



МЯМЛИН ВЛАДИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Основное направление научных исследований – философские проблемы развития науки и техники, методология научной и инженерной деятельности, системный анализ, макроэкономика, пути повышения уровня сознания человека, проектирование перспективных вагоноремонтных предприятий.

Автор более 200 научных и научно-популярных статей.

Основные разработки:

- теория высокоэффективной национальной экономики;
- теория гармоничного развития общества;
- теория простых решений;
- мультифазные поликанальные многопредметные асинхронные гибкие потоки ремонта подвижного состава.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ ПОТОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Днепропетровский национальный университет  
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

В. В. МЯМЛИН

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ ПОТОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛ Я РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Монография



Днепропетровск  
2014

Днепропетровский национальный университет  
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

В.В. МЯМЛИН

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ  
ГИБКИХ ПОТОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ  
ДЛЯ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Монография

Днепропетровск  
2014

УДК 629.484.083:658.527

ББК 39.22-08:30.606

М 99

ISBN 978-966-97463-5-1

Издательство ЧФ «Стандарт-Сервис»

Днепропетровск, 2014

#### Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. Э. Д. Гартаковский,

д-р техн. наук, проф. М. И. Капица

Рекомендовано к печати решением Учёного совета Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (протокол № 5 от 24.11.2014 г.)

Монография посвящена исследованию методов ремонта подвижного состава вагоноремонтных предприятий. Рассмотрены различные типы потоков, их особенности и математические модели, описывающие их работу. Приведены методики имитационного моделирования различных структурных вариантов гибких потоков, а также способы сбора статистических данных и обработки результатов измерений. Сделаны выводы о том, что гибкие потоки с индивидуальным перемещением вагонов являются для вагоноремонтных предприятий наиболее эффективной формой организации производства.

Книга предназначена для ученых и аспирантов, занимающихся вопросами исследования вагоноремонтных предприятий, а также для инженеров-проектировщиков, занимающихся проектированием вагоноремонтных предприятий, и инженеров-технологов, разрабатывающих инновационные технологии ремонта вагонов. Может быть также полезна преподавателям и магистрам, а также студентам, изучающим дисциплины: «Вагонное хозяйство» и «Основы эксплуатации и восстановления вагонов».

Ил. 75. Табл. 19. Библиогр.: 320 наим.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ ПОТОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

М 99 Мямлин В.В.: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ ПОТОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА: Монография / В.В.Мямлин –Дн-вск. : Из-во ЧФ «Стандарт-Сервис», 2014. – 380с. - ISBN 978-966-97463-5-1

УДК 629.484.083:658.527

ББК 39.22-08:30.606

Монографія присвячена дослідженню методів ремонту рухомого складу на вагоноремонтних підприємствах. Розглянуто різні типи потоків, їх особливості та математичні моделі, які описують їх роботу. Наведено методики імітаційного моделювання різних структурних варіантів гнучких потоків, а також способи збору статистичних даних та обробки результатів вимірювань. Зроблено висновки про те, що гнучкі потоки з індивідуальним переміщенням вагонів є для вагоноремонтних підприємств найбільш ефективною формою організації виробництва.

Книга призначена для вчених та аспірантів, що займаються питаннями дослідження вагоноремонтних підприємств, а також для інженерів-проектувальників, що займаються проектуванням вагоноремонтних підприємств, та інженерів-технологів, які розробляють інноваційні технології ремонту вагонів. Може бути також корисна викладачам і магистрам, а також студентам, що вивчають дисципліни: «Вагонне господарство» та «Основы эксплуатации и восстановления вагонов».

© Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, 2014

© Мямлин В. В., 2014

© Издательство ЧФ «Стандарт-Сервис», Днепропетровск, 2014

ISBN 978-966-97463-5-1

*A potentia ad actum (лат.)*

От возможного – к действительному

*Собака лает, а караван идёт*

*(Персидская поговорка)*

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ОТ АВТОРА</b> .....	10
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	12
<b>Глава 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ</b> .....	16
§ 1.1. Ретроспективный обзор публикаций по ремонту и обслуживанию подвижного состава на отечественных предприятиях железнодорожного транспорта, а также в СССР и СНГ .....	16
§ 1.2. Методы ремонта и технического обслуживания подвижного состава за рубежом .....	32
§ 1.3. Возможные методы организации ремонта вагонов .....	50
§ 1.3.1. Стационарный метод ремонта вагонов .....	50
§ 1.3.2. Поточный метод ремонта вагонов .....	52
§ 1.3.2.1. Жёсткий поток .....	52
§ 1.3.2.2. Полужёсткий поток .....	57
§ 1.4. Поточный метод как высшая стадия развития производства .....	59
§ 1.4.1. Предпосылки появления поточного метода организации производства .....	59
§ 1.4.2. Основные понятия поточного производства .....	61
§ 1.4.3. Обзор поточных методов производства в других отраслях промышленности .....	76
§ 1.4.4. Гибкий асинхронный поток ремонта вагонов – дальнейший этап развития и совершенствования вагоноремонтного производства .....	83
§ 1.5. Уточнение терминов вагоноремонтного производства .....	95

<b>Глава 2. ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ХАРАКТЕР ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	97
§ 2.1. Исследование трудоёмкостей различных видов работ при деповском ремонте вагонов.....	97
§ 2.2. Анализ случайных факторов, влияющих на эффективность ремонта вагонов.....	114
§ 2.2.1. Систематизация случайных факторов.....	114
§ 2.2.2. Конструкционно-эксплуатационные факторы .....	116
§ 2.2.2.1. Особенности конструкций грузовых вагонов (на примере полувагона) .....	116
§ 2.2.2.2. Условия эксплуатации вагонов.....	124
§ 2.2.2.3. Сроки эксплуатации вагонов.....	125
§ 2.2.2.4. Качество ранее выполненных ремонтов и технических обслуживаний.....	125
§ 2.2.3. Человеческие факторы.....	126
§ 2.2.3.1. Работоспособность исполнителей .....	126
§ 2.2.3.2. Профессионализм, мастерство, квалификация исполнителей .....	131
§ 2.2.3.3. Психофизиологические особенности исполнителей .....	132
§ 2.2.3.4. Прочие факторы, оказывающие влияние на эффективность работы исполнителей .....	132
§ 2.2.4. Организационно-технические факторы .....	135
§ 2.2.4.1. Отказы технологического оборудования .....	135
§ 2.2.4.2. Ремонтпригодность оборудования .....	136
§ 2.2.4.3. Перебои в подаче энергоресурсов и материалов.....	136
§ 2.2.5. Организационно-технологические факторы.....	137
§ 2.2.5.1. Метод организации ремонта .....	137
§ 2.2.5.2. Технологическая структура потока .....	137
§ 2.2.5.3. Способ перемещения вагонов .....	137
§ 2.3. Выводы и рекомендации .....	138

<b>Глава 3. СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ВАГОНРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ГИБКИМ ПОТОКОМ. МЕТОДЫ РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>142</b>
§ 3.1. Современные требования к проектированию вагоноремонтных предприятий .....	142
§ 3.2. Компоночные решения организационно- технологических структур перспективных вагоноремонтных предприятий с гибким потоком ремонта вагонов .....	144
§ 3.3. Способ перемещения вагонов между позициями гибкого вагоноремонтного потока при помощи транспортных агрегатов .....	166
§ 3.4. Структурные варианты организации гибких потоков ...	179
§ 3.5. Анализ основных параметров мультифазных поликанальных многопредметных асинхронных гибких потоков и методы их расчёта .....	191
§ 3.6. Методика определения рациональной компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия на стадии его проектирования .....	195
 <b>Глава 4. РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАГОНРЕМОНТНЫХ ПОТОКОВ .....</b>	 <b>207</b>
§ 4.1. О математических моделях и моделировании .....	207
§ 4.2. Содержательное описание функционирования гибкого потока ремонта вагонов .....	212
§ 4.3. Понятие потока ремонта вагонов как многофазной многоканальной системы массового обслуживания .....	218
§ 4.3.1. Общие положения теории массового обслуживания ..	218

§ 4.3.2. Аналитическое описание систем массового обслуживания .....	221
§ 4.3.3. Имитационное моделирование систем массового обслуживания .....	224
§ 4.4. Использование теории агрегатов для описания функционирования потока ремонта вагонов .....	227
§ 4.4.1. Общие положения теории агрегатов .....	227
§ 4.4.2. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы .....	228
§ 4.4.3. Использование математических моделей кусочно-линейных агрегатов для формализации процесса функционирования различных модулей вагоноремонтного потока с гибкой транспортной системой .....	235

<b>Глава 5. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ПОЗИЦИЯХ ПОТОКА ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>248</b>
§ 5.1. Необходимость сбора и обработки статистических данных о трудоёмкостях ремонта вагонов на позициях вагоноремонтного участка .....	248
§ 5.2. Анализ эксплуатационных дефектов вагонов. Выбор необходимых технологических операций для их устранения. Расчёт трудоёмкостей операций .....	250
§ 5.3. Распределение ремонтных операций между позициями проектируемого потока с целью получения исходных вероятностных моделей трудозатрат .....	253
§ 5.4. Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на отдельных позициях потока .....	260

§ 5.5. Способ получения случайных значений времени выполнения ремонтных работ на позициях потока на основании собранных статистических данных .....	264
---	-----

**Глава 6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПОТОКОВ РЕМОНТА ВАГОНОВ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ..268**

§ 6.1. Имитационное моделирование как метод изучения перспективных технологических процессов и получения нового знания .....	268
§ 6.2. Имитационное моделирование работы гибкого потока при ремонте вагонов одного типа .....	271
§ 6.3. Имитационное моделирование работы гибкого потока при нескольких типах вагонов и нескольких видах ремонта .....	278
§ 6.4. Описание блок-схемы алгоритма моделирования работы гибкого потока при нескольких типах вагонов и нескольких видах ремонта .....	282
§ 6.5. Описание интерфейса компьютерной программы имитационного моделирования и расчёта основных показателей генерального вагоноремонтного потока.....	290
§ 6.6. Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких асинхронных потоков ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования .....	302

<b>Глава 7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ НАУЧНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ</b> .....	316
§ 7.1. Факторы, влияющие на рост производительности труда .....	316
§ 7.2. Технико-экономическое обоснование строительства новых вагоноремонтных предприятий, использующих гибкий асинхронный поток ремонта вагонов .....	320
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ</b> .....	324
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	327

## ОТ АВТОРА

Данная работа посвящена решению вопросов, связанных с совершенствованием организации ремонта подвижного состава, а в частности, грузовых вагонов. Известно, что технический прогресс в вагонном хозяйстве невозможен без развития вагоноремонтной науки. Научное сопровождение вагоноремонтного производства, в свою очередь, невозможно без учёта и анализа реальных фактов, без хорошо спланированных и поставленных экспериментов, без грамотной обработки результатов с целью получения достоверной информации.

Вопрос о том, как наилучшим образом совместить вероятностный характер ремонтного производства с индустриальными методами его реализации уже длительный период времени продолжает оставаться одной из самых актуальных задач вагоноремонтной науки.

Автор более тридцати лет занимался изучением данного вопроса и готов поделиться своими соображениями на этот счёт со всеми, кто так или иначе причастен к организации ремонта подвижного состава. Книга будет полезна студентам старших курсов железнодорожных ВУЗов, аспирантам, молодым учёным, преподавателям, а также работникам вагонного хозяйства и проектировщикам, связанным с эксплуатацией и проектированием вагоноремонтных предприятий.

Хочу сказать одно: *«Feci quod potui, faciant meliora potentes»*\*.

Автор выражает глубокую признательность всем тем, кто своими советами, замечаниями или пожеланиями оказывал помощь

\*Я сделал всё, что мог, кто может, пусть сделает лучше (лат.).

в написании данной работы. Особая благодарность доктору технических наук, профессору С. В. Мямлину за ценные консультации при подготовке рукописи к изданию.

Автор будет также весьма признателен всем читателям за отзывы, пожелания и замечания по тексту монографии, которые можно направлять по адресу: кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство», ДНУЖТ, ул. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010 или по E-mail: [minimax1992@gmail.com](mailto:minimax1992@gmail.com).

---

## ВВЕДЕНИЕ

---

Транспорт играет заметную роль в жизни любого государства, так как существует огромная потребность в постоянном перемещении грузов и пассажиров. Об этом говорится и в Транспортной стратегии Украины на период до 2020 года [294]. Поэтому его влияние на социально-экономическую жизнь страны ни у кого не вызывает сомнений. Учитывая географическое расположение Украины, которая соединяет Азию с Европой, имеет выход к Чёрному и Азовскому морям, богата природными ресурсами, имеет общую сухопутную границу с восемью государствами, роль транспорта возрастает ещё больше.

Наибольшую нагрузку среди транспортных артерий Украины несёт железнодорожный транспорт. На его долю приходится 82 % грузооборота и около 50 % пассажирооборота всей транспортной системы страны. По объёму грузовых перевозок железные дороги страны занимают четвёртое место на Евразийском континенте, уступая лишь России, Китаю и Индии. По протяжённости железных дорог (около 22 тыс. км) Украина занимает второе место в Европе и шестое в мире.

Одним из центральных звеньев железнодорожного транспорта является вагонное хозяйство. На долю вагонного хозяйства приходится около 20 % основных фондов железнодорожного транспорта, 15 % контингента работающих и 11 % текущих затрат. Парк грузовых вагонов в Украине составляет около 184 тыс. единиц подвижного состава. В структуре перевозимых грузов первое место занимает каменный уголь; на втором месте – железная руда; третье место – марганцевая руда; четвёртое – строительные материалы; пятое – чёрные металлы. Перевозка указанных грузов осуществляется в основном полувагонами, которые являются самым массовым ти-

пом подвижного состава. Главная задача вагонного хозяйства состоит в обеспечении перевозок исправным подвижным составом, его содержание, техническое обслуживание и ремонт. В настоящее время на Украине имеется 54 грузовых вагонных депо, из которых 34 осуществляют плановый ремонт вагонов. Капитальный ремонт грузовых вагонов производят четыре предприятия: ГП «Дарницкий вагоноремонтный завод», ОДО «Попаснянский вагоноремонтный завод», Стрыйский государственный вагоноремонтный завод и ГП «Укрспецвагон», созданный на базе Паниютинского ВРЗ.

Основная тактическая задача вагоноремонтных предприятий заключается в повышении качества ремонта вагонов и росте производительности труда, что способствует улучшению безопасности движения поездов, увеличению пропускной способности предприятий и сокращению времени пребывания вагонов в ремонте. Вместе с тем, за прошедшие четверть века вагонное хозяйство Украины не только не совершило инновационный скачок вперёд, но и утратило свой былой производственный потенциал. Некоторым предприятиям уже более 70 лет, износ оборудования составляет около 60-75 %. Большинство предприятий используют стационарный метод ремонта, работают по неполному ремонтному циклу, не имеют современного высокопроизводительного оборудования. Естественно, что в таких условиях достичь высокого качества ремонта подвижного состава и высоких технико-экономических показателей производства не представляется возможным. Необходимо помнить, что работа железнодорожного транспорта, как обслуживающей отрасли, напрямую зависит от работы остальных отраслей промышленности и сельского хозяйства. Поэтому общий спад в экономике не может не отразиться на объёмах перевозимых грузов. А это в свою очередь влияет и на величину вагонного парка, и на оборот вагонов, их использование, износ, а, следовательно, и на объёмы их ремонта. Поэтому интенсивная работа национальной экономики яв-

ляется залогом успешной работы и предприятий вагонного хозяйства.

Вместе с тем, для оздоровления деповской вагоноремонтной базы, кроме материальных средств, нужны новые свежие идеи, прогрессивные технические решения и инновационные технологии. В предлагаемой монографии осуществлена попытка обобщить уже имеющийся теоретический и практический материал, заполнить отдельные пробелы в вагоноремонтной науке, задать определённый темп проведения научных исследований в данном направлении, а также заинтересовать руководство вагонного хозяйства отрасли в необходимости внедрения на вагоноремонтных предприятиях высокоэффективных гибких потоков ремонта вагонов.

Первая глава монографии посвящена анализу публикаций по вопросам организации вагоноремонтного производства. Кроме того, здесь рассматриваются различные типы поточных линий для ремонта вагонов, дан обзор поточных методов производства в других отраслях промышленности, а также за рубежом.

Во второй главе рассматривается вероятностный характер вагоноремонтного производства и даётся анализ факторов, влияющих на эффективность ремонта грузовых вагонов.

В третьей главе представлены структурно-компоновочные варианты схем предприятий, использующих гибкий вагоноремонтный поток.

В четвёртой главе уделено внимание различным математическим моделям, которые могут быть использованы при моделировании производственных процессов ремонта вагонов на потоке.

В главе пятой излагается методика сбора и обработки статистических данных о трудоёмкостях различных видов работ и отдельных операций на позициях вагоноремонтного участка.

Глава шестая посвящена описанию функционирования имитационных моделей вагоноремонтных потоков с различными струк-

турами, анализу полученных результатов и описанию интерфейса самой имитационной программы.

В седьмой главе рассматриваются вопросы, связанные с технико-экономическим обоснованием гибких вагоноремонтных потоков, и исследуются факторы, влияющие на рост производительности труда.

В заключение работы делается вывод о том, что для вагоноремонтного производства, носящего для объёмов ремонтных работ ярко выраженный вероятностный характер, гибкие потоки являются наиболее целесообразной формой организации технологического процесса ремонта вагонов.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

---

### **§ 1.1. Ретроспективный обзор публикаций по ремонту и обслуживанию подвижного состава на отечественных предприятиях железнодорожного транспорта, а также в СССР и СНГ**

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 до момента распада СССР 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 [203]. 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 [82]. 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, спо-

собствующих 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 [82].

Вопросами организации ремонта вагонов на поточных линиях в разное время занимались очень многие учёные и практики: В. Г. Анофриев [192, 275], Д. К. Аяшева [9], Ю. С. Бараш [11], М. М. Болотин [19-25], В. П. Бугаев [34-39, 62, 107], В. И. Букин [40], В. Г. Воротников [19, 20, 22, 23, 25, 53-55], А. Е. Дударев [73-78, 192, 275], В. А. Ёжиков [81, 82, 261], А. В. Кирилук [94], Н. З. Криворучко [62, 105-110], В. Н. Малькова [124], В. В. Мямлин [141, 222], В. В. Мямлин [74-76, 134-140, 142-189, 243, 284, 296, 318, 319], П. Н. Наливайко [305], А. М. Ножевников [197, 198], И. А. Ножевников [199], В. Ф. Разон [233–235], Г. В. Райков [72, 236, 237], В. И. Сенько [11, 246-252], И. Ф. Скиба [261-266], А. К. Сорока [305], П. А. Устич [298], П. Н. Чернышёв [305].

Поточным методом ремонта контейнеров занимались А. И. Биленко, Е. В. Трушкин [17] и А. А. Огурцов [205].

Поточному методу ремонта и диагностики тягового подвижного состава посвящены работы Э. З. Гизатулина [57, 58], Ю. В. Мирошниченко [129], Е. Г. Стеценко [58], Э. Д. Тартаковского [278-280], Г. Ф. Яковлева, А. И. Иунихина, Ю. М. Колесникова [313], Б. Г. Постола [227], Н. И. Филькова, Е. Л. Дубинского, М. М. Майзеля [301].

Развитие поточных методов ремонта подвижного состава во многом связано с общим состоянием и прогрессом в вагонном хо-

зяйстве. Вопросами совершенствования технологии, системы ремонта и технического обслуживания вагонов, их надёжностью, экономическими обоснованиями, а также общими вопросами развития вагонного хозяйства и вагоноремонтных предприятий занималось немалое количество специалистов, среди которых можно отметить целый ряд авторов: С. М. Аввакумов [1], В. Г. Анофриев [192], М. Ф. Арефьев [285], В. А. Балаканов [222], С. Ф. Баратов [10], Ю. С. Бараш [250], Ч. У. Березнякова [208], М. М. Болотин [19-25, 102], И. Д. Борзилов [26, 27], С. М. Бородай [31], А. Л. Бродовский [33, 34], В. П. Бугаев [34-39, 62, 107], В. И. Букин [40], Н. Г. Винниченко [52], В. В. Готаулин [61], В. И. Гридюшко [62], И. В. Гундаев [65], А. А. Долматов [72], В. Л. Дикань [79], В. А. Ёжиков [81, 82], С. В. Калетин [89], М. В. Карелина [92], А. В. Кирилук [94], В. А. Кленкин [95], К. Х. Клименко [317], С. Г. Комаров [113], С. В. Копачёв [98], С. Н. Коржин [206], В. Б. Костров [72], В. Н. Котуранов [102], В. Колупаев [96], А. Н. Королёв [99], О. Ю. Кривич [104], Н. З. Криворучко [105–109], Ф. А. Лапшин [113], Т. В. Лисевич [114], П. Р. Лосев [245], К. М. Люльчев [120], И. Э. Мартынов [125, 126], В. М. Меланин [206], А. Ю. Миронов [128], В. Б. Митюхин [130], В. Н. Морозов [131], Р. Г. Морчиладзе [295], К. В. Мотовилов [132, 286], Б. Д. Никифоров [194], Ф. Ф. Насибуллин [190], Т. В. Нескуба [193], А. М. Ножевников [197], Г. И. Осадчук [208], В. Н. Пасько [285], С. А. Покровский [208], В. Ф. Разон [235], Г. В. Райков [72, 236, 237], В. А. Рудаков [240], В. В. Селиверстов [244], Г. К. Сендеров [245], В. И. Сенько [247, 249-252], К. А. Сергеев [253–255], Н. Ф. Сирина [256–259], И. Ф. Скиба [263, 264, 266], Н. Н. Сосунов [272], В. Н. Стариченков [221], Старых [273], Р. П. Стрекалина [274], В. В. Сычёв [277], А. Ю. Тимченко [287], О. Г. Тухарели [295], П. А. Устич [298], В. А. Шамагин [285], А. В. Шилович [310], А. С. Шипунов [311], Л. Г. Чупейкина [308], И. И. Хаба [194, 298], В. Х. Хозло [317], Н. М. Яковлева [314], А. М. Янов [317] 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. Кирилюк (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 [58]. 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 [17].

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 вагоноборочных 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. Такие потоки являются формальными потоками. 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 продолжают доделываться на последующих позициях.

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 большой вариации трудоёмкостей выполняемых работ.

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» [32, 33]. И здесь же: «объекты ремонта, пропускаемые по потоку, должны быть по характеру и объёму ремонта примерно оди-

наковыми». 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 Советского Союза, 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 [34-40, 105-110, 233-236].

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 и 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 «жёсткого» потока, предлагались различные организационно-технические мероприятия. Так, например, предлагалось ставить на одну позицию два или более ва-

гонов, 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 подбор вагонов нужно, во-первых, иметь огромный запас вагонов одного типа, чтобы было из чего выбирать и, во-вторых, сам подбор связан со многими трудностями технического и организационного характера. Да и постоянно содержать большой запас вагонов в условиях крайнего их дефицита – это nepозволительная 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 некоторое время на стационарных уравнивательных 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 сказать, что все эти рекомендуемые мероприятия носят в основном теоретический характер, практическое их применение весьма затруднительно и неэффективно – в целом противостоять вероятностной природе вагоноремонтного производства они не могут.

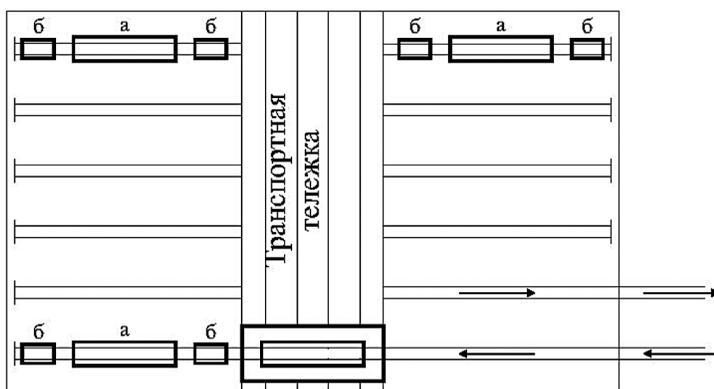
Основная ошибка здесь видится в том, что исследователи точных методов ремонта вагонов основное усилие направляли на совершенствование только одного конкретного вида ремонтного потока, а именно – поточно-конвейерного (поточно-линейного) метода, а не потока как такового вообще.

Наиболее полный анализ поточных линий в вагоноремонтном производстве осуществлён в работах [81, 82, 261]. Обширный анализ работ учёных в области оптимизации системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава приведен в работе [299].

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 всё оставалось по-прежнему. Вагоны представляют собой крупногаба-

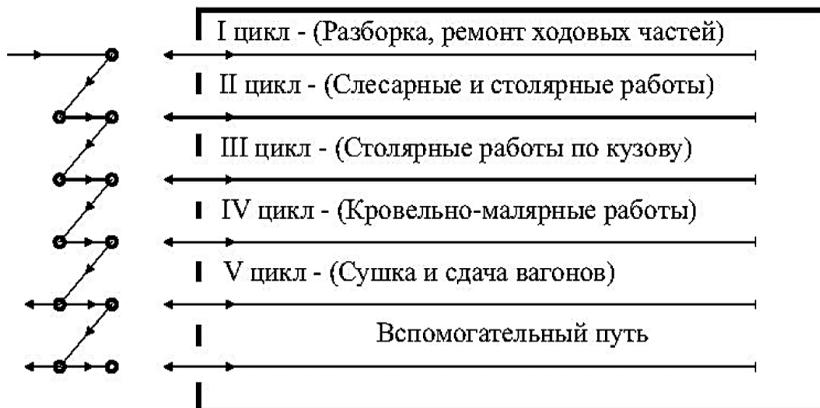
ритные предметы, которые сложно перемещать, и при уже построенных зданиях не было никакой возможности что-либо существенно изменить в структуре таких линий.

Хотя следует отметить, что ещё в 50-х годах в работе д. т. н., профессора И. Ф. Скибы [265] 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 схем организации вагонсборочного цеха поперечно-тупикового типа с транспортной тележкой. Ремонт вагонов предполагается осуществлять по этой схеме стационарным методом.



