190 x 300 x 220 x 4 мм, сварочный шов внахлест горизонтальный 300 + 300 мм, вертикальный 220 + 190 мм толщина 4 мм	16
10	Приварить накладку внутри вагона на обшиве: 100 x 100 x 4 мм	3
11	Снять и установить крышку люка новую ЮГОК	14
12	Срезать, установить и приварить верхний лист промежуточной балки (заводской)	5
13	Вырезать коррозионную обшиву кузова вагона: 1500 x 200 x 4 мм	1
	450 x 100 x 4 мм	1
	350 x 100 x 4 мм	1
	150 x 100 x 4 мм	1
	650 x 100 x 4 мм	1
	200 x 100 x 4 мм	1
14	Приварить накладку на обшиву кузова внутри вагона: 1600 x 300 x 4 мм	1
	700 x 200 x 4 мм	1
	550 x 200 x 4 мм	1
	300 x 200 x 4 мм	1
	750 x 250 x 4 мм	1
	300 x 200 x 4 мм	1
15	Обварить накладку на обшиве кузова вагона снаружи: 1500 x 200 x 4 мм	1
	450 x 100 x 4 мм	1
	350 x 100 x 4 мм	1
	150 x 100 x 4 мм	1
	650 x 100 x 4 мм	1
	200 x 100 x 4 мм	1
16	Вырезать деформированный участок верхнего листа промежуточной балки 80 x 600 x 80 x 6 мм	1
17	Приварить накладку на верхний лист промежуточной балки 90 x 700 x 90 x 4 мм	1

18	Нагреть и выправить поручень сцепщика три места диаметр 16 мм длина 20 мм	2
19	Заварить трещину обшивы длина: 40+70+40+40+40+70+70+30 мм	1
20	Приварить накладку на верхний лист промежуточной балки 180 x 190 x 6 мм, длина сварочного шва 180 + 190 + 180 + 190 мм горизонтальный внахлест, S = 6 мм	11
21	Приварить промежуточные и шкворневые стойки к нижней обвязке, вертикальный шов 80+70+40+80+50+50+30+40 мм	1
22	Приварить к нижней обвязке уголок 25x25, длина 1600 мм, шов горизонтальный прерывистый 100 мм через 100 мм	11
23	Нагреть и выправить верхний лист шкворневой балки, 100x40x8 мм	5
24	Вырезать деформированный участок верхнего листа шкворневой балки, 80x900x80x6 мм	2
25	Приварить накладку на верхний лист шкворневой балки, 90x1000x90x4 мм	2
26	Приварить кронштейн крепления подножки: вертик. 100+100+100+100 мм горизонт. 50+50+50+50 мм	2 2
27	Приварить накладку на концевую балку внутри вагона, 300x200x4 мм	1
28	Заварить трещину вертикальной стойки, 50 мм	1
29	Приварить однобортную накладку 250x130x6 мм на промежуточную стойку, сварочный шов вертик. 250+250 мм, горизонт. 130+130 мм	1
30	Выправить верхнюю обвязку ВРМ 1 место по 1 разу с одной стороны	12
31	Выправить промежуточные и шкворневые стойки ВРМ 2 места по 1 разу с одной стороны	12
32	Выправить нижнюю обвязку ВРМ 2 места по 2 раза с одной стороны	14
33	При выполнении сварочных работ вагон кантуется на бок	3
34	Модернизация крепления МЧ и ГЧ воздухораспределителя (приварить)	2
35	Кольцо соединительное цепочки расцепного привода сварить	2
36	Ремонт закидки запорного механизма	5