**Рис. 1.1.** Схема вагонсборочного цеха поперечно-тупикового типа с транспортной тележкой, где *a* – кузов вагона; *б* – вагонная тележка

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



**Рис. 1.2.** Схема вагоносборочного цеха продольно-тупикового типа

Ремонт вагонов в цехе продольно-тупикового типа организован поточным методом. На каждый специализированный ремонтный путь (позицию) устанавливается группа вагонов. Перемещение вагонов между позициями осуществляется поочерёдно, 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.

При сквозной схеме вагоны поступают в ремонт с одной стороны здания, а выходят из ремонта – с другой. При П-образном вари-

анте подача вагонов в ремонт и выпуск их после ремонта производятся с одной и той же стороны вагоносборочного участка.

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 образуются транспортные «пробки».

При жёсткой структуре поточной линии и не остаётся ничего другого, как только заниматься вопросами обеспечения внутри-тактной синхронизации.

Определённый интерес представляет работа [236], 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 [94] 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 [92], в которой предложено математическое и программное обеспечение по оптимизации параметров системы ремонта и сроков службы вагонов.

В работе [309] предложены методики для построения эффективной системы ремонта полувагонов с учётом качества их восстановления при плановом ремонте, дано определение понятию «качество ДР ремонта».

В работе [104] 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 [61] разработаны математические модели технологических процессов, а также методики практической оценки состояния технической подготовки производства по ремонту автосцепных устройств.

В работе [65] 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 [240] 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 [36] является разработка методов по обоснованию мощности вагоноремонтной базы, её размещению и развитию, выдача рекомендаций по срокам службы вагонов и периодичности их ремонта. Работа полезна, хотя затрагивает в

основном экономическую часть вопроса. Но есть предложения, с которыми вполне 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 работа депо должна быть организована по другому принципу.

Работа [230] 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 альтернативы потоку нет. Это самая эффективная и самая высокопроизводительная форма организации производства. Просто для дальнейшего развития поточных

методов ремонта нужны новые организационно-технические формы.

### **§ 1.2. Методы ремонта и технического обслуживания подвижного состава за рубежом**

В связи с реформированием отечественной железнодорожной отрасли актуальной является проблема изучения опыта по организации системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава в других странах. И хотя литературы на этот счёт не так уж и много, попытаемся на примере отдельных железнодорожных компаний осветить этот вопрос.

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 со штаб-квартирой в Берлине, которое предназначено для проведения технического обслуживания закупленных железными дорогами этой страны (DBAG) испанских поездов-отелей [97]. Компанией построен ремонтный завод, который начал свою работу с момента ввода в эксплуатацию этих поездов в мае 1994 г. По состоянию на середину 2002 г. численность персонала завода составляла 75 чел. Техническая оснащённость 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 и стремится к тому, чтобы каждый сотрудник с достаточно высокой квалификацией мог работать по максимально возможному числу специальностей. С лета 2000 г. берлинское отделение Talgo дополнительно стало выполнять работы по техническому обслуживанию пассажирских поездов, изготовленных другими компаниями. Компания с самого начала выступала одновременно в качестве и производственного, и ремонтного предприятия. Эта стратегия сохранилась до настоящего времени. Эксплуатирующее предприятие освобождается от всех работ по техническому обслуживанию и непосредственно полностью занимается коммерческой эксплуатацией [97].

В связи с тем, что компания-изготовитель одновременно выступает и в роли ремонтного предприятия, автоматически сформировался технологический цикл, характеризующийся следующим:

- Talgo как изготовитель предоставляет в распоряжение собственных ремонтных подразделений все последние технические решения, используемые при изготовлении подвижного состава;

- система технического обслуживания обеспечивает постоянную обратную связь технической эксплуатации подвижного состава с производственным сектором, что позволяет компании успешно совершенствовать свою продукцию.

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 в соответствии с законами, распоряжениями, национальными и международными стандартами, представляет собой гармоничное сочетание плановых мероприятий с работами, проводимыми с учетом технического состояния узлов. Важным элементом системы при этом являются инструкции по техническому обслуживанию, составленные на основе многолетнего опыта эксплуатации и постоянно дополняемые практикой.

К плановым мероприятиям относятся:

- профилактические обслуживания (например, замена изношенных деталей, дозаправка смазочного материала);
- технический осмотр деталей или 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 разделением больших объёмов работ на более мелкие.

Техническое обслуживание по состоянию проводится на основе результатов:

- диагностики, выполняемой бортовой диагностической системой;
- осмотра, выполняемого техником поездной бригады;
- диагностики заводскими и деповскими системами;
- плановых ревизий или осмотров.

Эти мероприятия проводятся с целью определения момента, когда необходимо проведение работ по техническому обслуживанию. Этот момент определяют по имеющимся конкретным данным или же путем прогнозирования.

В каждом поезде Talgo имеется центральная бортовая диагностическая система, которая постоянно взаимодействует со всеми основными компонентами, состояние которых контролируется, а данные об их состоянии в непрерывном режиме регистрируются и отображаются на экране монитора. Эта информация анализируется поездным техником.

Основным компонентом заводского диагностического оборудования является разработанная компанией Talgo система, расположенная ниже уровня пола и служащая для автоматического сбора данных о состоянии ходовой части. Иногда проводят измерения во всём составе при его прохождении над диагностическим устройством.

Наряду с измерением геометрии колёс (толщины и высоты гребня, величин угла наклона рабочей грани гребня и диаметра круга катания), определяют также расстояние между внутренними поверхностями колёс и электрическое сопротивление между дисками колёс одной колёсной пары. Результаты наглядно отображаются в виде протокола с выделением тех значений, которые близки к предельным эксплуатационным параметрам.

С помощью датчиков подсистемы, диагностирующей ходовую часть, определяется состояние последней в каждом поезде. На основании полученных данных определяют срок выполнения ремонтных работ, которые должны проводиться на ходовой части в депо.

Несмотря на все мероприятия профилактического обслуживания, отказы узлов происходят спонтанно. Как правило, их обнаруживают техники поездной бригады и, если это возможно, сразу же устраняют. Если же быстро устранить отказ невозможно, в зависимости от его тяжести выбирают оптимальный вариант: выслать специалистов и запасные части для устранения отказа на ближайшей промежуточной или конечной станциях или отложить устранение до ближайшего планового захода поезда на ремонтный завод. Если повторяющиеся отказы на серийном подвижном составе происходят слишком часто, компания Talgo принимает решение о конструктивных изменениях в поездах данной серии.

В каждом поезде Talgo квалифицированный техник поездной бригады несёт ответственность за техническое состояние поезда. Он подчиняется не компании-перевозчику, а ремонтному подразделению компании Talgo и поэтому всё внимание уделяет техническому состоянию поезда, находящегося на линии.

Задача техника заключается в постоянном контроле всех узлов и систем поезда в эксплуатации. Кроме того, он регистрирует недостатки в работе, которые можно распознать только во время движения поезда и которые не удаётся обнаружить в депо, например, необычные шумы. Техник проводит проверки, согласно программе технического обслуживания непосредственно во время движения поезда. Благодаря этому к моменту следующего планового ремонта обычно уже известен объём работ, который необходимо выполнить.

Если во время поездки случаются неполадки, техник выполняет соответствующие корректирующие работы прямо на месте. Для

этого в поезде имеются запасные части и соответствующий инструмент. Практика показывает, что около 75 % спонтанно возникающих повреждений устраняется техником в течение 10 мин после их возникновения.

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 [232].

Всё это значительно повлияло на ремонтную инфраструктуру мастерских и депо. Прежде всего, в значительной степени изменились численность и квалификация обслуживающего персонала.

Значительной трансформации подвергается и техническая составляющая ремонтной инфраструктуры. Так персональный компьютер и ноутбук стали необходимыми атрибутами ремонтных мастерских и депо.

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.

Длительность ремонтных работ в значительной степени определяют процессы демонтажа, монтажа и испытаний. И здесь открываются новые возможности. Так ранее неисправные устройства восстанавливали в основном в собственных депо и мастерских DBAG. В настоящее время ремонт различного оборудования, особенно электронных систем, перемещается на предприятия

промышленности. В то же время узлы, подверженные механическому износу, восстанавливают в депо и мастерских.

В связи с этим важна правильная организация рабочего процесса, позволяющая заменять оборудование с наименьшими затратами труда, в максимально облегченных условиях и с учётом его расположения на подвижном составе. Например, для поездов ICE построены новые депо, где работы организованы в четырех уровнях: на ходовой части, в зоне выдвигных блоков подкузовного оборудования, в кузове и на крыше. В обычных депо старого типа, где формирование рабочего процесса, как и в новых, определяется его экономичностью, зависящей в значительной степени от возможной загрузки ремонтной инфраструктуры и времени простоев подвижного состава, организация работы в четырех уровнях требует значительных инвестиций.

Важную роль в техническом обслуживании играют системы бортовой диагностики, контролирующие все важные параметры тягового привода. Неисправности, выявленные на подвижном составе и внесённые в компьютерную базу данных, можно анализировать в мастерских с дисплея диагностического компьютера, имеющего соответствующее программное обеспечение.

Изготовитель должен поставлять эти программы в мастерские вместе с документацией на новый подвижной состав и осуществлять его постоянную актуализацию. Повышение квалификации персонала депо и постоянное обновление программного обеспечения по испытаниям и диагностике создают существенные предпосылки для того, чтобы устранение дефектов, допущенных изготовителем, осуществлялось ремонтным персоналом, особенно во время действия гарантии.

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.

Имеющиеся тенденции перехода от технического обслуживания и ремонта подвижного состава собственными силами к поручению этих работ специализированным компаниям можно проиллюстрировать на примере железных дорог Германии (DBAG), Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB), Американской ассоциации железных дорог (AAR).

Bombardier Transportation ответственна за техническое обслуживание и ремонт вагонов пригородных поездов MBTA, половина из которых выпущена этой же компанией. Переданные компании MBSR 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. MBSR периодически опрашивает пассажиров с целью выяснения их отношения к тем или иным техническим и организационным новшествам, что позволяет лучше удовлетворять потребности большинства пользователей системы.

Другие компании-изготовители, многие из которых ещё не участвуют в данном бизнесе, постоянно и внимательно отслеживают состояние рынка услуг по фирменному техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава, стремясь определить потенциальные выгоды от выхода на него. По общему мнению, решающими факторами для принятия решения по созданию соответствующей производственной базы являются такие параметры, как стоимость работ, численность парка, частота и соотношение заходов подвижного состава на техническое обслуживание и ремонт разных видов сложности.

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. Если такое решение принято, оно реализуется через созданное компанией специализированное отделение, в котором рассматриваются все варианты как организации работ (собственным персоналом или персоналом оператора, специально обученным в так называемом фирменном центре компетенции), так и создания производственной базы (в зависимости от предполагаемого объема работ, что в свою очередь зависит от численности парка и срока окупаемости связанных с этим капитальных вложений). При этом компания гарантирует высокое качество работ, базируясь на накопленном опыте и квалификации работающих, особенно если речь идет о подвижном составе постройки Siemens TS.

Открытие в конце 2006 г. депо для дизель-поездов серии 185 в Йорке ознаменовало завершение программы компании Siemens Transportation Systems по созданию в Великобритании сети предприятий по фирменному техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава (общая стоимость программы около 110 млн ф. ст.) [70].

Пять депо: в западной части Лондона (Актон) и в городах Манчестер (Ардуик), Нортгемптон (Кингс-Хит), Саутгемптон (Нортем) и Йорк – обеспечивают фирменный сервис большинства моторвагонных поездов, поставленных Siemens на железные дороги Великобритании, начиная с 1996 г.

Решение о строительстве предприятий по техническому обслуживанию и ремонту поставленных за указанный период моторвагонных поездов было принято компанией Siemens Transportation Systems (Siemens TS) в целях обеспечения их максимальной надёжности и эксплуатационной готовности за счёт фирменного сервиса в депо, спроектированных и оснащённых с учётом конструктивных особенностей подвижного состава и условий его эксплуатации.

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 удовлетвори-

тельными экономическими показателями. Использование оборудования, предназначенного для работы с подвижным составом, его узлами и деталями определенных конструкций, значительно повышает эффективность сервиса. При этом необходимо отметить, что выполнение работ с подвижным составом, поставленным в сравнительно небольшом числе единиц, как, например, 21 вагон электропоездов серии 360 (вся партия эксплуатируется компанией-оператором First Great Eastern, FGE), возможно и в существующих депо. Указанные электропоезда достаточно эффективно обслуживаются в депо Илфорд специально отобранным персоналом и имеют весьма высокие показатели надежности. Однако в тех случаях, когда парк нового подвижного состава той или иной серии достигает большой численности, более эффективным является осуществление сервиса в новых специализированных депо, укомплектованных соответствующим персоналом. На конец 2006 г. служба фирменного сервиса Siemens TS в Великобритании насчитывала 600 работников в девяти депо.

Компьютерное моделирование используется для планирования и отслеживания всей процедуры временного изъятия подвижного состава из эксплуатации для технического обслуживания или ремонта, начиная от момента отправления в депо и заканчивая моментом прибытия на станцию, где подвижной состав вновь возвращается в эксплуатацию. При этом учитывается время в пути, необходимость выполнения обмывки, очистки и экипировки, объём предстоящих работ в производственных цехах, продолжительность отстоя на тракционных путях депо в ожидании отправления. Такой подход позволяет Siemens TS обеспечивать эффективный фирменный сервис с работой предприятий в течение 365 дней в году и высокий коэффициент полезного использования подвижного состава.

Компания Alstom выполняет фирменное техническое обслуживание поездов Pendolino в нескольких депо сети West Coast Traincare, расположенных в Уэмбли, Оксли, Манчестере,

Эдж-Хилле и Полмади, с применением совершенно новых технологических решений, отличных от тех, которые использовались в 1970-е годы на Британских железных дорогах [282]. 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.

Все депо сети Traincare работают круглосуточно, процедуры обмена информацией с ними просты, и коррективы в планы работ легко внести даже в последнюю минуту. Каждое утро составляется базовый план на обслуживание поездов, в период между 15 и 16 ч определяется приблизительный перечень поездов, направляемых в каждое депо, в 20 ч согласовывается окончательный вариант плана работ на ночное время, т. е. изменения в план вносятся по мере необходимости без необходимости его переработки в целом. План работ включает такие обязательные операции, как опорожнение накопительных контейнеров туалетов замкнутого типа, уборка вагонов, проверка бортовых систем, а также такие неплановые операции, как

ремонт систем кондиционирования воздуха или устройств привода наклона кузовов вагонов.

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. Безусловно, серьёзные отказы системы сигнализации могут привести к тому, что до 60 % поездов окажутся в конце дня не там, где их ждут. Три недели аномально жаркой погоды в июне 2006 г. оказали на работу депо значительное влияние, поскольку все ограничения скорости и опоздания, обусловленные состоянием инфраструктуры, имели в основном место во второй половине дня, между 15 и 16 ч. На восстановление нормального хода технологических процессов потребовалось ещё три недели.

Для обеспечения специалистам депо сети Trainsafe возможности в течение дня контролировать состояние всего парка бортовые устройства поездных систем управления (TMS) регулярно передают на сервер компании Alstom данные для анализа и обработки. Данные о серьёзных отказах выводятся на мониторы технических экспертов, которые могут более детально изучить проблему и выдать рекомендации соответствующим специалистам по выполнению необходимых работ.

Alstom активно использует сеть Интернет, что даёт персоналу возможность с точностью до минуты отслеживать процессы. Для этой цели весь парк подвижного состава представлен на одной веб-странице, где любые возникающие проблемы идентифицируются оранжевым цветом. Штат специалистов может затем выявить местонахождение любого поезда с техническими проблемами и определить ресурсы времени на их устранение. Иногда при определенных неисправностях оказывается более рациональным оставить

поезд на линии (по согласованию с ответственными лицами компании-оператора Virgin) и выбрать наилучшее место последующего ремонта. Во многих случаях мелкий ремонт может проводиться в пунктах технического осмотра сети Traincare, расположенных в Юстоне, Манчестере, Ливерпуле и Глазго.

Технологический процесс в целом направлен на то, чтобы минимизировать влияние на эксплуатацию любых отказов и предотвращать появление повторных неисправностей. Наблюдение специалистами за техническим состоянием всего парка поездов и выявление точечных отказов с оценкой тенденций развития проблем существенно отличают новый подход от традиционного.

Улучшение организации и технологии технического обслуживания поездов Pendolino обеспечивает стабильное улучшение основной характеристики – надежности. Вместе с тем, помимо обычно применяемого показателя надёжности парка подвижного состава (величины пробега поезда на отказ – MPC), учитываются и другие характеристики.

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 моторовозов, 4900 пассажирских вагонов и 53000 грузовых и служебных вагонов. В 39 ремонтных депо и 70 пунктах технического обслуживания были заняты 24000 человек [225].

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.

Годовой бюджет SNCF на техническое обслуживание подвижного состава с несложным ремонтом составляет 1,2 млрд евро. При этом должны соблюдаться четыре основных принципа:

- безопасность подвижного состава в эксплуатации;
- надёжность подвижного состава;
- эксплуатационная готовность;
- гарантированное выделение средств на техническое обслуживание парка подвижного состава в течение всего срока эксплуатации.

В соответствии с регламентом SNCF имеется пять ступеней технического обслуживания подвижного состава. Техническое обслуживание 1 степени проводится машинистом локомотива и включает в себя, например, проверку устройств безопасности. При техническом обслуживании 2 степени подвижной состав не изымают из оборота, а только лишь проверяют, проводят мойку и очистку на станционном или запасном пути. При техническом обслуживании 3 степени подвижной состав отправляют в ремонтные мастерские или депо, где, например, меняют тормозные накладки. При техническом обслуживании 4 степени речь идет об общей ревизии с обновлением интерьера. При техническом обслуживании 5 степени 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. За счёт повышения эксплуатационной готовности имеющихся поездов можно сэкономить на дополнительных закупках подвижного состава.

Оборудование поездов системой дистанционной диагностики даёт возможность планировать работы по техническому обслуживанию подвижного состава. Это мероприятие позволило добиться наивысшей эксплуатационной готовности TGVDuplex.

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.

Данные показатели достигнуты за счёт того, что определенные компоненты были передвинуты на более низкий уровень технического обслуживания с целью предупреждения преждевременных выходов из строя.

Для повышения эксплуатационной готовности техническое обслуживание подвижного состава не должно производиться в часы пик. В региональном и пригородном сообщении они выпадают на утреннее и вечернее время. В промежутках потребность в подвижном составе снижается примерно на 60%. Если сместить все небольшие работы по текущему содержанию в промежутки между часами наименьшей интенсивности движения, можно заметно снизить численность подвижного состава, выведенного из обращения для технического обслуживания.

В настоящее время из 14 единиц подвижного состава SNCF десять постоянно находятся в эксплуатации. Поставлена задача, чтобы из 14 единиц постоянно находились в эксплуатации 12 единиц подвижного состава. Для этого требуется изменение графика работы центром по техническому обслуживанию.

В настоящее время многие регионы имеют в эксплуатации дизельный и электрический подвижной состав. Весь этот подвижной состав обслуживается централизованно в одном месте. В связи

с этим ремонтные мастерские обоих регионов должны быть оснащены запасными частями, как для дизельного, так и электрического подвижного состава. Было бы гораздо целесообразнее организовать процесс технического обслуживания таким образом, чтобы подвижной состав обоих регионов мог заходить на техническое обслуживание в любой центр, причем одни должны специализироваться на дизельном, а другие на электрическом подвижном составе. За счёт этого упрощается логистика и уменьшаются склады запасных частей.

Мелкие работы по техническому обслуживанию могут без проблем проводиться в обоих центрах технического обслуживания. Такая организация технического обслуживания сокращает также холостые пробеги, которые в настоящее время наблюдаются достаточно часто.

Другой возможностью снижения расходов на текущее содержание является повышение эффективности работы персонала. В связи с этим необходимо повышать качество организации труда. В отличие от государственных железных дорог других европейских стран, таких как Германия, Нидерланды или Швейцария, SNCF не имеет программы информационной поддержки технического обслуживания подвижного состава.

В течение ближайших лет планируется ввод в эксплуатацию системы GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur – компьютерное управление текущим содержанием). Если сравнить компании DBRegion и TERSNCF, то можно видеть, что резерв для проведения технического обслуживания подвижного состава в Германии составляет 8%, а во Франции 20% всего наличного парка. Если взять результаты SNCF за год, то неготовность парка подвижного состава к эксплуатации колеблется между 5 и 8 % общей его численности.

Опыт недавнего прошлого показывает, что депо, рассчитанные на обслуживание в течение длительного времени больших парков

однотипного подвижного состава, не рентабельны. Часто в условиях объявляемых тендеров на перевозки указывается конкретный вид подвижного состава, который следует использовать, чтобы обеспечить планируемые объёмы перевозок. В этом случае операторам приходится вынужденно ориентироваться на подвижной состав заявленного типа. 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 [271].

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 [260].

С учётом конкуренции отделение пассажирских перевозок SBB выбрало систему Kaizen, которую компания Toyota (Япония) применяет и совершенствует в течение уже более 30 лет (буквально слово «kaizen» в переводе с японского языка 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 внедре-

ния 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., совместно с собственником принимается решение о дальнейшем использовании вагона [83].

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 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.

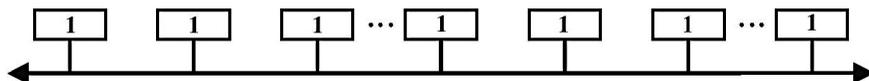
Стационарно-бригадный метод основан на принципе концентрации операций процесса, выполняемых на одном месте. При этом методе весь цикл работ по ремонту вагонов и его частей выполняется последовательно на одной позиции одной бригадой универсальных исполнителей. Все узлы и детали, снятые с вагона, после 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 отремонтиро-

ваться 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.



**Рис. 1.3.** Структурная схема размещения стоек при стационарном методе ремонта вагонов

При существующих вариантах организации вагонсборочных 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 общем случае под потоком подразумевается перемещение или передача между элементами системы любого вида ресурса [87]. В нашем случае этим ресурсом являются ремонтируемые вагоны.

Согласно [60], под поточным методом ремонта понимается «метод ремонта, выполняемого на специализированных рабочих

местах с определёнными технологической последовательностью и ритмом».

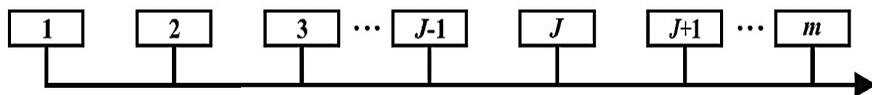
В отличие от стационарной формы производства, поточная форма имеет целый ряд неоспоримых преимуществ. Особенно это видно при массовом производстве новых изделий.

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 ремонтного производства обязательно должна учитываться. Слепой перенос поточных методов из машиностроения и приборостроения в ремонтные отрасли совершенно не приемлем.

В настоящее время возможно несколько разновидностей поточного метода ремонта вагонов.

На рис. 1.4 представлена структурная схема поточной линии с жёсткими связями между позициями.



**Рис. 1.4.** Структурная схема поточной линии с жёсткими связями между позициями

Главным недостатком «жёсткого» 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 жёсткой 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 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.

Кроме того, что все вагоноремонтные поточные линии первоначально имели одну и ту же жёсткую структуру (другие варианты депо просто не строились), которая, как мы уже подчёркивали, является далеко не лучшим вариантом при организации ремонтного производства, они вдобавок ещё различались количеством позиций, количеством мест на одной позиции, количеством ремонтных ниток и т. п. Таким образом, были существенные различия, как и в самих параметрах потоков, так и в основных технико-экономических показателях работы поточных линий. Всё это усложняло внедрение типовых технологических процессов и типового оборудования.

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 инженерного решения.

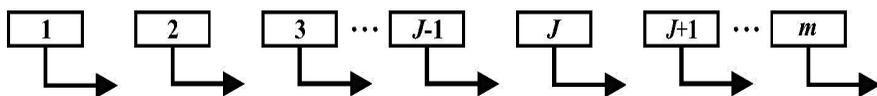
При создании поточно-конвейерных линий с жёсткими связями между позициями не была достаточно хорошо изучена природа вагоноремонтного производства, и совершенно не было взято во внимание то обстоятельство, что трудоёмкости ремонтных работ на вагонах могут сильно варьировать даже при выполнении одних и 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» [178, 183]. 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.



**Рис. 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 осуще-

ствить многовариантный сценарий перемещения каждого вагона. Продолжительность нахождения каждого вагона в ремонте продолжает находиться в зависимости от простоя остальных вагонов.

Считалось, что железнодорожная колея, т.е. та основа, которая служит для движения вагонов, должна непременно фигурировать и при их ремонте. Поэтому при переходе на поток в качестве одного из основных атрибутов потока, по которому движутся вагоны, были выбраны обычные железнодорожные пути, которые укладывались вдоль ремонтных пролётов. На этих путях последовательно располагались ремонтные позиции. Таким образом были сформированы потоки, состоящие из последовательно соединённых жёстких элементов. Надёжность таких систем довольно низкая. С выходом из строя одного элемента (нарушение регламентированного такта или отказ технологического оборудования) нарушается работа всей поточной линии. Поэтому такой вариант организации поточного производства не способствует эффективному использованию оборудования и исполнителей. Вместе с тем, все вагоноремонтные предприятия, построенные в бытность Советского Союза, были сориентированы именно на такой жёсткий поток. А для этого потока, как мы уже отмечали, необходима строгая синхронизация времени выполнения операций на позициях.

Различное время выполнения операций связано как с существенными внешними отличиями объектов ремонта (различные условия эксплуатации, разный «возраст» вагонов, конструктивные особенности и т. п., что, естественно, сказывается на трудоёмкости ремонта), так и с внутренними отличиями самих исполнителей (накопленный опыт, профессионализм, внимательность, утомляемость, душевное состояние, самочувствие и т. п.).

Поточное вагоноремонтное производство необходимо рассматривать как производство, связанное со случайными величинами в их постоянном взаимодействии. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке новых форм поточного производства.

Если условия поточного ремонтного производства продуманы не до конца, не учтены многие случайные факторы, то такое производство не может быть эффективным.

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».

Вместе с тем, 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.

## **§ 1.4. Поточный метод как высшая стадия развития производства**

### **§ 1.4.1. Предпосылки появления поточного метода организации производства**

Наибольшее количество великих изобретений, созданных человеком, 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. Как оказалось, 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» [67].

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), может 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 [269].

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.

В поточном производстве нашли своё воплощение такие важные принципы организации труда как пропорциональность, прямоточность, параллельность, ритмичность и непрерывность. Максимально используется комплексная механизация и автоматизация технологических процессов.

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

Таким образом, поточные методы ещё окончательно не изучены, но с уверенностью можно сказать, что в них заложены огромные потенциальные возможности.

#### **§ 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 [87].

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 производственного 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 производственных 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.

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 за-

делов. Планировка поточных линий должна обеспечивать прямо-точность 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 технико-экономическим показателям, как доля площади, занятой непосредственно технологическим оборудованием, выпуск продукции, приходящийся на 1 м<sup>2</sup> производственной площади (1 производственный модуль), длина пути, проходимого за смену рабочим при обслуживании им нескольких единиц оборудования, и др.

Важным организующим структурным элементом поточного производства является транспорт. Учитывая многообразие различных факторов, в поточном производстве применяют средства периодического транспорта (краны, электрокары, тельферы и др.), бесприводные средства непрерывного транспорта (рольганги, скакты), приводные средства непрерывного транспорта (ленточные, пластинчатые, цепные и другие транспортеры), роботизированные транспортные средства (промышленные роботы, различные транспортно-накопительные автоматизированные системы).

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 величина такта называется ритмом. Под *ритмом* понимается количество изделий, сходящих с конвейера в единицу времени.

По способу поддержания ритма различают 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 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.

Технологические процессы вагоноремонтного производства характеризуются большим разнообразием, что вызывает определённые трудности в комплексной механизации и автоматизации.

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.

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 позволит уменьшить производственный объём здания, а также сократить затраты на оборудование, так как один сложный агрегат зачастую стоит меньше, 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 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.

Выбор предприятием на некоторый период времени стратегии процесса производства одного или нескольких изделий (составных частей изделий) дает ему возможность строить процессы в полной мере отвечающие принципам рациональной организации производства. Речь идёт об обеспечении непрерывного, прямоточного, ритмичного прохождения материальных потоков. Такое производство традиционно называют поточным производством.

Если быть ещё более точными, то под поточным производством подразумевается *форма организации производства, основанная на ритмичной повторяемости согласованных во времени технологических операций, выполняемых на специализирован-*

*ных 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.

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.

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 объёмов зданий, сокращения протяжённости 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 определённые интервалы времени. Ритм является основополагающим параметром при расчёте 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 **поточным производством** называется прогрессивная форма организации производства, основанная на ритмичной повторяемости согласованных во времени основных и вспомогательных операций, выполняемых на специализированных рабочих местах, расположенных в последовательности технологического процесса.

В общем случае для поточного производства характерны в первую очередь следующие принципы организации производственного

процесса: *специализации, прямоточности, 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 и массового 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 (жёсткую)** 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 непре-

рывной (без простоев) работе рабочих и оборудования. Подобные линии называются **непрерывно-поточными**.

В тех случаях, когда равенство производительности на всех операциях отсутствует, полная непрерывность не достигается, то такие линии являются **прерывно-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.

Для сборочного производства количество позиций на потоке зависит от производственной программы и продолжительности технологического цикла.

Отдельно стоит остановиться на таком понятии, как трудоёмкость. Существует три вида различных трудоёмкостей: **фактическая, технологическая и проектная**. **Фактическая** трудоёмкость – эта та трудоёмкость, которая имеет место на существующих предприятиях. Фактические трудоёмкости на различных предприятиях могут отличаться друг от друга. Это зависит от принятой технологии, состава технологического оборудования, уровня механизации и автоматизации производства, мастерства исполнителей.

**Технологической трудоёмкостью** является самая низкая из фактических трудоёмкостей действующих предприятий (при соблюдении одного и того же качества продукции). Так, например, если на одном вагоноремонтном предприятии трудоёмкость ремонта вагонов составляет 60,7 чел.-ч, на другом – 54,3 чел.-ч, а на

третьем – 68,5 чел.-ч, то технологической трудоёмкостью будет 54,3,  $Q_T=54,3$  чел.-ч.

Под **проектной трудоёмкостью** понимается трудоёмкость, закладываемая в проект нового предприятия. Естественно, что проектная трудоёмкость должна быть ещё ниже, чем трудоёмкость технологическая предприятия-аналога ( $Q_P < Q_T$ ), которая может быть взята в качестве базовой при сравнении показателей.

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 удлинится 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: вагонопровальные, 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 техно-

логический процесс дифференцируется на группы операций, имеющих привязку к специальному технологическому оборудованию.

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. Но и строительные технологии тоже не стояли на месте, а развивались. И сейчас корпуса депо могут быть быстро сооружены из лёгких металлических конструкций. К тому следует учесть, что если в бытность Советского Союза на долю стоимости технологического оборудования приходилось 30–40 % от стоимости всех строительно-монтажных работ, то сейчас стоимость технологического оборудования может в несколько раз превышать стоимость строительной части предприятия.

При *поточном методе* построения цехов происходит разделение участков на поточные линии. Поточные линии организуют или в виде отдельных поточных участков, специализированных на обработке одного или нескольких изделий, или в виде одной сквозной поточной линии. Поточные методы работы свойственны массовому производству.

Начальным звеном производственной структуры служит рабочее место. Расположение рабочих мест зависит от типа производства. Например, на поточных линиях они расположены по ходу технологического процесса и по времени связаны единым тактом потока. Где нет поточного метода организации производства, рабочие места размещают преимущественно по группам однотипного оборудования.

*Компоновка линии* – это, прежде всего, корректировка технологии, модернизация оборудования, создание средств управления технологическими процессами, связующими их в один большой

процесс (технологическую систему), а не простое соединение машин и аппаратов в цепочку с помощью конвейеров разных типов.

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.

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 про-

дукции. Таким образом, себестоимость продукции в поточном производстве снижается по главнейшим ее составляющим.

Технологические процессы вагоноремонтного производства характеризуются большим разнообразием, что вызывает определённые трудности в комплексной механизации и автоматизации такого производства.

Прежде чем подбирать и проектировать оборудование поточных линий, необходимо определить не только типоразмеры предполагаемой к выпуску продукции, но и уровень специализации или универсальности линий, от которого в значительной мере будут зависеть конструкции машин. На предприятиях небольшой мощности, по-видимому, целесообразно устанавливать универсальные переналаживаемые линии. Крупные предприятия, напротив, желательно оснащать специализированными линиями, на каждой из которых можно будет выпускать изделия определенных типоразмеров. Необходимо принять во внимание, что стоимость переналаживаемой линии значительно выше, чем специализированной.

Для синхронизации работы машин поточной линии длительность отдельных технологических операций должна быть одинаковая или кратная, а производительность машин должна быть выровнена.

Если машины, входящие в линию, имеют примерно одинаковую производительность, то можно применять сквозную однопоточную компоновку с транспортными устройствами, передающими полуфабрикат от одной машины к другой. Если же машины по производительности существенно отличаются друг от друга, то следует применять многопоточные линии с параллельной работой однотипных малопроизводительных машин в сходящихся или расходящихся потоках. Для этого необходимо применять специальные перегружающие и распределительные устройства и осуществлять специальную компоновку оборудования. В данном случае вследст-

вие 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, линия с различной в отдельных ее участках продолжительностью рабочего цикла по существу представляет собой несколько последовательных поточных линий, связанных друг с другом лишь общим для этих линий автоматическим управлением.

Помимо технологических факторов на компоновку линии часто влияет конфигурация цеха или здания, в которой предполагается размещение линий. Возможные повороты потока также вызывают необходимость введения дополнительных перегружающих устройств и деления линии на отдельные участки.

Возможны отдельные случаи, когда разделение поточных линий на участки целесообразно, хотя это и сопряжено с усложнением и не является конструктивной неизбежностью. Так, при жесткой связи между машинами простои одной из них вызовут остановку всей линии; чем больше машин входит в линию, тем больше потерь производительности будет из-за простоев. Поэтому при большом числе взаимосвязанных машин иногда целесообразно создавать линию с нежесткой связью между машинами, разделив ее на независимые участки, и предусмотреть работу этих участков или в виде единого автоматизированного потока, или независимо друг от друга. Поместив между участками бункерные устройства или накопители с запасом полуфабрикатов или изделий, можно частично компенсировать простои участков, так как при простое одного участка остальные могут работать некоторое время за счет изделий, имеющих в бункерах. Однако эффективность такого разделения линии на участки уменьшается вследствие усложнения и удорожания ее механизмов. Поэтому деление линий на большое количество участков не всегда целесообразно.

Эксплуатационная производительность поточной линии определяется эксплуатационной производительностью последнего участка или последней машины, которые помимо собственных простоев могут иметь простои, вызываемые простоями предыдущих участков линии.

### **§ 1.4.3. Обзор поточных методов производства в других отраслях промышленности**

Наибольшего распространения поточные методы производства вначале 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 [7, 13, 16, 51, 80, 111, 191, 228, 239, 276].

Впервые огромное значение правильной организации труда при массовом производстве автомобилей продемонстрировал на своих заводах выдающийся американский предприниматель и инженер Генри Форд [302, 303]. Сила Форда заключалась в правильной 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 минут. После введения конвейера время, затрачиваемое на сборку одного магнето, сократилось до 13 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 минут. Новые усовершенствования довели его до 5 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.

Вскоре конвейер был применен и при сборке шасси. По старому способу сборка одного шасси требовала 12 часов 8 минут. Когда попробовали разбить её на несколько простых операций и устроили примитивный конвейер (с помощью каната и ворота шасси тянули вдоль линии расположения рабочих) сборка сократилась до 5 часов 50 минут. Форд продолжал совершенствовать конвейер. Приноравливаясь к среднему росту рабочих, он попробовал прокладывать

сборные пути на разной высоте. Его инженеры трудились над раздроблением всех сложных процессов на составные части. Каждый рабочий должен был делать все меньше и меньше разнообразных движений руками. В результате всех этих усовершенствований время сборки одного шасси сократилось до 1 часа 33 минут. При этом процесс разделения труда был отлажен буквально до мелочей: если один рабочий вгонял болт, то гайку ставил другой, а третий завинчивал её. Производительность труда выросла в 8 раз.

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 [112]. Вопросам исследования поточных линий при ремонте и техническом обслуживании автомобилей посвящены работы [12, 70, 123].

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 [101]. 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 главнейшим 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 разделения потока на отдельные участки, под-

боре 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 производство. 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, 14, 15, 18, 48, 56, 85, 90, 116, 117, 121, 127, 220, 242, 283, 315, 316].

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 поточного производства – жёсткий?

#### **§ 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 отличие от машиностроения и приборостроения, поточные методы в вагоноремонтном производстве имеют свои особенности. Поэтому простой перенос поточных форм организации производства из машиностроительных отраслей – в ремонтные, не даёт желаемых результатов.

Если на первых этапах внедрения поточных методов ремонта вагонов создавалась определённая ремонтная структура со своими

наперёд заданными параметрами, а под неё уже старались «подогнать» внешнюю среду (объекты ремонта), то сейчас, как показал опыт, надо делать всё наоборот – внешнюю среду оставить в том виде, в каком она есть, а под неё «подгонять» ремонтную структуру. Иными словами, не объекты ремонта должны подстраиваться под ремонтную структуру, а наоборот – ремонтная структура должна иметь возможность адаптироваться к каждому отдельному объекту ремонта.

Таким образом, 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  $j$ -ой позиции на любой освободившийся ремонтный модуль  $(j+1)$ -ой 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 страдают одним существенным недостатком: 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 вагоносборочного 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. Бороться 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 [219].

Согласно принципу разнообразия [312], противостоять разнообразию среды, которую ремонтируют, может только разнообразие среды, которая ремонтирует. Одним из таких решений для среды, которая ремонтирует, является асинхронный гибкий поток.

Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов (АГПРВ) представляет собой следующий более эффективный этап в совершенствовании и развитии поточного ремонтного производства, обладающего громадными потенциальными возможностями. При его создании требуется использование более точных методов проектирования и строительства. 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).

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.

В первую очередь необходимо решить вопрос независимой (индивидуальной) транспортировки каждого вагона между пози-

циями. 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)  $j$ -ой позиции может поступить на любой освободившийся модуль следующей  $(j+1)$ -ой 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.

При проектировании гибких вагоноремонтных потоков необходимо исходить из того, что не технологический процесс должен быть разбит на отдельные равные по времени группы операций, выполняемые на разных позициях, а отдельные позиции должны быть жёстко специализированы на выполнении определённых технологических комплексов работ. Все возможные работы должны быть закреплены за конкретными позициями. Ни одна из технологических операций не должна быть упущена. Ремонтируемые вагоны должны находиться на каждой позиции ровно такой период времени, который необходим для их ремонта. Перестановка каждо-

го отдельного вагона должна осуществляться индивидуально и не зависеть от других вагонов.

Все преимущества асинхронных гибких потоков и методы их расчёта и проектирования представлены в работах [74–76, 134–135, 137–140, 142–145, 161, 162, 182, 183–185, 318]. Для вагоноремонтного производства такие потоки являются наиболее приемлемыми.

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 путь движения ремонтируемого вагона заранее предопределён и однозначен (вагоны перемещаются по одному и тому же пути, через одни и те же ремонтные позиции), а с другой стороны жесткость потока свидетельствует о том, что должен соблюдаться регламентированный такт (см. рис. 1.2). Менее чувствителен к сбою такта полужесткий поток, хотя путь движения вагона для него также предопределён (см. рис.1.3). А ещё менее чувствителен – гибкий поток (см. рис. 1.4).

Только с точки зрения теории случайных процессов, с учётом знания того, что существуют значительные колебания трудоёмкостей ремонтных работ, необходимо браться за организацию эффективного поточного вагоноремонтного производства.

Впервые вопрос о возможностях реального использования гибких поточных линий для ремонта вагонов был поднят в теоретиче-

ских работах днепропетровских учёных [74-76]. 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 [11, 20, 23, 53, 55, 102, 204, 248, 250, 298]. В этом списке особо следует выделить фундаментальную работу [298], 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.

Среди теоретических работ автора, касающихся гибкого вагоноремонтного производства, можно выделить следующие работы [137, 155, 156, 183].

Кроме того, гибкие поточные линии уже нашли своё практическое применение и при проектировании новых вагоноремонтных предприятий. Так, например, проектно-изыскательским институтом «Днепрожелдорпроект» (г. Днепропетровск) при непосредственном участии автора гибкие поточные линии для ремонта вагонов впервые были использованы при разработке ТЭО строительства завода по ремонту рефрижераторного подвижного состава на ст. Комрат Молдавской ж. д. (проект № 6800) [281], а также в основных технологических решениях строительства вагонного депо по ремонту апатитовозов и вагонов для перевозки минеральных удобрений на ст. Апатиты-1 Октябрьской ж. д. (проект № 7713) [209].

Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна гибкие потоки ремонта вагонов нашли своё применение в следующих предпроектных проработках:

– многофункциональный производственный комплекс (МПК) по ремонту и изготовлению подвижного состава железных дорог Азербайджана на базе вагонного депо Гянджа (ВЧД № 6, код 0503);

– современное депо для ремонта грузовых вагонов по гибкой технологии в свободной экономической зоне (СЭЗ) «АСТАНА»;

– расширение вагонного депо ст. Нижнеднепровск-Узел Приднепровской ж. д. с переводом его на гибкий поток ремонта вагонов.

Кроме того, в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна гибкие потоки успешно внедрены в учебный процесс и используются студентами в курсовом и дипломном проектировании при разработке перспективных вагонных депо. Таким образом, можно говорить о «днепропетровском» направлении в организации ремонта вагонов на потоке, сориентированном на использование прогрессивных асинхронных гибких систем. Работа в этом направлении в настоящее время продолжает усиленно набирать обороты.

Применение гибких поточных линий ремонта вагонов является одним из наиболее важных путей повышения эффективности вагоноремонтного производства.

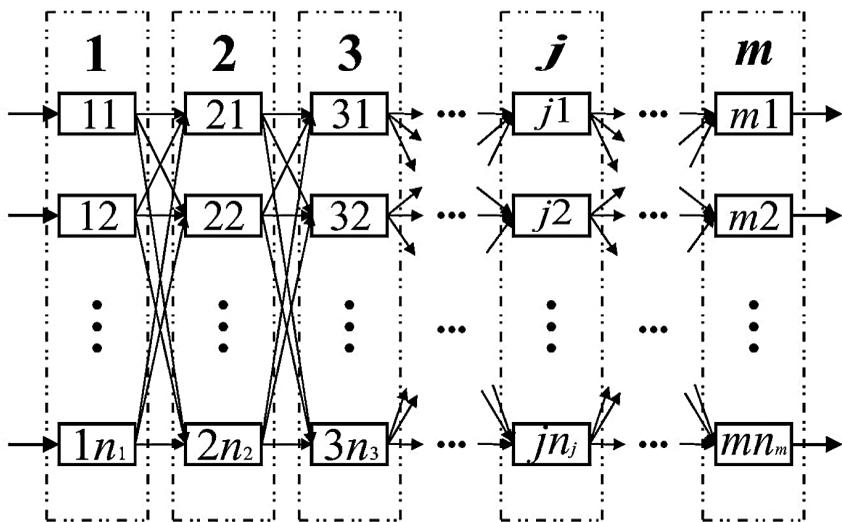


Рис. 1.6. Структурная схема асинхронного гибкого потока ремонта вагонов

Последнее 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 занимаются вопросами возможности внедрения поточных линий с гибким маневрированием в зданиях существующих вагонных депо [2, 23, 53–55, 102, 204].

Не обошли эту тему и белорусские учёные [11, 246–251].

На необходимость внедрения гибких форм организации ремонта вагонов обратили внимание специалисты и промышленного транспорта. Так, например, в работе [64] 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 цистерн, 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.

Надо подчеркнуть, что жёсткие варианты планировок корпусов вагоноремонтных предприятий, которые были массово построены в своё время, при новом строительстве уже рассматриваться не будут. Им на смену придут корпуса предприятий, предусматривающие асинхронные гибкие потоки. Такие предприятия за счёт использования гибких потоков смогут одновременно ремонтировать несколько типов вагонов и осуществлять несколько видов ремонта (деповской, капитальный). Кроме того, отпадёт потребность в

предварительных ремонтных работах на уравнильных стойлах – для таких потоков нет необходимости содержать специально большой запас вагонов с целью отбора из него «подходящих» вагонов для постановки на поток.

Для гибких потоков возможно постоянное обновление технологического оборудования на отдельных модулях, что совершенно не будет затрагивать перестройку всего потока.

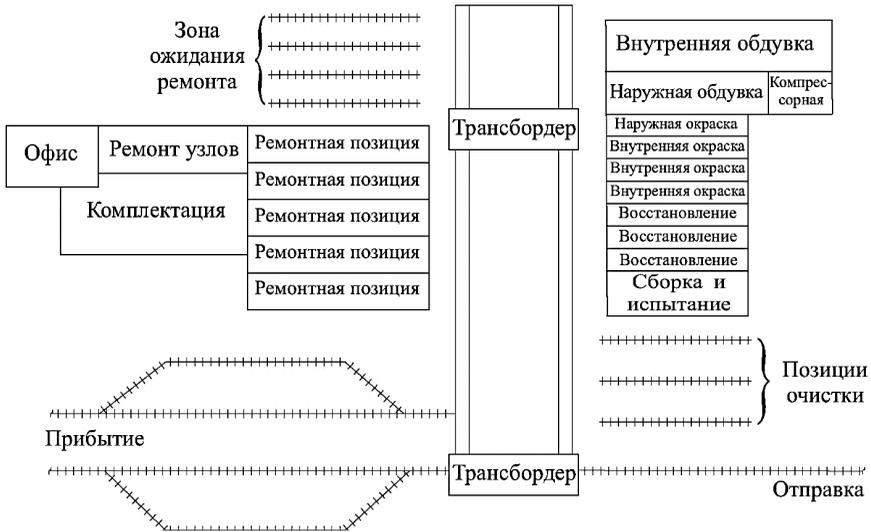
Кроме того, в гибкой комплексно-механизированной системе исключена возможность «возврата» к стационарным методам ремонта, как это происходит в настоящее время.

Надо отметить, что примерно по такому же направлению пошли и американские специалисты. Так, например, специалистами компании «Дженерал Электрик» предложен гибкий поток ремонта цистерн. В работе [320] 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 с «жесткого» потока – на «гибкий».

Идея технологической гибкости потока была воспринята и поддержана также и специалистами по ремонту и техническому обслуживанию локомотивов [267].

Конечно же, обязательным требованием поточного производства является постоянное наличие объектов ремонта. В случае несвоевременного поступления очередного вагона в ремонт из-за задержек происходит «сворачивание» потока. Хотя отсутствие объек-

тов ремонта в равной мере отражается на загрузке любых предприятий, использующих как поточный метод ремонта, так и стационарный.



**Рис. 1.7.** Схематичная компоновка предприятия, использующего гибкий поток ремонта цистерн

Однако надо подчеркнуть, что для предприятий, использующих гибкий поток, вопрос обеспечения объектами ремонта будет стоять не так остро, как для предприятий, использующих обычные поточно-конвейерные линии. Если последние являются в основном однопредметными, т. е. ремонтируют только один тип вагонов, то первые являются многопредметными, т. е. имеют больше возможностей в отборе объектов ремонта, так как могут ремонтировать несколько типов вагонов и выполнять даже несколько видов ремонта.

Таким образом, на основании проведенного анализа, можно сделать вывод, что при новом проектировании и строительстве ва-

гонных депо в качестве эталонных необходимо использовать только гибкие потоки. В наиболее передовых существующих депо для того, чтобы как-то ослабить жёсткую взаимозависимость при перемещении вагонов, обязательно должны быть внедрены элементы гибкого потока. С целью снижения капиталовложений при реконструкции и расширении отдельных существующих депо, там, где это возможно, целесообразно строить из лёгких металлических конструкций корпуса для вагоноремонтных участков, использующих гибкие технологии, задействуя при этом уже имеющиеся участки для ремонта узлов и деталей. Остальные же вагонсборочные участки депо необходимо перевести на ремонт длинномерных вагонов или использовать для подготовки вагонов к перевозкам, или создать на их базе механизированные пункты обслуживания вагонов (МПОВ). Не исключена возможность передачи таких депо на баланс Главного управления путевого хозяйства для технического обслуживания и ремонта путевых машин. В настоящее время это управление страдает из-за отсутствия нормальной ремонтной базы. Учитывая широкую номенклатуру и единичный характер путевой техники, для неё вполне может быть использован стационарный метод ремонта.

### § 1.5. Уточнение терминов вагоноремонтного производства

Основными предприятиями вагонного хозяйства, которые осуществляют плановый ремонт вагонов, в настоящее время являются «вагонные депо». Когда речь идёт о пассажирских или рефрижераторных вагонах, то здесь всё верно. Но когда речь заходит о грузовых вагонах, то возникает вопрос о правильности применения данного термина.

Согласно словарю [66] термин «депо» произошёл от французского слова *depot*, что значит «хранение». Таким образом, «депо» это «место для собрания, складки и хранения каких-либо предметов

с особою, определенною целью: склад, скоп, запас, хранилище, сохраница, бережница». Отсюда произошел и всем известный банковский термин «депозит», когда деньги вносятся в банк на хранение на некоторый срок под определённые проценты.

В нашей ситуации грузовые вагоны, ремонтируемые в «депо», никакого отношения к нему не имеют. Они не направляются в депо «ночевать», как это имеет место, например, в трамвайных или троллейбусных депо, и даже не приписаны к нему и не хранятся в нём. Поэтому «грузовые вагонные депо» точнее называть «вагоноремонтными предприятиями». Чтобы существующее грузовое вагонное депо хоть как-нибудь оправдывало бы своё название, к нему, по крайней мере, хотя бы должны быть приписаны грузовые вагоны.

Следующий термин, который используется при обозначении основного ремонтного участка в депо, звучит так: «вагонсборочный» участок. Вынуждены с этим также не согласиться. Этот термин был перенят из машиностроения, где действительно из отдельных узлов производится сборка новых изделий. Но когда речь идёт о ремонтах изделий, то появляются не только сборочные, но также разборочные, ремонтные и другие операции, которые не совсем вписываются в указанное название. Скорее всего, этот участок, по нашему мнению, должен называться «вагоноремонтным», что подразумевает, в том числе и разборочные, и сборочные операции. Тем более что в первых работах по вагонному хозяйству он так и назывался [32, 33]. Поэтому в дальнейшем в данной работе мы этот участок будем называть «вагоноремонтным». Учитывая, что на нём производится самый большой объём работ и от него зависит общая пропускная способность всего предприятия, будем называть его «главным вагоноремонтным участком».

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ХАРАКТЕР ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

### § 2.1. Исследование трудоёмкостей различных видов работ при деповском ремонте вагонов

Как показала практика, трудоёмкости ремонта вагонов, даже одного и того же типа, очень сильно отличаются друг от друга [35, 88, 264]. 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 главе 1, низкопроизводительны и не эффективны. 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 имитацион-

ное моделирование с помощью компьютеров. Для возможности построения адекватных имитационных моделей в числе первоочередных 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 [35] были исследованы трудоёмкости деповского ремонта крытых вагонов. В работе [261] 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.

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. На проблему нормирования трудоёмкостей технологических процессов с вероятностными составляющими обращено внимание и в работе [231].

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 дефектов определялись группы однотипных технологических операций, устанавливалось количество таких операций в группе, по каждой операции определялись необходимые объёмы ремонта и рассчитывалась 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 норм времени на каждый дефект

вычислялся необходимый объём работ. Норматив времени по дефектам, например, для слесарных работ выбирался согласно типовым нормам времени [290]. 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.

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	64	56923592	11,71	1,835	24,366
2	53454484	8,608	8,416	9,254	65	53454765	10,475	9,730	36,720
3	56921695	8,173	1,415	14,992	66	56923899	10,438	5,461	26,108
4	56918097	8,784	0,458	9,901	67	53454690	11,406	2,258	23,989
5	56921497	9,773	1,550	13,830	68	56919996	10,419	2,474	24,663
6	56923295	10,972	0,683	6,072	69	53412953	12,427	4,605	18,806
7	53454575	5,563	2,765	12,030	70	53454492	11,260	3,103	27,433
8	53454872	11,312	8,360	15,804	71	56921398	10,324	2,481	20,773
9	53413803	8,249	6,103	16,726	72	56923097	10,173	3,463	27,269
10	56923394	7,167	2,592	12,621	73	53587317	9,944	1,321	7,849
11	53587408	5,602	5,461	8,645	74	53454898	11,665	3,104	24,070
12	53454625	6,241	6,244	25,135	75	53421805	11,451	5,743	10,399
13	53587424	7,981	3,203	8,006	76	56923691	11,198	2,392	23,799
14	53454567	6,183	4,573	20,352	77	56915895	5,952	5,117	29,608
15	53454732	5,610	4,564	21,654	78	56919798	10,486	2,402	25,338
16	53454526	7,295	3,579	17,772	79	56925191	6,330	5,565	26,192

Продолжение 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
17	53454617	6,187	6,505	13,356	80	53587168	11,578	6,966	11,803
18	53454914	5,905	6,744	22,689	81	53454724	11,451	3,554	31,599
19	53413688	8,929	5,348	12,419	82	53454609	10,156	3,560	30,665
20	53454641	6,127	5,043	17,128	83	56917891	13,988	6,160	14,501
21	53587903	9,466	11,228	23,672	84	56921794	12,480	3,880	26,170
22	53587341	10,886	6,752	11,664	85	56919491	11,130	3,540	24,600
23	53454963	9,815	3,159	29,492	86	53413746	13,373	11,695	24,255
24	56920291	4,720	4,500	26,100	87	56920192	13,231	7,491	17,631
25	56924996	11,580	7,740	35,000	88	56917990	13,890	8,900	17,165
26	53587150	9,561	12,169	30,419	89	56917792	12,643	1,747	25,104
27	56916091	11,250	4,410	24,530	90	56917693	12,890	2,504	28,739
28	53454922	12,210	4,670	29,500	91	56922792	12,564	2,099	26,692
29	56922990	5,220	4,400	18,270	92	56920994	12,671	1,921	23,293
30	56924699	11,381	3,970	12,880	93	56923493	11,807	1,012	21,812
31	56918394	7,360	3,388	21,727	94	53413308	3,410	6,280	14,360
32	56924392	7,189	2,432	12,281	95	53587267	12,810	10,060	18,840
33	56924897	7,329	7,237	27,834	96	56924194	12,480	5,990	17,770
34	56919897	7,213	1,764	10,287	97	56919590	12,990	5,900	26,520
35	53454971	7,070	4,860	13,761	98	53454674	7,395	4,970	31,057
36	53454864	7,392	4,623	14,998	99	53413902	5,803	5,459	15,305
37	56922693	8,198	4,114	18,240	100	56917396	8,756	3,023	28,780
38	53586913	7,914	4,922	16,291	101	56920093	6,983	2,212	27,993
39	56917495	7,140	4,380	23,980	102	53587036	10,051	3,981	20,328
40	53412771	7,196	6,318	11,031	103	53412763	9,088	4,874	17,300

№ 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
41	53412854	7,317	3,347	7,142	104	53413571	7,043	7,018	32,145
42	56921091	5,697	2,433	9,125	105	53454591	9,922	4,804	19,483
43	56917297	7,030	6,264	22,422	106	53413456	6,079	6,466	21,373
44	53587374	7,173	3,00	6,940	107	53454518	7,272	3,288	25,092
45	53586756	5,882	4,407	12,088	108	53587853	3,845	6,586	27,037
46	56921190	7,420	2,030	5,760	109	53413373	9,987	4,996	19,611
47	53413639	7,489	6,685	11,009	110	56915390	5,768	6,683	35,865
48	56916497	7,030	6,076	14,926	111	56920697	6,210	3,376	26,941
49	53454831	5,030	2,710	13,880	112	53413506	9,207	5,031	20,174
50	56918592	6,980	3,700	20,567	113	53413167	6,654	7,112	19,924
51	56916992	5,826	2,593	10,672	114	56921596	9,813	1,212	18,652
52	56920390	7,298	2,468	15,841	115	53587101	8,279	5,334	16,876
53	53586905	7,623	4,322	14,367	116	53454534	7,041	3,570	26,869
54	53587382	8,136	3,342	11,105	117	56918998	7,043	3,946	23,333
55	53587937	8,319	5,551	13,779	118	53454757	10,153	4,452	25,287
56	53586889	7,502	6,012	14,282	119	53454666	9,773	2,344	23,401
57	53587861	7,344	5,035	10,364	120	56919392	10,126	1,507	22,455
58	56924293	12,182	1,685	24,260	121	53454658	9,950	3,802	27,699
59	53413084	10,657	7,829	22,128	122	53587572	10,057	4,277	15,996
60	56922594	12,087	2,606	17,881	123	53454815	9,194	3,108	25,577
61	56921299	11,023	2,153	25,936	124	56917594	6,674	4,820	26,640
62	56920796	11,615	2,508	24,909	125	53454948	9,906	2,463	25,174
63	53454906	11,617	2,628	28,705					

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 2.2

**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	64	56923592	2 274,66	2 701,26
2	53454484	1 576,68	2 003,28	<b>65</b>	53454765	3 415,50	<b>3 842,10</b>
3	56921695	1 474,80	1 901,40	66	56923899	2 520,42	2 947,02
4	56918097	1 148,58	1 575,18	67	53454690	2 259,18	2 685,78
5	56921497	1 509,18	1 935,78	68	56919996	2 253,36	2 679,96
6	56923295	1 063,62	1 490,22	69	53412953	2 150,28	2 576,88
7	53454575	1 221,48	1 648,08	70	53454492	2 507,76	2 934,36
8	53454872	2 128,56	2 555,16	71	56921398	2 014,68	2 441,28
9	53413803	1 864,68	2 291,28	72	56923097	2 454,30	2 880,90
10	56923394	1 342,80	1 769,40	73	53587317	1 146,84	1 573,44
11	53587408	1 182,48	1 609,08	74	53454898	2 330,34	2 756,94
12	53454625	2 257,20	2 683,80	75	53421805	1 655,58	2 082,18
13	53587424	1 151,40	1 578,00	76	56923691	2 243,34	2 669,94
14	53454567	1 866,48	2 293,08	77	56915895	2 440,62	2 867,22
15	53454732	1 909,68	2 336,28	78	56919798	2 293,56	2 720,16

Продолжение 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
16	53454526	1 718,76	2 145,36	79	56925191	2 285,22	2 711,82
17	53454617	1 562,88	1 989,48	80	53587168	1 820,82	2 247,42
18	53454914	2 120,28	2 546,88	81	53454724	2 796,24	3 222,84
19	53413688	1 601,76	2 028,36	82	53454609	2 662,86	3 089,46
20	53454641	1 697,88	2 124,48	83	56917891	2 078,94	2 505,54
21	53587903	2 661,96	3 088,56	84	56921794	2 551,80	2 978,40
22	53587341	1 758,12	2 184,72	85	56919491	2 356,20	2 782,80
23	53454963	2 547,96	2 974,56	86	53413746	2 959,38	3 385,98
24	56920291	2 119,20	2 545,80	87	56920192	2 301,18	2 727,78
25	56924996	3 259,20	3 685,80	88	56917990	2 397,30	2 823,90
26	53587150	3 128,94	3 555,54	89	56917792	2 369,64	2 796,24
27	56916091	2 411,40	2 838,00	90	56917693	2 647,98	3 074,58
28	53454922	2 782,80	3 209,40	91	56922792	2 481,30	2 907,90
29	56922990	1 673,40	2 100,00	92	56920994	2 273,10	2 699,70
30	56924699	1 693,86	2 120,46	93	56923493	2 077,86	2 504,46
31	56918394	1 948,50	2 375,10	94	53413308	1 443,00	1 869,60
32	56924392	1 314,12	1 740,72	95	53587267	2 502,60	2 929,20
33	56924897	2 544,00	2 970,60	96	56924194	2 174,40	2 601,00
34	56919897	1 155,84	1 582,44	97	56919590	2 724,60	3 151,20
35	53454971	1 541,46	1 968,06	98	53454674	2 605,32	3 031,92
36	53454864	1 620,78	2 047,38	99	53413902	1 594,02	2 020,62
37	56922693	1 833,12	2 259,72	100	56917396	2 433,54	2 860,14
38	53586913	1 747,62	2 174,22	101	56920093	2 231,28	2 657,88

Продолжение 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
39	56917495	2 130,00	2 556,60	102	53587036	2 061,60	2 488,20
40	53412771	1 472,70	1 899,30	103	53412763	1 875,72	2 302,32
41	53412854	1 068,36	1 494,96	104	53413571	2 772,36	3 198,96
42	56921091	1 035,30	1 461,90	105	53454591	2 052,54	2 479,14
43	56917297	2 142,96	2 569,56	106	53413456	2 035,08	2 461,68
44	53587374	1 026,78	1 453,38	107	53454518	2 139,12	2 565,72
45	53586756	1 342,62	1 769,22	108	53587853	2 248,08	2 674,68
<b>46</b>	56921190	912,60	<b>1 339,20</b>	109	53413373	2 075,64	2 502,24
47	53413639	1 510,98	1 937,58	110	56915390	2 898,96	3 325,56
48	56916497	1 681,92	2 108,52	111	56920697	2 191,62	2 618,22
49	53454831	1 297,20	1 723,80	112	53413506	2 064,72	2 491,32
50	56918592	1 874,82	2 301,42	113	53413167	2 021,40	2 448,00
51	56916992	1 145,46	1 572,06	114	56921596	1 780,62	2 207,22
52	56920390	1 536,42	1 963,02	115	53587101	1 829,34	2 255,94
53	53586905	1 578,72	2 005,32	116	53454534	2 248,80	2 675,40
54	53587382	1 354,98	1 781,58	117	56918998	2 059,32	2 485,92
55	53587937	1 658,94	2 085,54	118	53454757	2 393,52	2 820,12
56	53586889	1 667,76	2 094,36	119	53454666	2 131,08	2 557,68
57	53587861	1 364,58	1 791,18	120	56919392	2 045,28	2 471,88
58	56924293	2 287,62	2 714,22	121	53454658	2 487,06	2 913,66
59	53413084	2 436,84	2 863,44	122	53587572	1 819,80	2 246,40
60	56922594	1 954,44	2 381,04	123	53454815	2 272,74	2 699,34

№ 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
61	56921299	2 346,72	2 773,32	124	56917594	2 288,04	2 714,64
62	56920796	2 341,92	2 768,52	125	53454948	2 252,58	2 679,18
63	53454906	2 577,00	3 003,60				

\* – суммарная трудоёмкость слесарных, газорезательных и электросварочных работ (с + г + э).

\*\* – здесь дополнительно учтены слесарные работы по ремонту автоцепного оборудования (139,20 чел-мин) и тормозного оборудования (287,4 чел-мин); трудоёмкости этих видов работ являются нормированными, и поэтому их исследование не проводилось.

Анализ статистических данных можно производить как вручную, так и с использованием, например, программы STATISTICA по методике, изложенной в работах [28, 29, 304].

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 наибольшее значение имеет результат в строке под номером 46 ( $x_{\max}=1339,20$ ), а наименьшее значение имеет результат в строке под номером 65 ( $x_{\min}=3842,10$ ). После подстановки исходных данных в формулу (2.1) получим

$$R = 3842,10 - 1339,20 = 2502,9.$$

Ориентировочное количество интервалов определим согласно правилу Штюргеса [84]

$$k = 1 + 3,32 \lg n = 1 + 3,32 \lg 125 = 7,96. \quad (2.2)$$

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

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

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 распределению.

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

Основные результаты вычислений представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

**Основные результаты вычисления параметров случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ**

Наименование параметра	Трудоёмкость ремонтных работ в вагоносборочном участке, чел-мин				
	Слесарные	Газорезательные	Электросварочные	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, $x_{\text{мед}}$	535,74	259,32	122,12	2075,64	2502,24
Мода, $x_{\text{мод}}$	586,38	327,66	множеств.	множеств.	множеств.
Асимметрия, $\beta_1$	0,059	0,89	-0,024	-0,007	-0,007
Экссесс, $\beta_2$	-0,98	1,09	-0,809	-0,337	-0,337

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

Для проверки нормальности распределения воспользуемся методикой среднего абсолютного отклонения CAO [119].

CAO вычисляется по формуле

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

После подстановки данных получим

$$CAO = 52853,54/125 = 422,828.$$

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

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

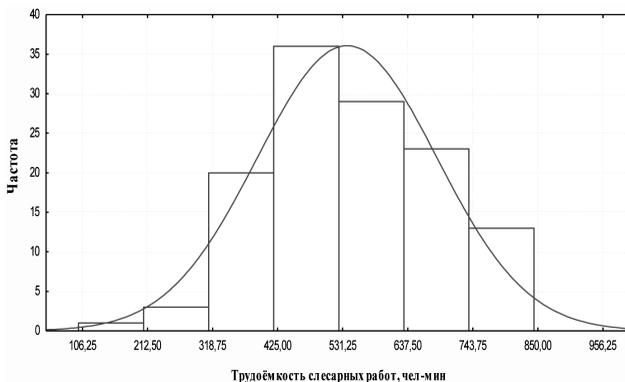
После подстановки данных получим

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

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

Таким образом, гипотеза нормальности распределения выборки полной трудоёмкости принимается.

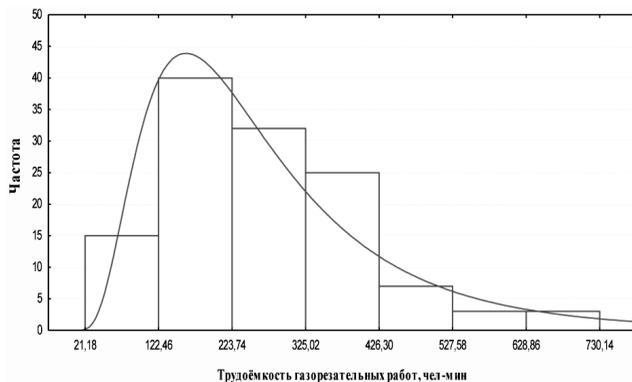
а)



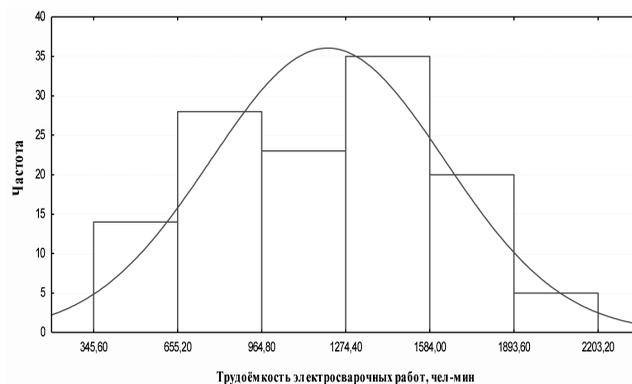
**Рис. 2.1.** Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах:

а) слесарных;

б)

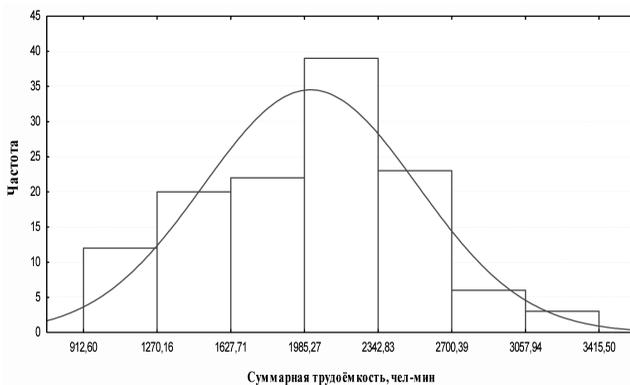


в)

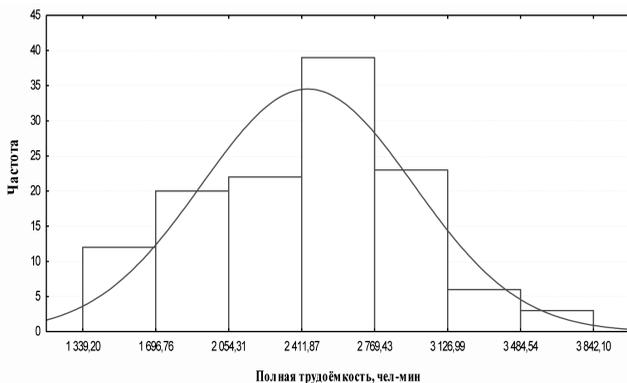


**Рис. 2.1.**(Продолжение) Гистограммы и плотности распределения трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах:  
б) газорезательных; в) электросварочные;

г)



д)



**Рис. 2.1.** (Окончание) Гистограммы и плотности распределения трудоёмкостей ремонтных работ на полувагонах: г) общая (с + г + э); д) полная

В качестве следующего критерия проверки гипотезы нормального распределения воспользуемся методом размаха варьирования из работы [241]. Определим отношение  $R/\bar{S}$  и сопоставим его с критическими верхними нижними границами этого отношения, приведенными в табл. П8 в работе [119].

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 %-ый 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.

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  $\chi^2$  (« $\chi$ -квадрат»), которому соответствует определённый уровень значимости ( $p$ -уровень). Количество интервалов определялось программой автоматически. Результаты представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Виды законов распределения случайных величин трудоёмкостей ремонтных работ и соответствующие им уровни значимости**

Наименование трудоёмкостей работ	Теоретический закон распределения	Критерий, $\chi^2$	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 трудоёмкости ремонта 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 разброс, который существенно влияет на время выполнения работ, что сказывается на производительности «классического» ремонтного потока. В качестве исходных данных при моделировании значений трудоёмко-

стей ремонта вагонов лучше всего пользоваться не теоретическими законами распределений, а непосредственно фактическими эмпирическими данными, собранными на передовых вагоноремонтных предприятиях (см. главу 4).

Выполненные исследования наглядно демонстрируют, что трудоёмкости ремонта вагонов являются случайными величинами, имеющими довольно широкий разброс. Исходя из данных табл. 3, 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 раз.

Таким образом, постановка в ремонт на обычный «жёсткий» поток вагонов, имеющих такой большой диапазон величин трудоёмкостей, будет постоянно вызывать срыв такта поточной линии. Поэтому однозначно можно констатировать, что «жёсткая» структура потока, принятая в своё время во всех вагонных депо, перешедших на поточный метод ремонта вагонов, является далеко не идеальным решением организации вагоноремонтного процесса.

Такой большой разброс трудоёмкостей ремонтных работ свидетельствует о том, что индустриальные методы ремонта вагонов, в частности, ремонт вагонов на поточных линиях, требует особого подхода к своей организации. «Жёсткие» потоки не смогут ритмично и эффективно функционировать в связи с невозможностью полной синхронизации времени выполнения работ на разных позициях. К тому же это подтверждают и результаты уже внедрённых в производство поточных линий. Постоянный сбой такта приводит к тому, что предприятия либо возвращаются к стационарному методу ремонта, либо переходят к «полужёсткому» потоку. Многие предприятия для выравнивания трудоёмкостей ремонтных работ для ва-

гонов с повышенными объёмами организуют так называемые «урavnительные» позиции, на которых вагоны при помощи стационарного метода ремонта пытаются «подогнать» под «норму». При использовании же гибких асинхронных потоков этого делать не надо. Любой вагон, в независимости от величины фактической трудоёмкости ремонта, сразу же поступает в общий ремонтный поток без предварительных «урavnительных» процедур.

## **§ 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 больше вагонов смогут быть отремонтированы. Поэтому и для вагоноремонтного предприятия время простоя вагонов в ремонте также является важным показателем, который необходимо минимизировать. Таким образом, все субъекты хозяйственной деятельности, имеющие от-

ношение 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. Человеческие факторы (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.



**Рис. 2.2.** Классификация факторов, оказывающих влияние на продолжительность выполнения ремонтных работ на вагонах

## § 2.2.2. Конструкторско-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. 2.5 представлены эксплуатируемые в настоящее время некоторые модели полувагонов, даны их технические характеристики и конструктивные особенности.

**Модели полувагонов, их характеристики и конструкционные особенности**

№ п/п	Модель; габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м <sup>3</sup> ; масса тары, т	Длина по осям авто-цепок, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (lxbxh)	Площадь пола кузова, м <sup>2</sup>	Наличие переходной площадки и стоечного тормоза (ПП/СТ)	Особенности конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12-9046 1-ВМ	Слахановский ВСЗ (Украина)	70,0; 85,0; 24,0	13920; 8650	12732x2930x2300	37,3	-/+	Торцевых дверей нет	Увеличен объём на 9,0 м <sup>3</sup>
2	12-955	Слахановский ВСЗ (Украина)	71,0; 88,0; 23,0	13920; 8650	12620x2980x2400	36,3	-/+	Глухой кузов	Увеличен объём до 88 м <sup>3</sup>
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 «Армвиргазаш»	71,0; 83,6; 22,0	13920; 8650	12700x2878x2240	36,55	-/+	Глуходонный с глухим кузовом	-

Продолжение табл. 2.5

№ п/п	Модель; габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м <sup>3</sup> ; масса тары, т	Длина по осям авто-цеплю, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (l×b×h)	Площадь пола кузова, м <sup>2</sup>	Наличие переходной площадки и стояночного тормоза (ПП/СТ)	Особенности 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	12228×2964×2315	36,63	-/+	Уширенные дверные проёмы	-
9	12-132 1-ВМ	ПО «Уралвагонзавод»; Ружиммаш	69,5; 88,0; 24,0	13920; 8670	12750×2911×2365	37,13	-/+	С локами без дверей	Гофрированный
10	12-141 0-ВМ	ПО «Уралвагонзавод» (Россия)	71,0; 90,6; 25,60	13920; 8650	12750×2911×2060	36,55	-/+	С локами без дверей	Со съёмной крышей
11	12-726 0-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 73,0; 22,7	13920; 8650	12088×2878×2060	35,4	-/+	С локами и с дверями	-
12	12-753 0-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 74,0; 23,2	13920; 8650	12324×2878×2060	36,15	-/+	С локами и с дверями	-
13	12-1000 0-ВМ	Крюковский ВСЗ (Украина)	69,0; 73,0; 22,0	13920; 8650	12088×2878×2060	35,4	-/+	С локами и с дверями	-
14	12-1302 1-ВМ	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	70,0; 77,0; 24,0	13920; 8650	12750×2911×2065	37,11	-/+	С локами без дверей	-
15	12-1303 1-ВМ	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	70,0; 77,0; 24,0	13920; 8650	12750×2911×2065	37,11	-/+	С локами без дверей	-

№ п/п	Модель, габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъемность, т, объём кузова, м <sup>3</sup> , масса тары, т	Длина по осям авто-сплоек, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (lxhxbh)	Площадь пола кузова, м <sup>2</sup>	Наличие переходной площадки и стояночного тормоза (ПП/СТ)	Особенности конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	12-1303-1 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 Тип	ЗАО «Промтрактор-Вагон» (Россия)	76,0; 83,0; 24,0	12100; 7880	10870x3070x2700	33,37	-/+	С глухим кузовом	-
20	12-2123-01 Тип	ОАО «Алтайвагон-завод» (Россия)	71,0; 83,0; 23,0	13920; 8650	10870x3070x2500	33,37	-/+	С глухим кузовом	Скругленный нижний пояс
21	12-119 0-ВМ	ПО «Уралавтонзавод» (Россия)	71,0; 76,0; 23,1	13920; 8650	12700x2878x2060	36,55	-/+	С люками без дверей	-
22	12-4102 0-ВМ	ОАО «Днепровагон-маш» Украина)	71,0; 82,0; 23,0	13920; 8650	12668x2904x2240	36,8	-/+	С глухим кузовом	-
23	12-4106 1-ВМ	ОАО «Днепровагон-маш» (Украина)	70,0; 78,0; 23,0	13920; 8650	12674x3000x2070	38,0	-/+	С люками без дверей	-

Продолжение табл. 2.5

№ п/п	Модель; габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м <sup>3</sup> ; масса тары, т	Длина по осям авто-цепок, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (lхbхh)	Площадь пола кузова, м <sup>2</sup>	Наличие переходной площадки и стояночного тормоза (Ш/СТ)	Особенности конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	12-532 0-ВМ	ПО «Уральвагонзавод» (Украина)	69,0; 74,0; 23,2	13920; 8650	12118х2878х2060	35,5	-/+	С люками и с дверями	-
25	12-9767 1-ВМ	Рославльский ВРЗ (Россия)	70,0; 88,0; 24,0	13920; 8650	12771х2910х2353	37,1	-/+	С глухим кузовом	-
26	12-7023 1-ВМ	ОАО «КВСЗ» (Украина)	70,3; 90,0; 23,7	13920; 8650	12478х2952х2362	37,9	-/+	С люками в полу	С глухими торцевыми стенами
27	12-146 1-Г	ПО «Уральвагонзавод» (Россия)	64,0; 88,0; 23,0	13920; 8650	12750х2911х2365	37,9	-/+	С люками в полу	Со съёмной крышей
28	12-159 1-ВМ	ПО «Уральвагонзавод» (Россия)	64,0; 112,0; 29,4	13920; 8650	12606х2900х2907	36,55	-/+	Есть двери и приварная крыша	Для перевозки автомобилей
29	12-196 1-Г	ПО «Уральвагонзавод» (Россия)	73,5; 96,0; 26,0	13920; 8650	13018х2920х2512	38,0	-/+	С глухими торцевыми стенами и люками	-
30	12-282 1-ВМ	ОАО «Алтайвагонзавод»	70,0; 24,0	13920; 8650	10624х2790х900	36,55	-/+		Для перевозки рудонной стали

№ п/п	Модель, габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м <sup>3</sup> ; масса тары, т	Длина по осям авто-сцепок, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (lxhxbh)	Площадь пола кузова, м <sup>2</sup>	Наличие переходной площадки и стояночного тормоза (ШП/СТ)	Особенности конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	12-288 0-ВМ	ОАО «Алтайгаонзавод»	69,0; 25,0	12530; 7800	10626x1970x800	6,05	-/+		Для перевозки рулонной стали
32	12-284 1-ВМ (0-Г)	ОАО «Алтайгаонзавод» (Россия)	67,0; 27,0	14730; 10000	12900x2790x2000	36,55	-/-		Для перевозки катанки
33	12-296 1-Г	ОАО «Алтайгаонзавод» (Россия)	70,0; 76,0; 24,5	13920; 8650	12722x2911x2060	37,0	-/+	С локсами и глухими торцевыми стенами	-
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	-/+	Глухой	-
36	12-783 1-ВМ	ОАО «КВСЗ»; СЗАО «Могилевский ВСЗ»	70,0; 78,0; 23,0	13920; 8650	12228x2964x2045	36,63	-/+	С локсами и глухими торцевыми стенами	-
37	12-781 1-ВМ	ОАО «КВСЗ» (Украина)	70,0; 80,0; 23,4	13920; 8650	12460x3070x2235	22,0	-/+	С глухими цилиндрическим дном	-

Окончание табл. 2.5

№ п/п	Модель; габарит	Завод-изготовитель (страна)	Грузоподъёмность, т; объём кузова, м <sup>3</sup> ; масса тары, т	Длина по осям авто-сцепок, мм; база, мм	Внутренние габариты кузова, мм (лхвхг)	Площадь пола кузова, м <sup>2</sup>	Наличие переходной площадки и стояночного тормоза (ПП/СТ)	Особенности конструкции	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38	12-1295 1-ВМ	ОАО «Русхиммаш» (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	-/+	Глухой	-
41	12-197 1-Т	ПО «Уральвагонзавод»	74,5; 92,0; 25,5	13920; 8650	12446x2965x2693	36,9	-/+	Скругленный низ кузова	-
42	12-2122- 01-Т <sub>пр</sub>	ОАО «Алтайвагонзавод» (Россия)	71,0; 83,7; 23,0	12100; 6940	10870x3070x2500	31,5	-/+	С глухими стенами и люками в полу	-

Из табл. 2.5 видно, что конструкции полувагонов очень сильно отличаются друг от друга. На одних полувагонах есть торцевые двери, на других нет. Есть полувагоны глухондные, 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 могут отличаться друг от друга. Естественно, что из-за разных конструктивных отличий может изменяться состав и объём ремонтных работ, что не сможет не отразиться и на продолжительности ремонта вагонов.

Кроме различия в моделях на трудоёмкость ремонта вагонов оказывают ещё влияние сроки эксплуатации вагонов и условия эксплуатации. Одно дело, когда полувагоны, пусть даже одной и той же модели, поступают в депо для ремонта первый раз после изготовления, и совсем иное дело, когда они поступают в ремонт последний раз перед списанием. Естественно, что во втором случае объём ремонта и, естественно, его продолжительность будут намного выше. Между этими двумя крайними величинами ремонтов также существует целый спектр ремонтов, значительно отличающихся друг от друга по объёму.

#### **§ 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 грейфер-

ных 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 «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.

#### **§ 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 ва-

гоны 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.

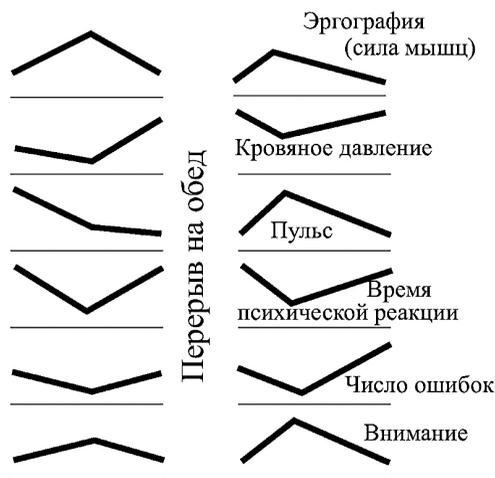
### **§ 2.2.3. Человеческие факторы**

#### **§ 2.2.3.1. Работоспособность исполнителей**

Очень важную вероятностную картину представляет также и вторая группа факторов. Человек – сложнейшее психологическое и психофизиологическое существо, и на его трудоспособность оказывает влияние огромное количество всевозможных случайных факторов. Хотя вопросами изучения этих факторов занимаются совсем иные дисциплины (социология, медицина, физиология и психология труда), но мы хотим обратить на них внимание, так как они

также определённым образом затрагивают интересующую нас проблему – совершенствование 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 [300]. Усреднённые результаты регистрации этих показателей в течение рабочего дня представлены на рис. 2.3.

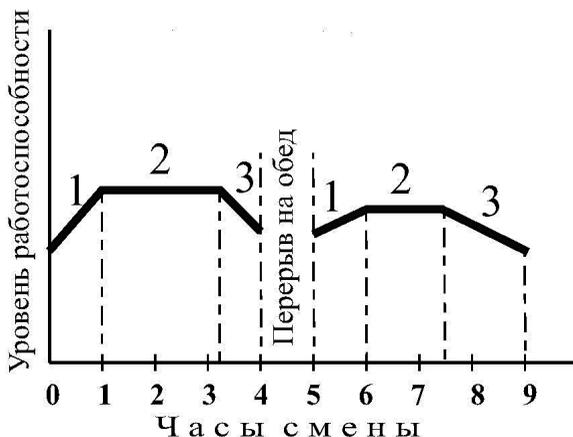


**Рис. 2.3.** Кривые работоспособности в течение рабочего дня с фиксацией отдельных психофизиологических показателей

Результатом этих изменений является снижение уровня трудоспособности человека в целом. Во время трудовой деятельности работоспособность организма человека всё время изменяется. Существуют общие причины, которые влияют на трудоспособность

человека во времени. Эти изменения происходят на протяжении рабочего дня, суток и недели. Их принято называть динамикой работоспособности [300].

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



**Рис. 2.4.** Обобщённая кривая изменения уровня работоспособности 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. Вработываемость

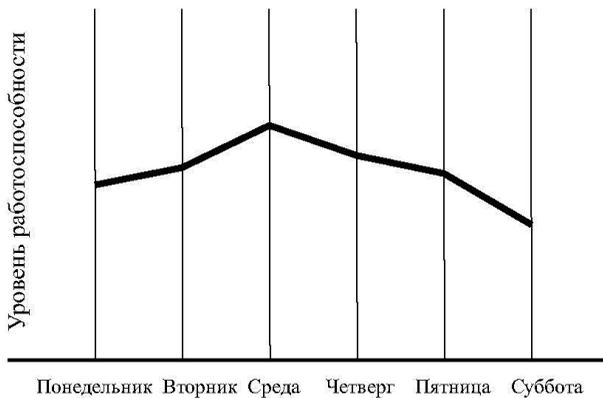
ваемость имеет место потому, что на каждого человека влияют многие побочные факторы, которые возникают ещё до начала рабочей смены. Всё дело в том, что перед тем, как приступить к выполнению производственных функций, человек, как правило, всегда чем-то занят, его что-то отвлекает или волнует. Это может быть причина бытового характера; конфликты в семье, бытовая неустроенность, проблема со здоровьем 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 вработываемости 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: вработывание (понедельник), относительно постоянная работоспособность (вторник, среда, четверг), развивающееся утомление (пятница, суббота). Знание этой кривой позволяет правильно планировать производительность труда человека по дням

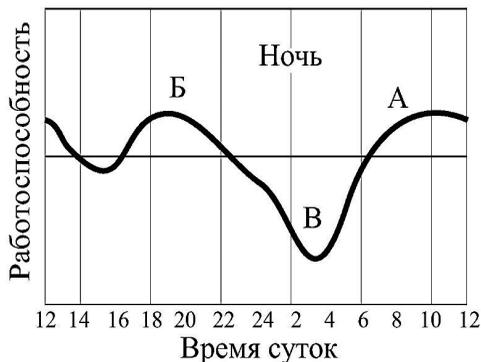
недели. Кроме того, при планировании режима работы предприятия наиболее оптимальным будет пятидневная рабочая неделя с двумя спаренными выходными днями (суббота и воскресенье). Принятый в настоящее время во многих вагонных депо 4-х сменный режим работы с двумя сутками подряд по 12 часов (первая и вторая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



**Рис. 2.5.** Изменение уровня трудоспособности в течение всей недели

Ну и, конечно, определённый интерес представляет также изменение уровня работоспособности в течение суток (рис. 2.6). Из графика хорошо видно, что в трудоспособности человека в течение суток можно выделить три периода. В течение первого периода с 6 часов утра до 15 часов дня трудоспособность 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 вече-

ра, начинает падать, причём пик её приходится на 3 часа ночи (кривая В).



**Рис. 2.6.** Изменение уровня трудоспособности 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 трудоспособности 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 [297]. 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 [211]:

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 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, фактическая продолжительность ремонта (время необходимое для выполнения ремонта конкретного вагона конкретными исполнителями) носит ещё более случайный характер.

Но 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 работ 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 [35, 62, 261]. 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.

#### **§ 2.2.4. Организационно-технические факторы**

##### **§ 2.2.4.1. Отказы технологического оборудования**

К третьей группе факторов, оказывающих влияние на простой вагонов в ремонте, относятся отказы технологического оборудования, ремонтпригодность оборудования (время его восстановления) и перебои в подаче энергоресурсов. 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 произ-

водства учёт их крайне необходим. Отдельные факторы этой группы при расчёте надёжности поточных линий пытались учесть авторы работы [261]. 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. По словам мастеров вагоноремонтных участков и работников участков по ремонту оборудования, 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 тяжёлая поломка любого крупного механизма вагоноборочного 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**

#### **§ 2.2.5.1. Метод организации ремонта**

К четвёртой группе факторов следует отнести метод организации ремонта, технологическую структуру вагоноремонтного участка, способ перемещения объектов ремонта между позициями.

Метод организации ремонта самым непосредственным образом влияет на эффективность ремонта. В главе 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 главе 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. § 3.3 ).

Факторы этой группы большей частью являются эндогенными и могут быть сведены к минимуму за счёт научной организации по-

точного 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 и рекомендации

Таким образом, по отношению к вагоноремонтному предприятию первую группу факторов можно отнести к внешним (экзогенным) факторам. Остальные три группы факторов являются внутренними (эндогенными). Предприятие может оказывать влияние только на эндогенные факторы, да и то не всегда.

На итоговую продолжительность выполнения ремонтных работ на вагонах оказывают влияние все указанные группы факторов. Возможные комбинации этих факторов порождают множество случайных результатов на выходе.

Таким образом, из-за большого количества случайных факторов, которые очень трудно предвидеть и спрогнозировать, осуществить полную синхронизацию работ на позициях поточной линии не представляется возможным. Потери времени на вынужденные простои при жёсткой форме организации производства просто неизбежны.

Как показала практика, многочисленные попытки синхронизировать окончание работ на всех позициях из-за огромного количества случайных факторов не имеют никаких шансов на успех и являются совершенно не тем направлением, в сторону которого надо

было двигаться при совершенствовании организации ремонта вагонов. Всякие попытки, направленные на обеспечение внутритактной синхронизации времени выполнения ремонтных работ на позициях «жёсткой» поточной линии, обречены на провал. Об этом сейчас ярко свидетельствуют результаты работы вагонных депо, некогда перешедших на поточную форму ремонта вагонов.

Исходя из принципа разнообразия [312], противостоять разнообразию среды, которую ремонтируют, может только разнообразие среды, которая ремонтирует. Одним из таких решений для среды, которая ремонтирует, является мультифазная поликанальная асинхронная гибкая система, позволяющая при строгом соблюдении поточного метода ремонта осуществлять индивидуальное перемещение каждого конкретного вагона. Поэтому наиболее приемлемой формой организации технологического процесса ремонта вагонов является поток со свободным индивидуальным тактом, позволяющий при разных временных показателях осуществлять независимое перемещение вагонов, т. е. – асинхронный гибкий поток. Это возможно только в случае отвязки потока от единого железнодорожного пути, по которому перемещаются вагоны, и от единого грузоведущего конвейера, с переходом к поликанальным позициям с возможностью многовекторной перестановки вагонов при помощи трансбордерных тележек или транспортных агрегатов. Однако такие технологии требуют соответствующих оригинальных компоновок зданий. К сожалению, существующие корпуса вагонсборочных участков строились в своё время для иного принципа технологического процесса и сейчас не позволяют перейти на более прогрессивную форму вагоноремонтного потока. Таким образом, одной из причин, тормозящих внедрение нового типа потока, является устаревшая планировка действующих предприятий. Вместе с тем после соответствующей реконструкции некоторых предприятий вполне возможно внедрение на них потоков, обладающих определёнными элементами гибкости.

Таким образом, реальное время выполнения ремонтных работ на разных вагонах сильно отличается друг от друга, но, так как вагоны находятся в условиях единого потока (или единой железнодорожной колеи при стационарном методе ремонта), это отражается на их перемещении между позициями (или подачей за пределы цеха после окончания ремонта). Встаёт вопрос, как организовать технологический процесс, чтобы каждый вагон как можно меньше зависел от других вагонов.

Поэтому наиболее рациональной организацией производственного (технологического) процесса является гибкий асинхронный поток, который сохраняет основные принципы поточного производства и одновременно позволяет сгладить (нивелировать) все негативные стороны, присущие ремонтному производству, создавая тем самым благоприятные условия для дальнейшего роста производительности труда.

Таким образом, продолжительность выполнения работ является случайной комбинацией различных факторов и носит вероятностный характер. Причём это относится как к общей продолжительности ремонта вагонов, так и к продолжительности комплексов работ, выполняемых на отдельных позициях.

Традиционные поточные линии очень чувствительны ко времени выполнения работ на позициях. Задержка даже на одной позиции моментально приводит к задержке всего потока. Если различие во времени выполнения ремонтных работ на вагонах при стационарной форме организации производства не оказывает существенного влияния на ход технологического процесса, то совсем иная картина появляется при поточной форме организации ремонтного производства.

Продолжительность пребывания каждого конкретного вагона на позициях потока оказывает непосредственное влияние на пропускную способность всего потока. С одной стороны время выполнения ремонтных работ на вагонах носит случайный характер, что от-

ражается на ритмичном перемещении вагонов между позициями, а с другой стороны эффективность использования потока очень чувствительна к задержкам отдельных вагонов, которые «тормозят» движение вагонов, идущих следом, а те, в свою очередь, блокируют движение вагонов, следующих за ними. При использовании одного рельсового пути эту задачу решить невозможно, так как при такой организации потока невозможно осуществить «манёвр обгона» между объектами ремонта. Поэтому более эффективной будет являться поликанальная система позиций (параллельное расположение ремонтных модулей на каждой позиции). Перемещать вагон строго нельзя до тех пор, пока весь необходимый комплекс работ, закреплённый за данной позицией, не будет выполнен.

Поток ремонта вагонов представляет собой сложную многофазную систему, в которой все объекты ремонта зависят друг от друга. Таким образом, промышленные методы ремонта требуют оригинального подхода, отличного от машиностроения и приборостроения. В данной сфере поток должен носить особый характер, учитывающий специфику ремонтного производства.

Беря во внимание всё многообразие возможных сочетаний случайных факторов, оказывающих влияние на продолжительность выполнения работ, наилучшим решением по организации ремонта вагонов, обеспечивающим самые высокие технико-экономические показатели, является асинхронный гибкий поток, представляющий собой мультифазную поликанальную систему ремонта вагонов на базе использования транспортных агрегатов для перемещения вагонов между позициями.

**СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ  
ВАГОНРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ГИБКИМ  
ПОТОКОМ. МЕТОДЫ РАСЧЁТА ОСНОВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ВАГОНРЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

---

**§ 3.1. Современные требования к проектированию вагоно-  
ремонтных 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 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 «жёсткий» «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 «жёсткие» 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 «жёстких» поточных линий предусмотрено одновременное перемещение всех вагонов, то для «полужёстких» поточных линий – поочерёдное. Но, тем не менее, и для «жёстких», и для «полужёстких» поточных линий существует только один-

единственный вариант пути перемещения вагонов между позициями, так как они имеют одну транспортную степень свободы [183].

Решить эти задачи можно только за счёт внедрения промышленных 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 простоев вагонов в ремонте – оно значительно сокращается. Гибкие потоки в зависимости от своей структуры позволяют реализовывать до нескольких тысяч возможных вариантов пути 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 использования всех преимуществ гибкого потока, необходима 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 гибкого потока для вагоноремонтного производства является непростой задачей и требует глубоких теоретических работ. В данной работе сделана попытка поиска рациональных структур гибких потоков, 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.

### **§ 3.2. Компонентные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных предприятий с гибким потоком ремонта вагонов**

Для вагоноремонтных предприятий нового поколения генеральный вагоноремонтный поток (ГВРП) должен состоять из трёх последовательно соединённых между собой участков, различающихся не только по технологическому признаку, но и по величине размаха трудоёмкостей, выполняемых работ: участка подготовки вагонов к ремонту (I), главного вагоноремонтного участка (II) и малярного участка (III). Как показала практика, трудоёмкости работ на участке подготовки вагонов к ремонту и в малярном участке носят относительно стабильный характер. Но как было показано в главе 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. Поэтому именно на этом участке и должен быть обязательно использован гибкий поток ремонта вагонов. На остальных участках успешно могут использоваться «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. Поэтому в условиях «жёсткого» (одновременное перемещение вагонов) и «полужёсткого» (поочерёдное 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  $j$ -ой позиции, ремонтные работы уже будут завершены, а на следующей  $(j+1)$ -ой позиции в

этот момент работы на другом вагоне ещё будут продолжаться, то, естественно, что перемещение вагона не состоится. Он будет продолжать оставаться на  $j$ -ой позиции до тех пор, пока не освободится место на  $(j+1)$ -ой позиции. Исходя из широкого размаха трудоёмкостей ремонтных работ на вагонах и применения «жёсткой» транспортной системы, можно предположить, что такая 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 – только один. Таким образом, у вагонов, не смотря на их различное техническое состояние, и вытекающий отсюда ожидаемый различный простой в ремонте, нет никакого выбора варианта пути перемещения. Какой-либо «обгон» при такой организации потоков просто не возможен. Вагоны находятся в единой «связке», которая исключает всякую «самостоятельность».

В случае же гибкого потока мы будем наблюдать совсем иную картину. Здесь вагон с любого модуля  $j$ -ой позиции может быть перемещён на любой модуль  $(j+1)$ -ой 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.

Под структурной гибкостью будем понимать количество возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока. Наличие структурной гибкости является архиважным условием для нормального функционирования вагоноремонтных потоков. Величина гибкости является дискретной величиной, которая изменяется скачкообразно с изменением структуры потока.

Общее количество возможных вариантов пути перемещения вагонов через ремонтные модули гибкого потока может быть определено по формуле:

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

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

$m$  – общее количество позиций гибкого потока.

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

Обычно под структурой системы понимается устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени совокупность элементов и связей между ними [195]. В качестве «элементов» вагоноремонтного потока будем рассматривать технологические модули. Структура «жесткого» потока ремонта вагонов определяется количеством ремонтных ниток, количеством позиций на каждой нитке 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.

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 [157]. В связи с этим появляются места сопряжения участков – «узлы».

«Узлом» будем называть те позиции, которые обслуживаются одновременно несколькими типами транспортных системам. 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.

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. 3.1а);

- вариант 2. Узел “А” принадлежит участку подготовки вагонов к ремонту, а узел “Б” – главному вагоноремонтному участку (рис. 3.1б);

- вариант 3. Узел “А” принадлежит главному вагоноремонтному участку, а узел “Б” – малярному участку (рис. 3.1в);

- вариант 4. Узлы “А” и “Б” принадлежат главному вагоноремонтному участку (рис. 3.1г).

Если узел “А” относится к участку подготовки вагонов к ремонту, то будем обозначать его как “А<sub>I</sub>”, в противном случае – как “А<sub>II</sub>”. Для узла “Б” возможны следующие варианты: “Б<sub>II</sub>” и “Б<sub>III</sub>”.

Так как узлы сопряжения связаны с одной стороны с грузоведущими конвейерами, то, следовательно, для возможности пере-

становки вагонов количество модулей в них должно совпадать с количеством ниток (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:  $\Psi_0 = \Psi_{II} \cdot \Psi_I \cdot \Psi_{III}$ .

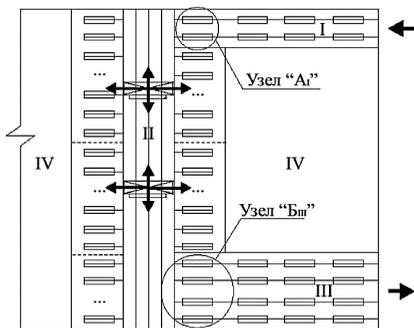
Возможные варианты принадлежности узлов участкам ГВРП и соответствующие им формулы расчёта его транспортной гибкости представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

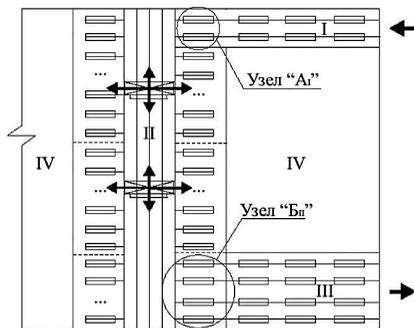
**Возможные варианты принадлежности узлов участкам генерального вагоноремонтного потока и формулы расчёта его структурной гибкости**

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

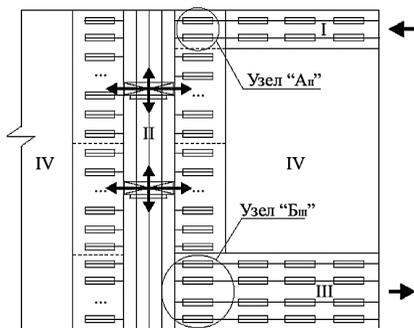
На рис. 3.1а–3.1г схематично показаны соединяемые участки генерального вагоноремонтного потока и возможные варианты принадлежности узлов участкам. Здесь I, II, III– участки ГВРП; IV– остальные участки и отделения вагоноремонтного предприятия.



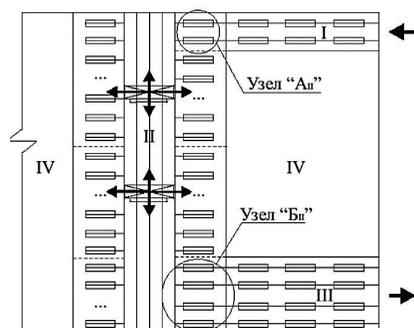
**Рис. 3.1а**



**Рис. 3.1в**



**Рис. 3.1б**



**Рис. 3.1г**

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, приёмо-сдаточных), 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 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 [264]:

$$R=(N T_n)/(F c), \quad (3.2)$$

где  $N$ – программа ремонта вагонов;

$T_n$ – нормативный простой вагонов в ремонте, ч (для полувагонов  $T_n=18$  [201]);

$F$ – номинальный годовой фонд времени работы участка в одну смену, ч ( $F=2002$ ) [229];

$c$  – число рабочих смен,  $c=2$  [202].

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

$$T_n = T_I + T_{II} + T_{III}. \quad (3.3)$$

Следует обратить внимание на то, что при проектировании новых вагоноремонтных предприятий время простоя вагонов в ре-

монте, указанное в нормах [201], должно быть обязательно откорректировано в сторону снижения за счёт предусматриваемого роста производительности труда.

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  $j$ -ой 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  $j$ -ой позиции зависит от средней продолжительности времени выполнения ремонтных работ на  $j$ -ой 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:

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

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 [198].

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. В работах [152, 158, 161, 162] ранее рассматривались рекомендации по организации мультифазных поликанальных многопредметных потоков, но они касались в основном потоков с уже заданной структурой.

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 [292]. 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 [88]. В работе [238] 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 износился, и трудоёмкость ремонта вагонов выросла в несколько раз. Кроме того, указанные работы предполагают наличие «жестких» 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. Простои 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, отли-

чающихся между собой числом позиций и числом модулей на позициях.

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

Таблица 3.2

**Зависимость максимального числа вариантов пути перемещения вагонов от количества модулей и их возможного распределения между позициями**

Общее количество модулей, $R$	Количество позиций на потоке, $m$									Ориентировочная программа ремонта вагонов <sup>*</sup> , $N$
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Количество возможных вариантов пути перемещения вагонов, $\Psi$									
2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	674
3	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1011
4	2	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	27	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

Окончание табл. 3.2

Общее количество модулей, $R$	Количество позиций на потоке, $m$									Ориентировочная программа ремонта вагонов*, $N$
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Количество возможных вариантов пути перемещения вагонов, $\Psi$									
2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	674
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
<b>24</b>	<b>144</b>	<b>512</b>	<b>1296</b>	<b>2500</b>	<b>4096</b>	<b>5184</b>	<b>6561</b>	<b>5832</b>	<b>5184</b>	<b>8009</b>
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

\*– 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 результатов анализа, представленных в табл. 3.2, можно наблюдать общую тенденцию изменения числа возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока. Эта тен-

денция 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 ( $R = 4, 7, 13, 16, 19, 22, 25, 28$ ) 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.

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

Вначале определимся со временем нахождения вагонов на этом потоке. Если исходить из общего нормативного времени нахождения полувагона непосредственно в ремонте ( $T=18$  ч) [201], то это время может быть распределено между тремя участками, например, следующим образом: участок подготовки вагонов к ремонту – 1,5 ч, малярный участок – 4,5 ч и главный вагоноремонтный участок – 12 ч. Следует отметить, что нормативное время пребывания вагонов в ремонте определено на основании данных действующих предприятий, а это равносильно их простою при стационарном методе ремонта. Из табл. 3.2 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 крите-

рию 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 [50]:

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

В нашем случае для двадцатичетырёхмодульного потока, состоящего из шести позиций, количество возможных вариантов распределения модулей между позициями составит:  $c_{23}^5 = 33649$ .

В табл. 3.3 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 «жёстких» потоков, имеющих только один возможный вариант движения вагонов.

Таблица 3.3

**Зависимость количества возможных вариантов пути перемещения вагонов на шестипозиционном гибком потоке от числа модулей на позициях**

№ п/п	Условные номера позиций						Количество модулей на участке, R	Количество возможных вариантов пути перемещения вагонов, Ч
	I	II	III	IV	V	VI		
	Количество модулей на условных позициях							
1	4	4	4	4	4	4	24	4096
2	3	5	4	4	4	4	24	3840
<b>3</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>3600</b>
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 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. 3.4). 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. 3.4 представлены некоторые возможные структурные варианты семипозиционного двадцатичетырёхмодульного гибкого потока и соответствующие им значения возможных вариантов пути перемещения вагонов.

**Зависимость количества возможных вариантов пути перемещения вагонов  
на семипозиционном гибком потоке от числа модулей на позициях**

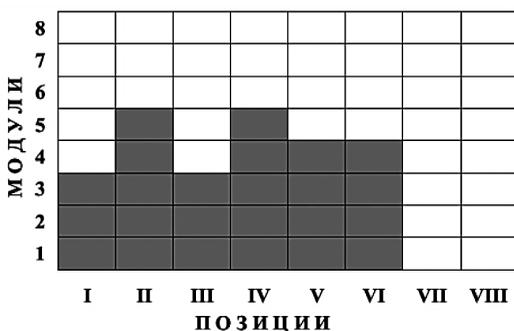
№ п/п	Условные номера позиций							Количество модулей на участке, R	Количество возможных вариантов пути пере- мещения вагонов, Ψ
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
	Количество модулей на условных позициях								
1	3	3	3	3	4	4	4	24	5184
2	3	3	2	4	4	4	4	24	4608
3	3	3	3	3	3	3	6	24	4374
4	3	3	3	4	4	5	2	24	4320
5	4	4	4	4	4	2	2	24	4096
<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>24</b>	<b>3840</b>
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

Распределение модулей между позициями по каждому варианту в табл. 3.3–3.4 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,

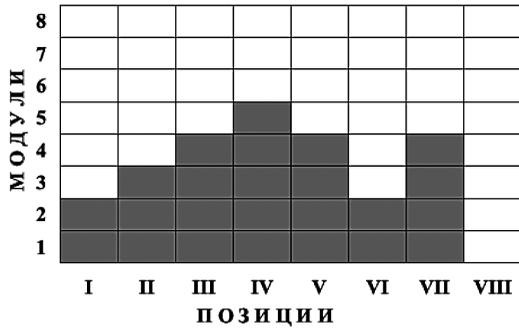
состоящие из одного и того же количества модулей на позициях, но размещенных в разных последовательностях, будем условно называть равнозначными. Итоговое количество возможных сценариев пути перемещения вагонов в равнозначных структурах совпадает.

Из табл. 3.3 и 3.4 видно, что наибольшее количество возможных сценариев перемещения вагонов будет в том случае, когда число модулей на позициях 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 вариантов пути перемещения вагонов между позициями может быть вполне достаточно для нормального функционирования потока.

На рис. 3.5а и 3.5б наглядно показаны варианты альтернативных схем распределения модулей между позициями гибкого потока, соответствующие предыдущим примерам.

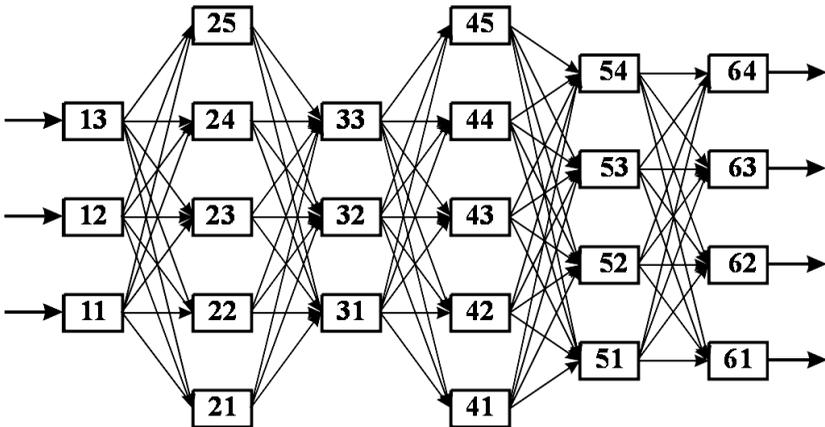


**Рис. 3.5а** Схема распределения модулей между позициями шестипозиционного гибкого потока (табл. 3.3, вар. 3)



**Рис. 3.5б.** Схема распределения модулей между позициями семипозиционного гибкого потока (табл. 3.4, вар. 6)

На рис. 3.6а–3.6б представлены варианты структур гибких потоков.



**Рис.3.6а.** Структура шестипозиционного гибкого потока (табл. 3.3, вар. 3)

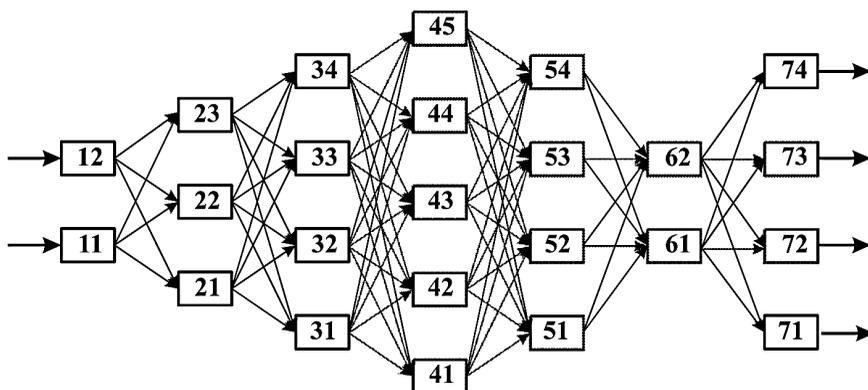


Рис. 3.6б. Структура семипозиционного гибкого потока  
(табл. 3.4 , вар. 6)

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:  $3 \times 3 \times 5 \times 3 \times 5 \times 4 \times 4 |24|4096$ , а для семипозиционного гибкого потока структура примет вид:  $2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 4 \times 2 \times 4 |24|5184$ . Продолжительность выполнения работ на позициях зависит от многих факторов, среди которых есть и внутренние факторы, сугубо присущие каждому конкретному предприятию. 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 показате-

тели 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 выхода 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 возрастет, а, следовательно, возрастет 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.

После того, как будут отобраны альтернативные структуры будущего потока, необходимо при помощи имитационного моделирования выявить лучшую из них структуру.

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.

Таким образом, 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 количество 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, количество возможных состояний системы составит:

$$S = 3^{24} = 282429536481.$$

Таким образом, и по количеству возможных путей движения вагонов и по количеству возможных состояний гибкого потока можно судить о том, что такие системы являются динамичными, маневренными, адаптивными и 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 два очень важных фактора, негативно влияющих 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.

Следующей важной проблемой, требующей решения при организации ремонта вагонов на потоке, но на которую 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 тащат 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, использу-

ется стационарный метод. Для внедрения же высокопроизводительных промышленных методов ремонта вагонов обязательным условием является возможность их перестановки между специализированными позициями, предназначенными для выполнения строго определённых комплексов работ и оснащёнными специальным технологическим оборудованием.

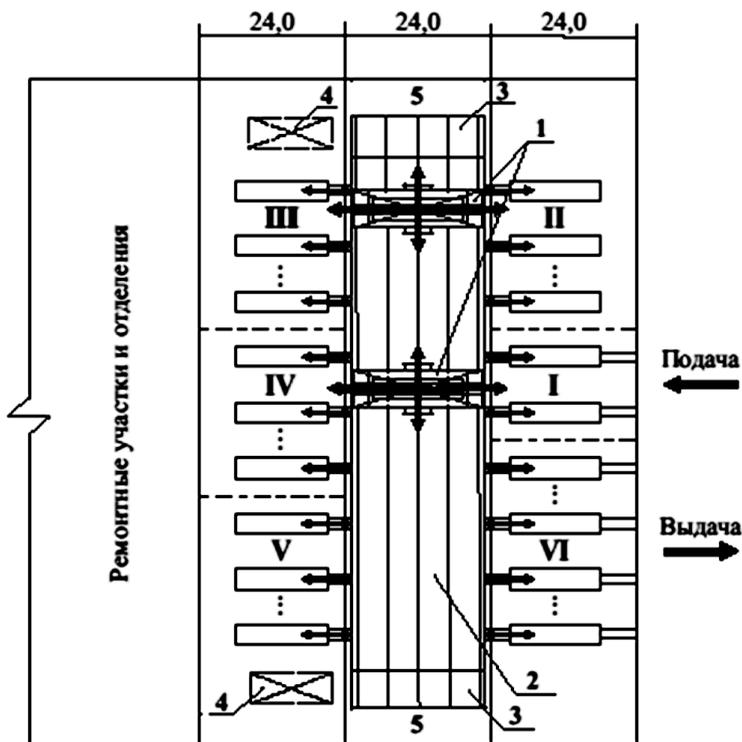
Учитывая выше сказанное, можно сделать вывод, что для перемещения вагонов между позициями ремонтного участка целесообразнее всего использовать тяговые устройства, механизмы которых не находятся непосредственно в зоне ремонта. Для гибких потоков этому требованию в полной мере удовлетворяют трансбордерные 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. 3.7.

Главный вагоноремонтный участок компактно размещается в трёх параллельных строительных пролётах. Два крайних пролёта – ремонтные и 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 пря-

молинейной схемам (если вагон переставляется на позицию, расположенную в смежном ремонтном пролёте).



**Рис. 3.7.** Схематичная компоновка позиций главного вагоноремонтного участка, использующего асинхронный гибкий поток,

где: 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

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 [224] 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, 22, 23, 204, 213–218, 223].

Исследованиями в области организации поточных линий с гибким маневрированием на базе действующих вагонных депо активно

занимаются специалисты Московского государственного университета путей сообщения [2, 22, 23, 204, 216]. 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».

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 [216] предлагается подъёмно-транспортный механизм для перемещения вагонов между позициями размещать непосред-

ственно 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 [223] описан трансбордер, состоящий из несущей рамы мостового типа, которая смонтирована на приводных тележках, вся конструкция располагается в траншее, для продольного перемещения вагонов используется тросовая лебедка.

В работе [213] 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.

Трансбордер, описанный в работе [214], 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 [215] 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 трансбор-

дера и подъездные пути находятся на одном уровне. Транспортное средство поднимается при помощи подъёмников и в таком положении перемещается на параллельный путь.

Трансбордер [217] 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.

Трансбордер [218] 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 трансбордеры имеют конструктивные отличия, которые затрагивают в основном наличие или отсутствие траншеи для перемещения 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 тро-

совой 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 трансбордер 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-либо вмешательства человека.

На рис. 3.8 упрощённо показана конструкция транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого асинхронного потока.

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;

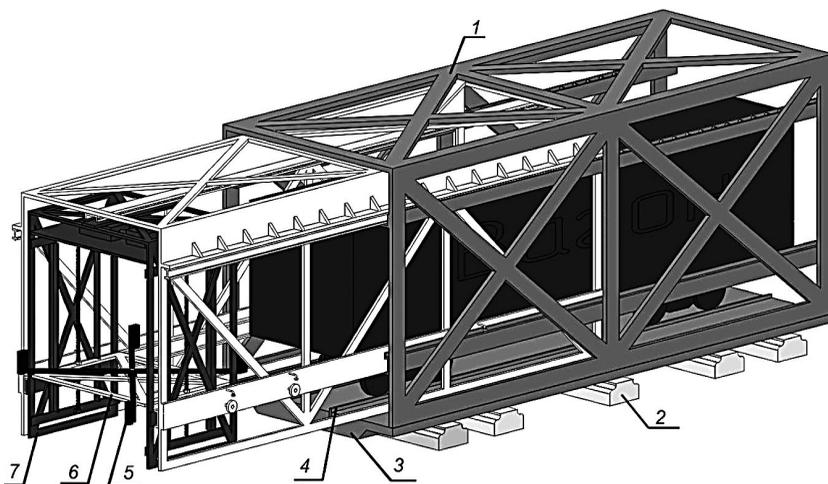
- второй этап заключается в перемещении телескопического портала в продольном направлении к вагону, находящемуся в ремонтном модуле в зоне ремонтного пролёта, и стыковка с ним;

– 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.



**Рис. 3.8.** Схематичная конструкция 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

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. 3.8 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. Структурные варианты организации гибких потоков**

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

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

На рис. 3.9 представлена общая структурная схема генерального вагоноремонтного потока.

Возможны различные варианты организации генерального вагоноремонтного потока. На рис. 3.10–3.12 схематично показаны возможные варианты основных компоновочных решений потока.

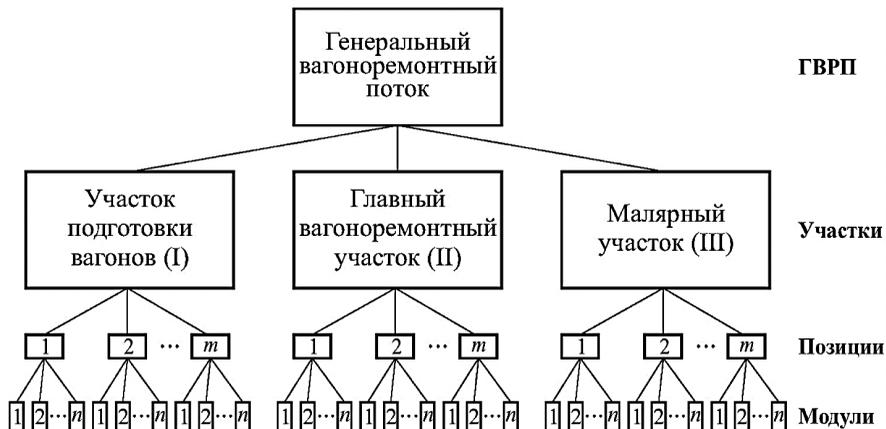


Рис. 3.9. Общая структурная схема генерального вагоноремонтного потока

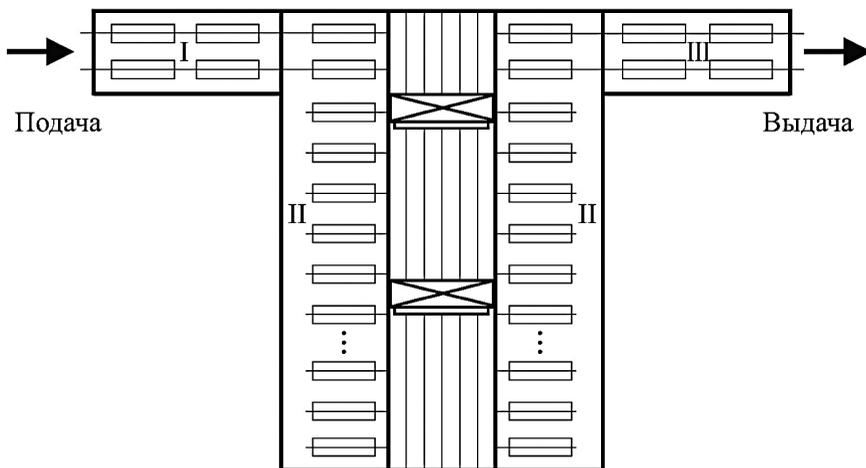


Рис. 3.10. Т-образный вариант потока

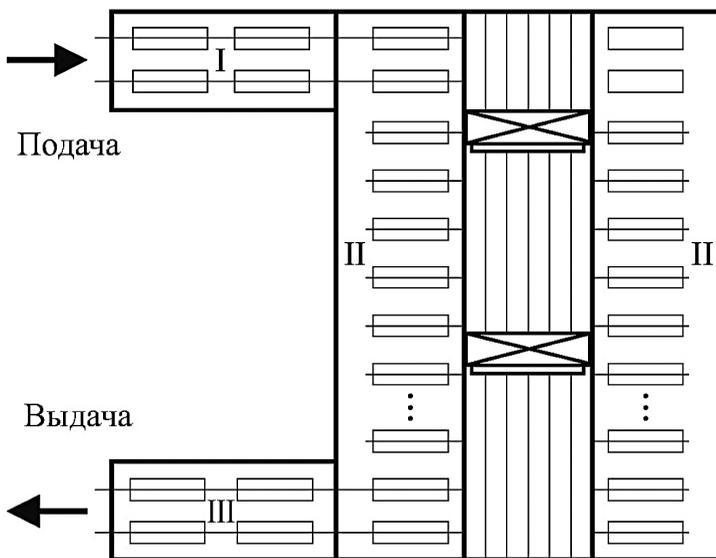


Рис. 3.11. П-образный вариант потока

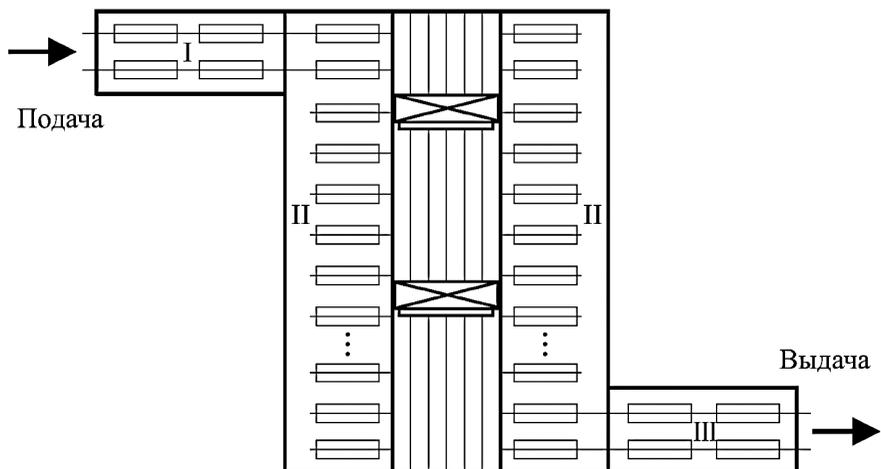


Рис. 3.12. Z-образный вариант потока

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.

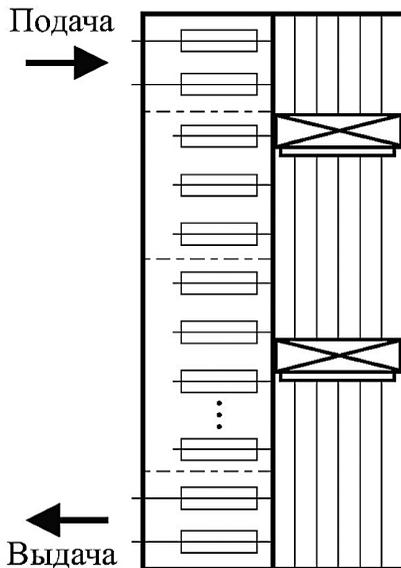
На рис. 3.13–3.16 представлены возможные структурные схемы организации асинхронного гибкого потока на участке. Для наглядности в качестве примера выбрана форма участка с односторонней подачей и выдачей вагонов (П-образный вариант ГВРУ).

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

В целом же внедрение гибких потоков в вагоноремонтное производство является новым направлением и поэтому требует более глубоких 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.

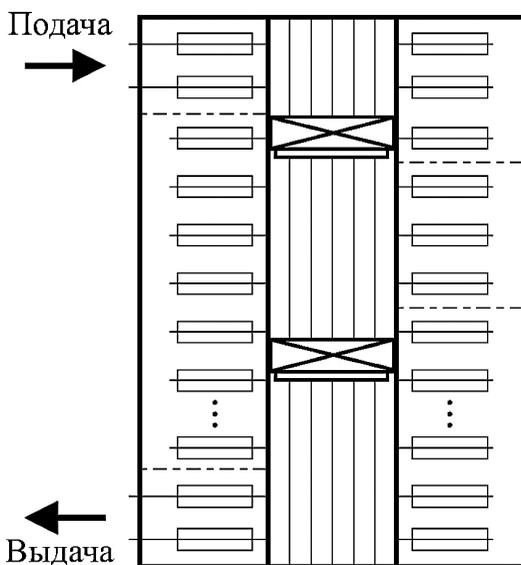


**Рис. 3.13.** Вариант расположения ремонтного пролёта с одной стороны от транспортного пролёта. Формула структуры участка–  $P/T (T/P)$ . Однако при этом варианте нерационально используются возможности транспортного устройства

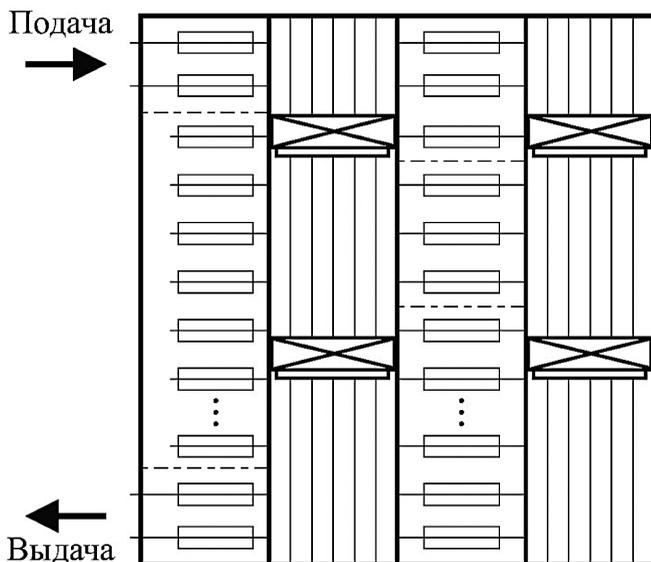
Поэтому наиболее правильным представляется решение, связанное вообще с отходом от какой-либо синхронизации, с переходом на свободный режим перемещения вагонов.

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 путь перемещения. Асинхронный гибкий поток ремонта ва-

гонов (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).



**Рис. 3.14.** Вариант расположения ремонтных пролётов по обе стороны от транспортного пролёта. Формула структуры участка приобретает вид– Р/Т/Р.  
 В этом случае возможности транспортного устройства могут быть использованы более эффективно

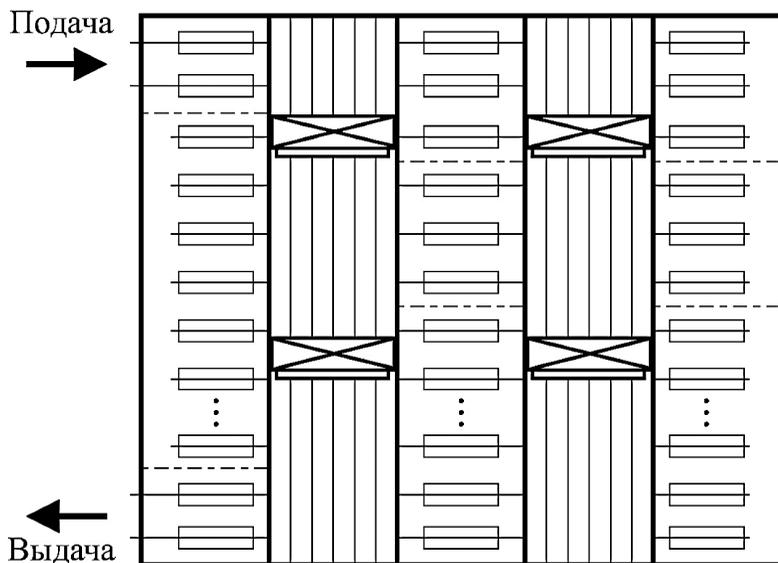


**Рис. 3.15.** Вариант поочерёдного расположения ремонтных и транспортных пролётов. Формула структуры участка – Р/Т/Р/Т.

Этот вариант может иметь место при большой программе ремонта.

С целью уменьшения нагрузки основного транспортного пролёта используется дополнительный транспортный пролёт

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).



**Рис. 3.16.** Вариант симметричного расположения пролётов.

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

Известно, что перемещение объектов ремонта по позициям потока осуществляется в пространстве и во времени. От этих параметров зависит показатель «жёсткости / гибкости» потока (табл. 3.5). 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. 1.6 и 3.9– технологические модули.

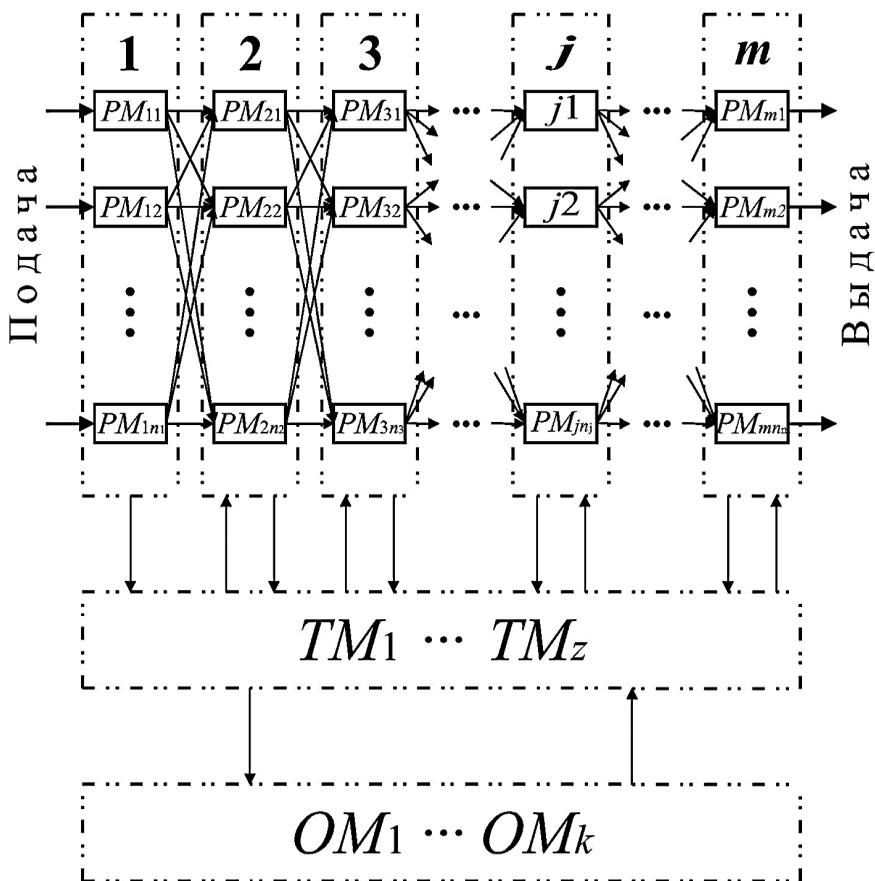
**Вид поточной линии в зависимости  
от пространственного и временного параметров**

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

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

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



**Рис. 3.17.** Структурная схема асинхронного гибкого потока, где  $PM_{jn}$  –  $n$ -ый ремонтный модуль  $j$ -ой позиции;  $TM_z$  –  $z$ -ый транспортный модуль;  $OM_k$  –  $k$ -ый модуль для ожидания

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 про-

дукции 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, от гибкости транспортной системы, разрешающей производить многовариантные индивидуальные перемещения вагонов между ремонтными позициями, и от свободного временного 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  $j$ -ой позиции на любой свободный ремонтный модуль  $(j+1)$ -ой позиции.

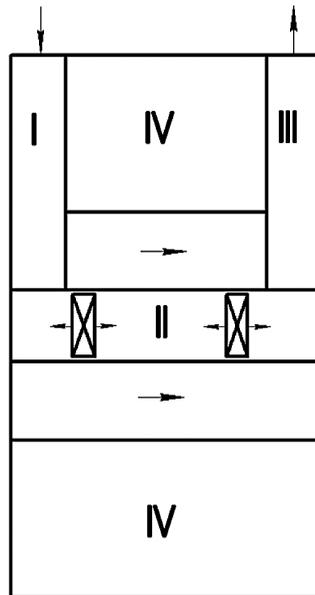
Под технологическим участком понимается часть территории производственного корпуса, предназначенная для выполнения отдельного завершённого этапа производственного процесса. На рис. 3.18 показаны основные технологические участки главного вагоноремонтного корпуса.

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

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

не, представляется целесообразным организовать асинхронный гибкий поток.



**Рис. 3.18.** 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. (Большими стрелками показано направление движения главного потока ремонта вагонов; маленькими стрелочками показаны возможные направления перемещения трансбордерных тележек)

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

*ПП*– поток подготовки вагонов к ремонту (участок I);

*ГПР*– главный поток ремонта 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 (*PM*), на которых непосредственно осуществляется ремонт вагонов. Вторая группа – это транспортные модули (*TM*), которые служат для транспортировки объектов ремонта между остальными модулями. Третья группа – это буферные модули, или модули для ожидания (*OM*), которые служат для выравнивания неравномерности движения объектов ремонта между *PM*.

### **§ 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:

$$N_B = \sum_{a=1}^p N_a, \quad (3.9)$$

где  $N_a$  – программа ремонта вагонов  $a$ -го типа;

$p$  – 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  $j$ -ой позиции, ч;

$m$  – общее количество ремонтных позиций на потоке.

Количество ремонтных модулей на  $j$ -ой ремонтной позиции определяется по формуле:

$$n_j = \frac{\sum_{a=1}^p N_a t_{aj}}{F_H c}, \quad (3.11)$$

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:

$$\Omega = R k_o, \quad (3.13)$$

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:

$$\theta = D_{\text{п}} + D_{\text{л}}, \quad (3.15)$$

где  $D_{\text{п}}$  – количество технологических модулей, расположенных с правой стороны от транспортного пролёта;

$D_{\text{л}}$  – 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

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{н}} c}{N_{\text{в}}}, \quad (3.16)$$

Средний ритм определяется следующим образом:

$$r_{\text{ср}} = \frac{1}{\tau_{\text{ср}}}, \quad (3.17)$$

Количество транспортных агрегатов тележек определяется согласно формуле

$$n_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{пер}} t_{\text{об}} k_{\text{н}}}{60 F_{\text{д}} c k_{\text{и}}}, \quad (3.18)$$

где  $N_{\text{пер}}$  – общее количество перемещений вагонов:

$$N_{\text{пер}} = N_{\text{в}} V_1 k_{\text{дп}},$$

где  $k_{\text{дп}}$  – 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  $t_{\text{об}}$  – время оборота транспортного агрегата, мин;

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

$k_{и}$  – коэффициент использования транспортного агрегата во времени,  $k_{и} = 0,7 \dots 0,8$ ;

$F_d$  – действительный годовой фонд времени работы транспортного агрегата в одну смену, ч:

$$F_d = F_n - T_{обсл},$$

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

Продолжительность оборота транспортного агрегата определяется по формуле:

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

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;

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

$$t_{тр} = \frac{l_{тр}}{v_{тр}},$$

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

$$l_{тр} = \sum_{i=1}^{\omega} b_i,$$

где  $\omega$  – 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, равно  $50 \dots 60$  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. Методика 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 [207]. Граф является абстрактным математическим инструментом, позволяющим решать многие практические задачи. Визуально граф представляет собой геометрическую фигуру, состоящую из точек (вер-

шин), 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 [71]. Матрица взаимодействий подразделений вагоноремонтного предприятия представлена в табл. 3.6.

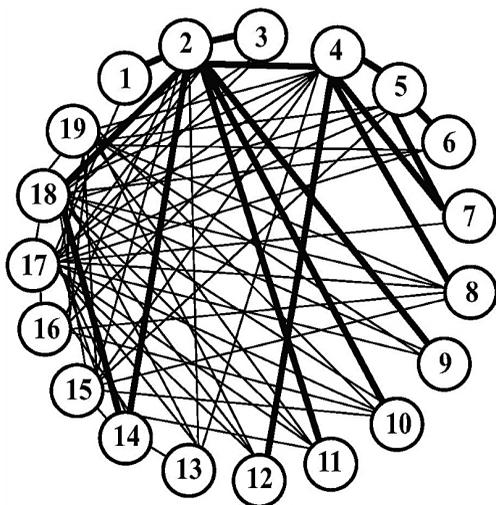


Здесь в качестве «вершины» будем понимать технологическое подразделение, а в качестве «ребра» – потребность в перемещении грузов из одного технологического подразделения в другое.

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.

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. Взаимосвязи значительные (2) между вершинами обозначены жирными линиями, а взаимосвязи малозначительные (1) – тонкими. Цифры в кружочках

соответствуют номерам подразделений, представленных в табл. 3.6. Общий вид предварительного графа показан на рис. 3.19.



**Рис. 3.19.** Общий вид предварительного графа, построенного на основании матрицы взаимодействий

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 [200].

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	6	1	6		

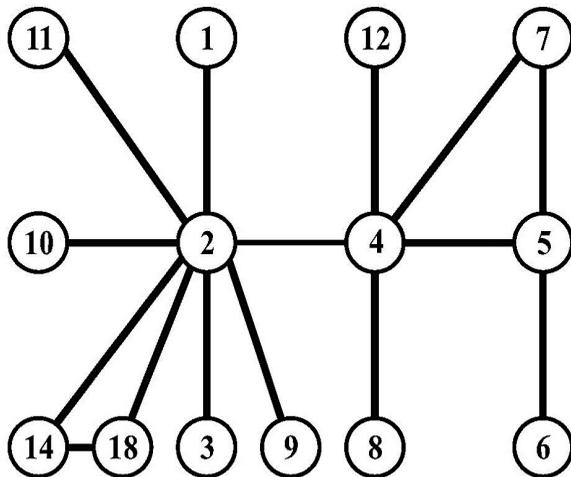
Окончание табл. 3.7

№ п/п	Наименование груза	Масса ед., кг	Кол-во на вагон	Всего, кг	Доля в массе вагона, %
	Тяги	3	2	6	
	Рукав тормозной	3,5	2	7	
	Кран концевой	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

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 может занять 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 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.

На основании полученной структуры трансформированного графа, представленного на рис. 3.20, составим уточнённый граф. 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.



**Рис. 3.20.** Вариант базовой структуры трансформированного графа

Уточнённый вариант графа представлен на рис. 3.21.

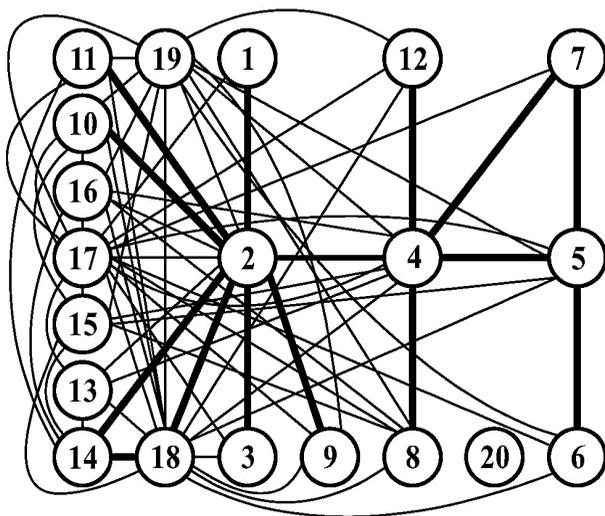
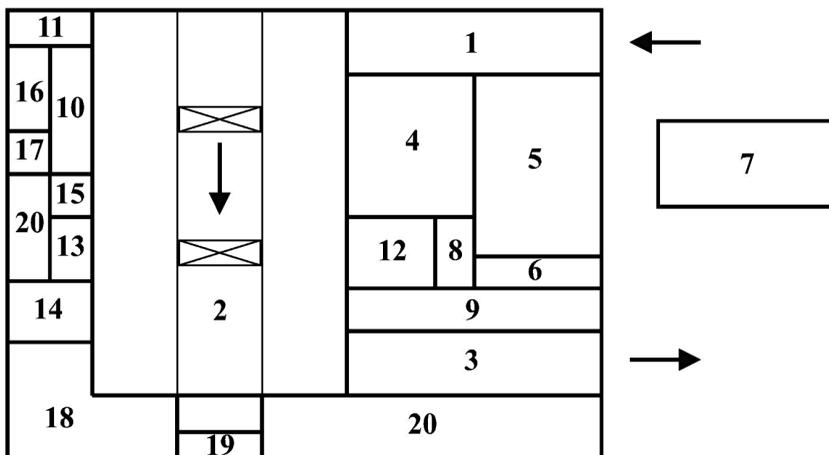


Рис. 3.21. Уточнённый вариант графа

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 [202].

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



**Рис. 3.22.** Вариант компоновки подразделений вагоноремонтного предприятия (стрелками показано направление движения генерального вагоноремонтного потока)

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.).

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.

---

## РАЗЛИЧНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАГОНРЕМОНТНЫХ 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. Невооружённым глазом видна 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, по-

зволяющей 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. Такое положение дел совершенно недопустимо, и его надо исправлять.

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. По сути дела, моделирование – это имитация практической апробации будущего производства.

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. Моделирование нашло широкое применение как в научных исследованиях, так и в инженерной практике [49].

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.

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 знаковых моделей относится то, что они при помощи математических символов позволяют рас-

крыть 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 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.

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.

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.

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 [43].

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 характеристики моделируемого процесса, его структуру, логику событий и взаимоотношения между элементами. В нём также находят своё отражение исходные данные, режимы работы, вероятностные характеристики и т. п. Кроме того, оно концентрирует внимание на цели моделирования, определяет, какие результаты процесса необходимо фиксировать для по-

лучения 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 такое поточный метод ремонта вагонов, уже было в общих чертах описано в главе 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 позицией жёстко закреплён свой перечень операций. Чтобы завершить полный ремонтный цикл, каждый вагон должен последовательно пройти через все ремонтные позиции. 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 [91] 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 специа-

лизированной позиции, необходимой для размещения одного вагона, оснащённый специальным технологическим оборудованием, укомплектованный соответствующим производственным персоналом и предназначенный для выполнения 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  $j$ -ой фазы закончил обслуживание требования и необходимо освободить место для очередного требования, а все РМ следующей  $(j+1)$ -ой фазы заняты, то в этом случае требование, обслуженное в  $j$ -ой фазе, может поступить в свободный МО, а на его место поступит требование из  $(j-1)$ -ой 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 (транспортерная 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)  $j$ -ой позиции может поступить на любой освободившийся

модуль следующей ( $j+1$ )-ой 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 [196], 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 участки (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).

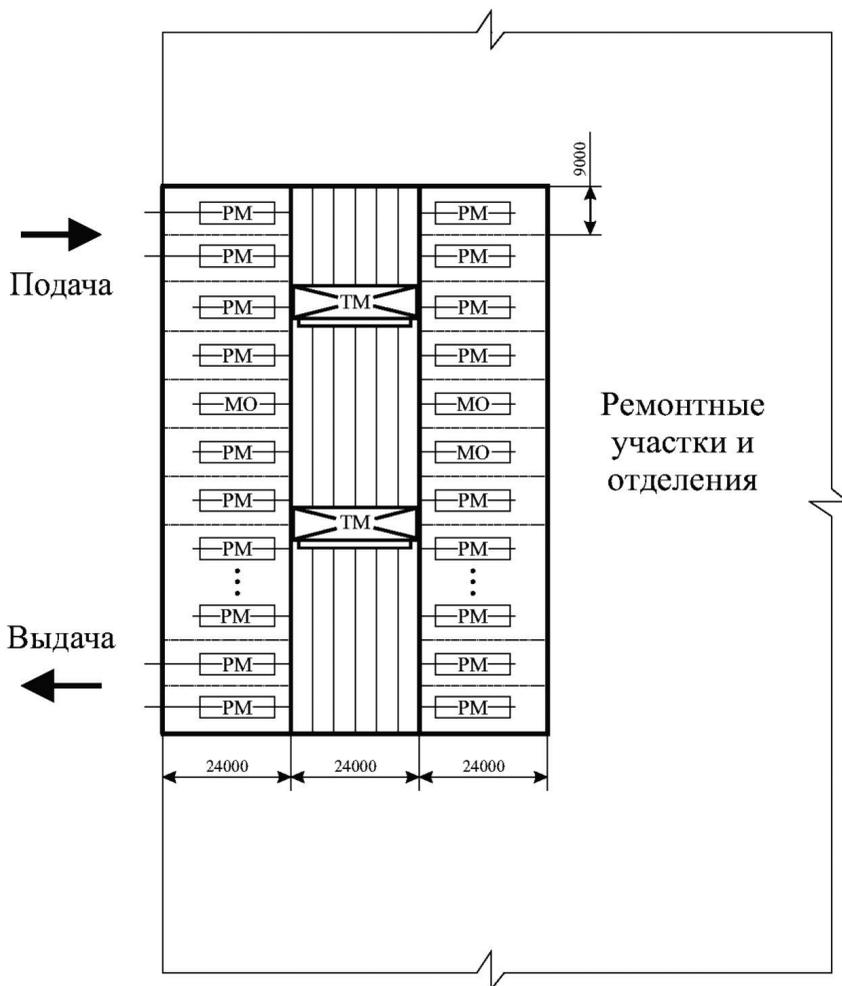
В настоящее время возможны различные структурные схемы организации потоков. В зависимости от вариантов компоновки потока РМ могут быть связаны между собой напрямую (используется традиционный грузоведущий конвейер) либо через трансбордерные тележки. В варианте жёсткой поточной линии количество РМ соответствует 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, со-

стоящую 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, 41–43, 100, 115, 122]. 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).



**Рис. 4.1.** Схематичный вариант компоновки предприятия, использующего асинхронный гибкий поток ремонта вагонов

## **§ 4.3. Понятие потока ремонта вагонов как многофазной многоканальной 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.

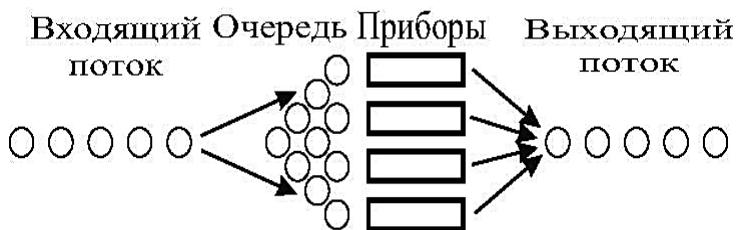
С того момента интерес к данной проблеме необычайно возрос. Оказалось, что, кроме собственно качества обслуживания, важное значение имеет и то, как это обслуживание организовано. Поэтому и возникла необходимость изучения организационной составляющей процесса обслуживания. Эта сторона процесса обслуживания 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, 42, 43, 59, 196].

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.



**Рис. 4.2.** Общая схема систем массового обслуживания

На рис. 4.2 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.

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  $\tau$  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 [59].

### § 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 временных 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  $\lambda$  – 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 [57, 58, 261, 264].

Имеются конкретные работы и по моделированию многостадийных вагоноремонтных потоков. Так, например, в работах [46, 47] 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.

Из-за сложности реальных технологических процессов, происходящих при ремонте вагонов на потоке, широкого применения в аналитической форме системы массового обслуживания не получили.

### § 4.3.3. Имитационное моделирование систем массового обслуживания

Указанные выше модели в аналитическом виде хорошо известны и иногда использовались при расчёте поточных линий для ремонта подвижного состава [58, 264]. 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 сложную структуру. Более точное отражение реальных процессов может быть получено при имитационном моделировании этих процессов на компьютерах [5, 8, 12, 41, 43, 49, 129].

Ранее автором уже рассматривались некоторые подходы к имитационному моделированию на компьютерах работы поточных вагоноремонтных линий с разными структурами [74–76, 148, 152]. 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 проработок постоянно возникают всё новые структуры гибких потоков. Новые структуры ремонтных потоков требуют и новых, более сложных, 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 [74–76, 153]. 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.

Предлагаемая в работе [161] модель имитационного моделирования рассматривает поток ремонта вагонов как мультифазную поликанальную многопредметную систему массового обслуживания. 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 тождественны 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 [115] 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 [178].

В настоящей же работе представлена 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 различных показателей.

Вместе с тем, с целью дальнейшего расширения методов имитационного моделирования потоков ремонта подвижного состава были впервые использованы также и математические модели кусочно-линейных агрегатов [137, 150, 167, 187]. Учитывая, что к настоящему времени широко разработан аналитический аппарат и уже сложилась терминология теории массового обслуживания [6, 59, 100], наравне с терминологией теории агрегатов [42, 43], будем частично пользоваться и терминами теории массового обслуживания.

## § 4.4. Использование теории агрегатов для описания функционирования потока ремонта вагонов

### § 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 использованы при анализе и моделировании 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.

Описание многофазной системы в виде единого вероятностного процесса было бы слишком громоздким. Поэтому напрашивается 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.

Таким образом, рассматриваемая нами система – поток ремонта вагонов – носит дискретный стохастический и динамический характер.

Унифицированная имитационная модель функционирования различных систем может быть представлена в виде стандартной математической схемы агрегата [42, 43]. Такая схема предназна-

на 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 [41-43].

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  $x(t) \in X$ .

Описание математических схем агрегатов в вагоноремонтных процессах представлено в работах [137, 150, 167, 187].

Каждый тип агрегата представляет собой многоканальную систему массового обслуживания (рис. 4.3). 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.

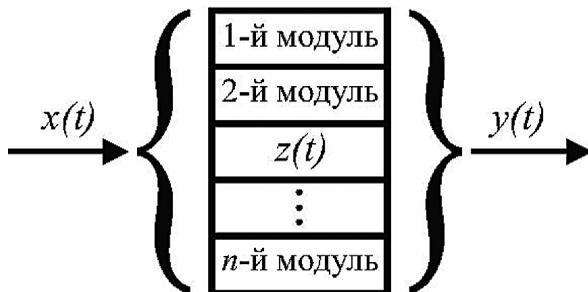


Рис. 4.3. Общая схема агрегата

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. Потоки 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 некой 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  $AO$ .

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. 4.4).

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.

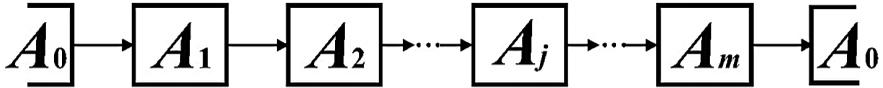


Рис. 4.4. Общая схема агрегативной ремонтной подсистемы

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 модулей (каналов) в агрегате  $A_0$  будет определяться суммированием числа железнодорожных путей, входящих в корпус, и числа путей, выходящих из корпуса.

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 переходом 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 соответствующей главе настоящего издания.

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).

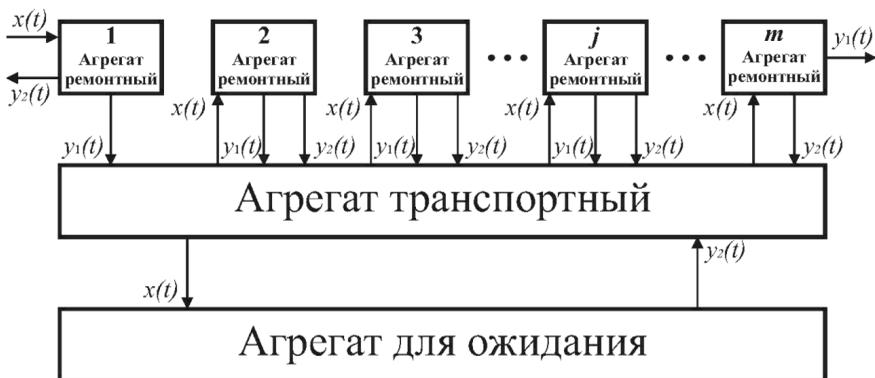
Исходя из условия размещения ремонтных позиций, транспортная подсистема приступает к обслуживанию требования (его перемещению) каждый раз после обслуживания его в соответствующей фазе (ремонтной позиции).

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.

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. 4.5 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.



**Рис. 4.5.** 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 сообщалось, 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 «движение» всего потока. В его функции входит не только перемещение требований между остальными аг-

регатами, 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. Использование математических моделей кусочно-линейных агрегатов для формализации процесса функционирования различных модулей вагоноремонтного потока с гибкой транспортной системой**

Наиболее интересный подход к формальному описанию функционирования различных реальных систем описан в работах [42, 43]. 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 ремонтно-

го производства, можно описать и процесс функционирования асинхронного гибкого потока ремонта вагонов.

В качестве математического описания модулей для ремонта вагонов попытаемся воспользоваться моделью кусочно-линейного агрегата (КЛА) [41-43]. КЛА представляет собой частный случай динамической стохастической системы с дискретным казуальным вмешательством.

КЛА принадлежит к категории объектов, которые можно представлять в виде преобразователя информации (рис. 4.6). 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  $Z$ .

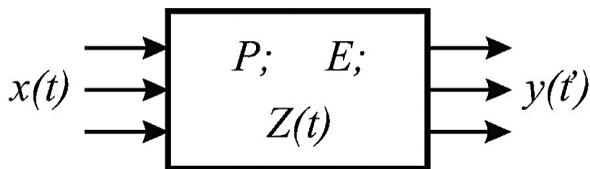


Рис. 4.6. Общий вид кусочно-линейного агрегата

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 со-

стояния  $z_1(t)$  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  $t_{\text{н}}$  система находится в состоянии  $z_{\text{н}}$ . 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  $y(t')=E_1[t_{\text{вых}}^*, z(t_{\text{вых}}^*)]$ .

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 образно 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 обслуживаемых 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:

$\xi_1$  – время, оставшееся до окончания обслуживания требования первым каналом;

$\xi_2$  – время, оставшееся до окончания обслуживания требования вторым каналом;

.....

$\xi_n$  – время, оставшееся до окончания обслуживания требования  $n$ -каналом;

$\zeta_1$  – время, оставшееся до начала обслуживания первого требования в очереди;

$\zeta_2$  – время, оставшееся до начала обслуживания второго требования в очереди;

.....

$\zeta_l$  – время, оставшееся до начала обслуживания  $l$ -го требования в очереди;

В момент времени, когда  $\xi_k$  станет равным нулю ( $k = 1, 2, \dots, n$ ), т.е. обслуживание требования  $k$  каналом окончено, происходит изменение состояния системы (скачок). В этот момент дискретный параметр уменьшается на единицу  $v' = v - 1$  (обслуженное требование покидает систему). КЛА посылает выходной сигнал о том, что обслуживающий канал свободен. Аналогично, когда  $\zeta_1$  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.

Для элементов, входящих в состав АГПРВ, из общей схемы агрегата может быть выделена схема кусочно-линейного агрегата (КЛА), представляющая собой вариант динамической системы с дискретным казуальным вмешательством.

КЛА является динамической дискретно-непрерывной системой и постоянно участвует в определённом процессе. Динамика КЛА в общем случае определяется скачками состояний в момент поступ-

ления входных сигналов и внутренним изменением состояния самого КЛА. Моменты достижения системой граничного состояния будем называть критическими моментами времени, так как в эти моменты времени система переходит из одного состояния в другое (происходит скачок), и будем их обозначать  $t^*$ .

Для лучшего понимания процесса функционирования дадим более подробное описание КЛА. Под КЛА будем понимать информационный преобразователь, который имеет вход и выход. КЛА функционирует во времени  $t \in T$ . На вход он получает сигналы  $x$  со значениями из некоторого множества  $X$ ,  $x \in X$ . С выхода посылает сигналы  $y$ ,  $y \in Y$ . В определённые моменты времени  $t$  находится в некотором состоянии из некоторого множества  $Z$ ,  $z \in Z$ .

Все события, которые воспринимает КЛА, можно разделить на две группы – внешние и внутренние. Внешние события заключаются в получении входящего сигнала, а внутренние – в достижении траекториями КЛА определённого подмножества состояний  $Z^* \in Z$ . Таким образом, динамике КЛА характерен «событийный» принцип функционирования. Все сигналы происходят в дискретные моменты времени. В промежутке между сигналами КЛА находится в одном из возможных состояний  $z \in Z$ . Состояние КЛА в некоторый момент времени  $t \in T$  будем обозначать  $z(t) \in Z$ . При этом будем считать, что переход КЛА из одного состояния, например,  $z_1(t)$ , в состояние, например,  $z_2(t)$ , происходит мгновенно, т. е. – скачкообразно. Время скачка  $t^*$  определяется параметрами входных сигналов  $x(t)$   $X$  и параметрами внутренних процессов, происходящих в самом КЛА.

Всё множество возможных состояний КЛА являет собой фиксированный набор отдельных непересекающихся подмножеств – многогранник в  $z$ -мерном евклидовом пространстве. Состояние КЛА  $z(t)$  условно можно изобразить в виде точки в многомерном пространстве, которая имеет множество координат. Изменение лю-

бой координаты моментально изменяет положение точки, и, тем самым, – состояние всей системы.

Состояние КЛА будем рассматривать в виде  $z = (v, z_v)$ , где  $v$  – дискретная составляющая состояния, а  $z_v$  – вектор вспомогательных координат (точка многогранника  $Z_v$  с координатами  $z_{v1}, z_{v1}, \dots, z_{vv}$ ), т.е.  $z_v = (z_{v1}, z_{v2}, \dots, z_{vv})$ .

Схема функционирования РМ как КЛА представлена на рис. 4.7.



**Рис. 4.7.** Схема функционирования РМ как кусочно-линейного агрегата

Перед каждым РМ  $j$ -ой 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  $(j-1)$ -ой 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  $z_v$  – 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  $v$  не изменяется, так как требование ещё не покинуло систему. Только после того, как требование покинет агрегат, дискретный параметр уменьшится на единицу  $v = v - 1$ .

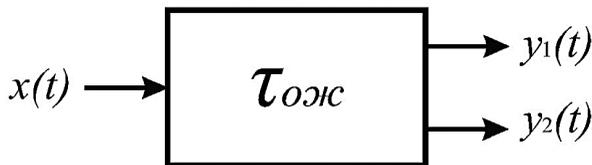
Схема функционирования ОМ отличается от РМ практически только тем, что он не подаёт сигналы  $y_3(t)$  и  $\tau_{\text{обсл}} = 0$ .

Схема функционирования ОМ как КЛА представлена на рис. 4.8.

В ОМ требование поступает в том случае, если РМ  $j$ -ой фазы закончил обслуживание требования, в очереди к нему уже стоит новое требование, а никакой РМ следующей  $(j+1)$ -ой фазы ещё не освободился. Поэтому из этого РМ  $j$ -ой фазы обслуженное требование поступает в ОМ для кратковременного ожидания, пока не освободится один из РМ  $(j+1)$ -ой фазы, а на освободившееся место поступает требование, прошедшее обслуживание в РМ  $(j-1)$ -ой фазы. Каждый ОМ может поочерёдно принимать для «обслуживания» требования, находящиеся в любой стадии технологического процесса. Поступление требований в ОМ является вынужденным, а не обязательным условием.

Состояние ОМ определяется параметром  $v$ , который принимает два значения:  $v=1$ , когда в ОМ находится требование, и  $v=0$ , когда требования в нём нет (канал 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.



**Рис. 4.8.** Схема функционирования ОМ как кусочно-линейного агрегата

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  $j$ -ой позиции о том, что он закончил обслуживание требования;  $PM_{(j+1)}^-$  – сигнал от ремонтного модуля  $(j+1)$ -ой 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  $j$ -ой 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. 4.9.



**Рис. 4.9.** 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  $\tau_{\text{обсл}}$  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 найти широкое применение при исследовании с помощью имитационного моделирования асинхронных гибких потоков ремонта вагонов ещё на стадии их проектирования.

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.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ  
НА ПОЗИЦИЯХ ПОТОКА ПРИ ПОМОЩИ  
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

---

**§ 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 реальные 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.

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 [288, 290, 291] 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 [289]. Нормативы дополнительного времени для отдельных профессий работников вагонноборочных участков представлены в табл. 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 <sub>пз</sub>	Время на подготовительно-заключительные операции	6,50	7,65	4,37
T <sub>об</sub>	Время на обслуживание рабочего места	1,61	4,91	1,84
T <sub>пр</sub>	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 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 [293], правила ремонта [44, 45, 63], 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.

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.

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	72	118,90	101,17	297,66	20,08	77,93	119,40
2	412,70	50,25	358,98	31,56	226,59	115,90	73	140,02	92,90	287,20	5,00	18,69	115,50
3	218,76	17,61	600,62	115,86	32,34	127,50	74	102,15	104,54	263,90	123,61	45,07	126,70
4	259,82	30,66	345,14	5,00	36,48	122,30	75	440,70	45,29	256,30	10,17	64,34	121,90
5	189,04	3,69	364,16	463,71	66,84	118,80	76	114,40	193,58	251,86	392,65	79,22	118,50
6	291,32	26,13	292,98	8,16	168,93	114,40	77	225,02	30,22	342,53	19,18	78,57	113,80
7	404,80	5,52	444,76	5,00	166,74	125,50	78	464,43	38,14	261,20	6,39	74,09	125,00
8	215,26	20,76	405,28	602,91	48,60	121,30	79	469,02	33,65	254,80	13,42	46,18	121,00
9	310,52	73,20	403,30	5,00	55,44	117,90	80	489,54	46,04	292,76	6,39	103,49	117,50
10	267,13	85,29	346,60	502,59	29,28	112,10	81	445,33	31,57	238,20	5,00	62,99	110,70
11	233,90	20,25	259,80	526,44	12,03	124,10	82	529,32	48,98	384,90	12,72	69,56	123,70
12	231,01	8,88	331,22	12,30	439,59	120,40	83	470,45	48,23	253,30	4,29	150,40	120,10

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
13	246,08	54,60	407,62	5,00	20,25	116,80	84	460,34	37,10	247,40	2,81	49,59	116,40
14	286,70	3,21	270,10	487,32	61,59	130,60	85	464,59	42,19	267,20	2,53	32,03	128,80
15	283,08	14,19	743,92	159,24	109,17	123,00	86	142,34	93,72	288,26	260,43	60,03	122,70
16	379,12	47,91	307,84	1,80	109,44	119,50	87	496,72	44,45	268,41	8,65	52,27	119,20
17	288,64	10,80	606,60	7,59	211,71	115,60	88	366,51	41,52	245,30	42,23	61,49	115,10
18	241,16	20,13	264,20	3,37	0,99	126,90	89	398,67	40,97	263,10	22,88	0,99	126,20
19	108,46	53,35	256,40	5,00	2,26	122,00	90	181,39	12,33	255,90	4,68	26,62	121,70
20	148,22	54,27	331,41	17,14	5,50	118,60	91	448,38	30,71	250,40	16,16	94,90	118,30
21	130,74	42,88	243,50	33,45	0,99	113,90	92	86,60	162,23	353,49	5,00	5,91	113,20
22	177,71	58,75	292,50	2,22	0,99	125,10	93	441,63	25,28	260,60	16,16	58,87	124,60
23	82,81	8,37	254,90	6,65	9,12	121,10	94	404,59	40,13	287,51	55,66	37,20	120,80
24	147,46	12,86	249,30	19,90	5,53	117,60	95	448,08	40,58	248,80	2,70	76,33	117,20
25	200,70	9,42	261,88	5,04	154,17	111,00	96	374,55	81,93	234,60	35,42	72,61	108,40

№ ш/п	Номер позиции						№ ш/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
26	56,47	155,62	451,43	5,00	11,93	123,80	97	85,27	154,09	379,51	5,00	58,31	123,40
27	145,66	44,44	253,40	3,67	0,99	120,20	98	489,07	36,75	369,47	20,38	52,87	119,90
28	120,32	139,25	247,60	27,07	84,68	116,50	99	481,08	50,39	334,25	5,00	57,58	116,10
29	220,78	93,53	404,03	5,00	16,57	129,00	100	198,51	91,28	347,15	10,14	52,55	127,90
30	163,64	32,29	257,50	5,00	73,40	122,70	101	482,83	22,14	257,00	24,85	96,40	122,40
31	195,68	54,94	359,88	5,00	14,44	119,30	102	456,80	10,48	251,50	10,79	103,12	118,90
32	199,72	70,51	391,42	5,00	4,31	115,20	103	160,45	174,99	289,59	408,94	219,85	114,60
33	196,05	42,57	263,30	73,01	39,58	126,30	104	229,41	31,99	336,80	5,00	262,77	125,70
34	198,62	54,00	256,00	5,00	114,45	121,80	105	221,23	37,25	330,04	1,00	315,40	121,40
35	191,18	78,52	937,44	13,69	14,13	118,30	106	459,51	27,40	250,00	10,19	75,63	118,00
36	123,54	145,19	242,60	90,32	19,32	113,40	107	473,68	38,64	289,77	12,76	91,70	112,50
37	218,54	61,10	260,80	10,69	49,88	124,70	108	419,18	32,82	265,75	7,63	80,43	124,30
38	157,74	214,74	487,22	5,00	121,56	120,80	109	444,15	5,00	254,00	14,25	90,38	120,50

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
39	142,36	98,71	272,92	5,00	83,25	117,30	110	272,03	5,21	248,30	5,00	39,48	116,90
40	387,02	40,13	235,90	0,94	14,79	109,20	111	113,57	160,04	272,00	271,02	40,79	131,80
41	417,23	23,17	258,80	5,00	147,70	123,50	112	111,85	130,60	272,15	331,83	212,17	123,10
42	519,22	50,33	370,03	5,00	190,07	119,90	113	464,87	70,57	252,60	25,95	105,62	119,60
43	273,32	185,81	370,95	383,75	59,76	116,20	114	480,74	64,14	246,30	20,16	144,27	115,70
44	418,70	19,79	266,10	5,00	158,29	128,10	115	389,84	109,29	307,08	211,65	9,74	127,20
45	522,59	38,25	284,60	5,00	181,37	122,50	116	125,21	156,41	256,60	348,85	8,19	122,10
46	256,20	2,11	322,04	5,04	181,26	119,00	117	325,82	122,79	340,40	79,83	9,36	118,70
47	216,32	23,95	395,09	5,00	124,45	114,80	118	342,31	116,46	243,80	228,78	10,34	114,20
48	324,52	44,90	262,50	40,23	32,15	125,80	119	295,58	104,15	288,34	221,73	31,17	125,30
49	211,08	67,37	255,60	5,00	14,99	121,50	120	127,12	129,96	255,10	294,03	32,30	121,20
50	196,30	159,01	343,06	49,45	21,99	118,10	121	201,87	161,70	249,50	370,97	26,49	117,70
51	121,44	23,84	241,50	5,00	4,85	112,70	122	178,91	42,24	425,57	4,27	59,40	111,60

№ 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
52	204,48	62,44	260,20	5,00	84,72	124,40	123	150,65	135,22	259,50	317,59	33,43	124,00
53	189,10	62,34	254,10	5,00	76,97	120,60	124	367,83	49,86	277,01	19,00	41,57	120,30
54	205,73	70,13	295,50	19,79	71,63	117,00	125	198,87	140,23	388,86	306,62	44,95	116,60
55	124,61	84,00	357,17	5,00	64,40	133,00	126	147,69	120,15	302,01	248,24	31,21	129,60
56	236,44	100,88	372,26	4,69	32,13	123,20	127	355,68	172,31	291,99	270,22	22,28	122,90
57	66,16	218,87	252,70	5,00	15,42	119,70	128	348,32	87,15	252,20	125,78	23,74	119,40
58	99,97	74,62	246,50	8,84	23,36	115,80	129	135,64	143,43	245,70	358,28	6,46	115,40
59	153,27	43,40	264,90	36,26	16,81	127,30	130	168,71	203,00	263,70	381,34	6,15	126,60
60	176,13	141,64	260,85	264,76	71,95	122,20	131	315,64	57,04	256,20	6,76	30,02	121,90
61	97,55	73,20	251,20	131,23	18,19	118,80	132	168,15	146,84	250,70	280,06	15,98	118,40
62	181,47	119,32	244,10	70,65	12,05	114,30	133	393,19	36,81	291,94	3,60	33,23	113,60
63	140,23	30,59	261,80	6,61	31,57	125,40	134	358,03	64,83	235,13	38,92	24,16	124,90
64	123,04	146,58	255,20	5,00	37,30	121,30	135	380,33	50,76	361,94	16,02	45,10	120,90

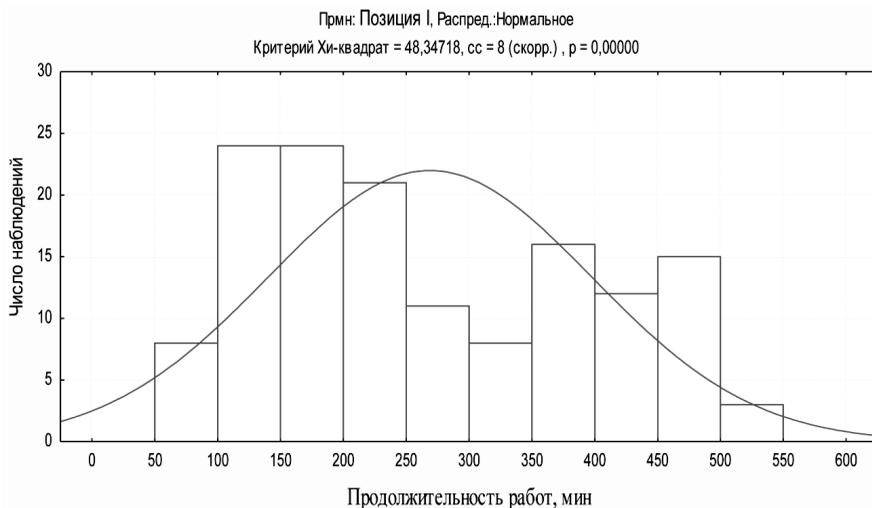
Окончание табл. 5.2

№ 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
65	249,93	43,33	249,60	20,91	88,24	117,80	136	360,71	43,13	278,90	15,37	36,88	117,40
66	163,60	43,76	240,10	2,87	34,54	111,80	137	338,98	31,21	264,54	83,65	27,24	110,20
67	268,85	88,29	259,70	3,07	12,80	124,10	138	382,30	41,19	371,46	5,00	34,74	123,70
68	191,84	61,53	253,70	19,79	5,14	120,30	139	214,80	102,14	253,20	140,27	24,17	120,00
69	307,75	25,66	247,90	5,00	26,83	116,70	140	352,68	44,13	331,63	5,00	38,63	116,30
70	97,23	81,42	343,10	5,00	44,34	130,10	141	353,68	48,65	279,57	15,71	67,10	128,50
71	121,60	43,52	257,90	5,00	70,97	122,90	142	362,18	43,29	356,51	3,06	26,56	122,60

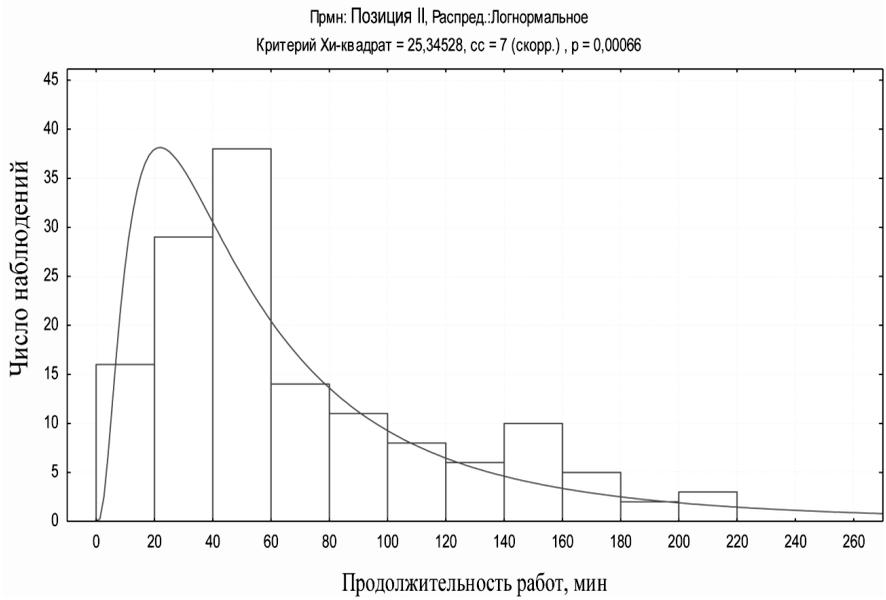
## § 5.4. Гистограммы и плотности законов распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на отдельных позициях потока

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 главе 2 для анализа различных видов работ. С целью повышения скорости вычислений и точности при обработке статистического материала была использована программа STATISTICA.

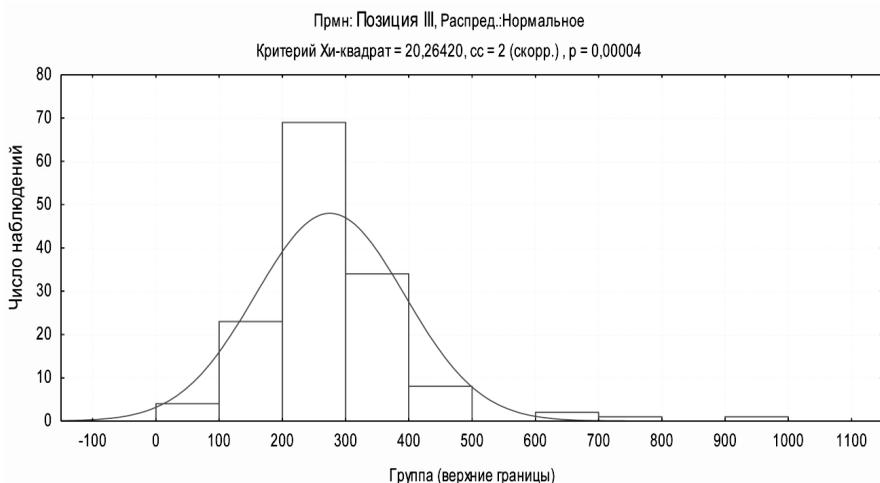
На рис. 5.3–5.8 представлены гистограммы и кривые плотности распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на позициях проектируемого потока.



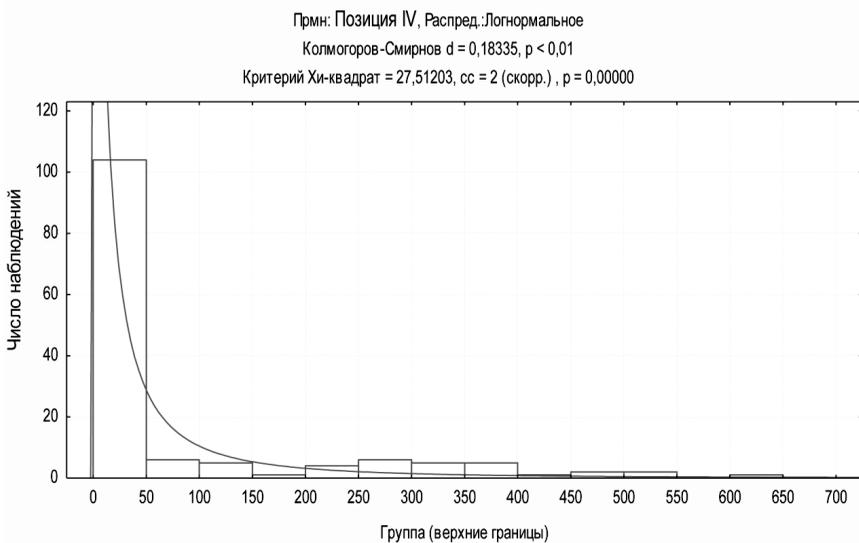
**Рис. 5.1.** Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на I позиции потока



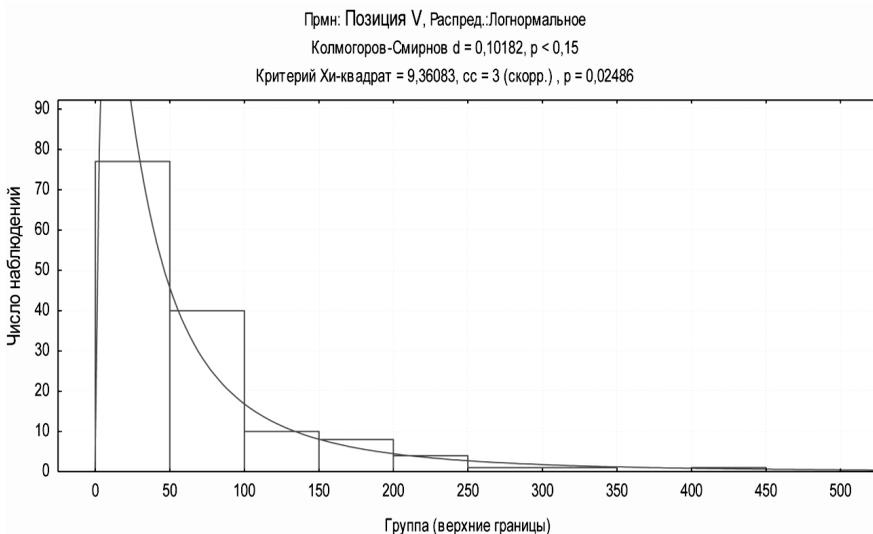
**Рис. 5.2.** Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на II позиции потока



**Рис. 5.3.** Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на III позиции потока



**Рис. 5.4.** Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на IV позиции потока



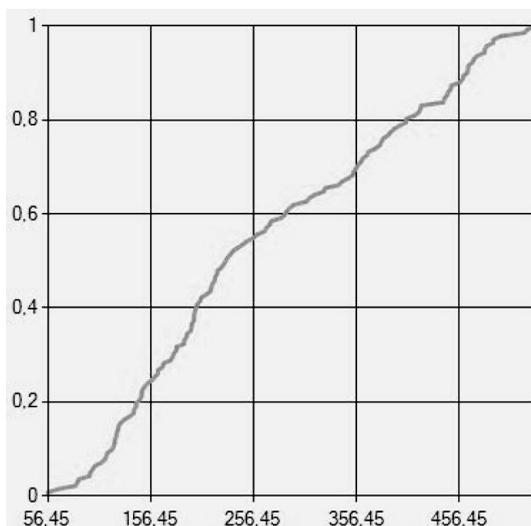
**Рис. 5.5.** Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на V позиции потока



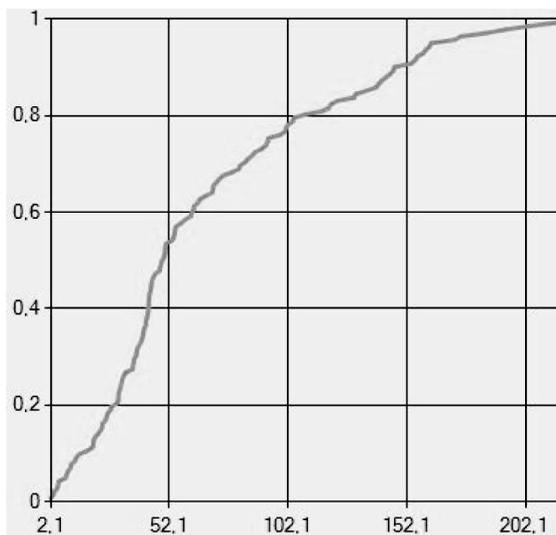
**Рис. 5.6.** Гистограмма и кривая плотности распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на VI позиции потока

### § 5.5. Способ получения случайных значений времени выполнения ремонтных работ на позициях потока на основании собранных статистических данных

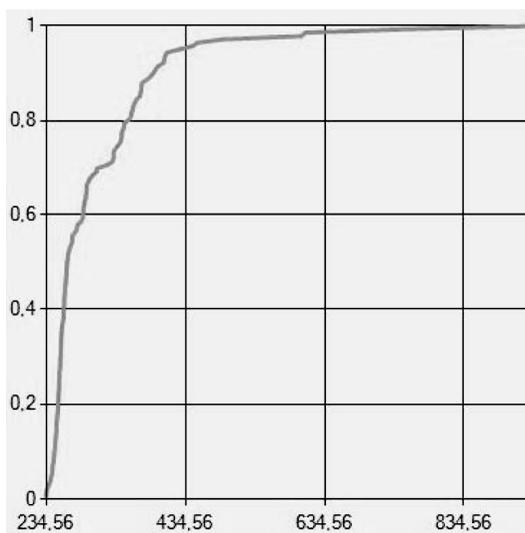
Учитывая, что фактические законы распределения времени выполнения работ на позициях носят сложный характер и не все могут быть точно аппроксимированы через известные законы для дальнейшего применения воспользуемся интегральной функцией распределения. На рис. 5.7–5.12 представлены интегральные функции распределения случайных величин времени выполнения ремонтных работ на I-VI позициях потока.



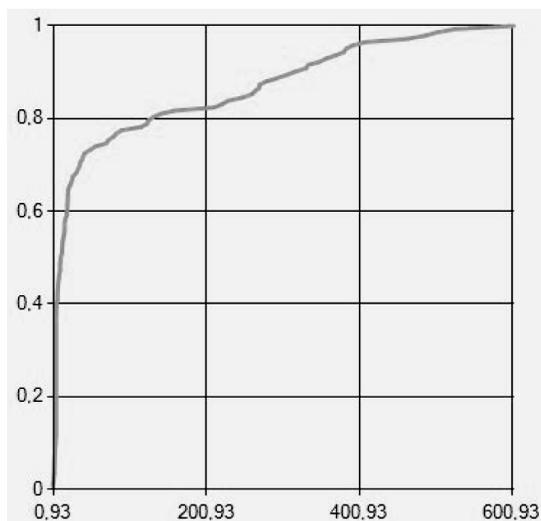
**Рис. 5.7.** Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на I позиции потока



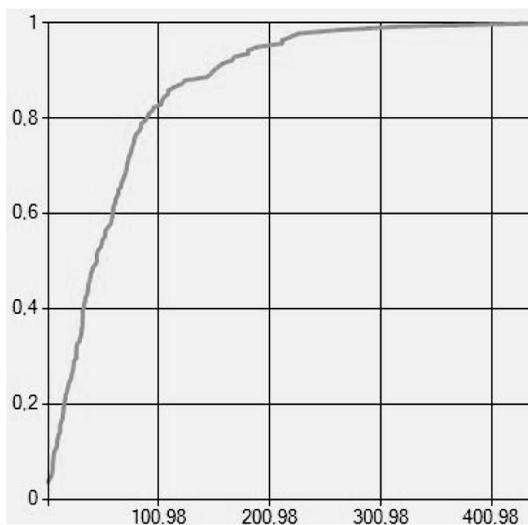
**Рис. 5.8.** Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на II позиции потока



**Рис. 5.9.** Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на III позиции потока

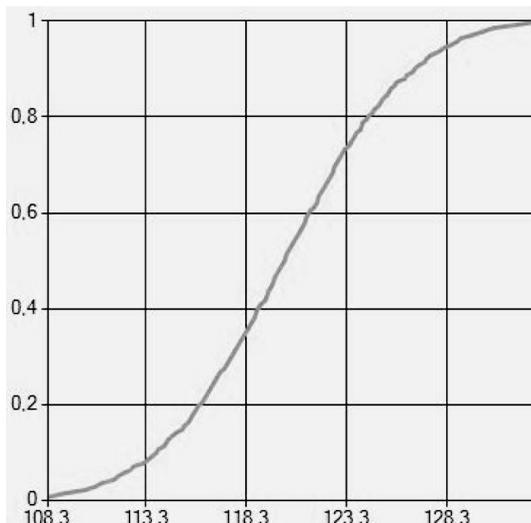


**Рис. 5.10.** Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на IV позиции потока



**Рис. 5.11.** Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на V 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.



**Рис. 5.12.** Интегральная функция распределения случайной величины времени выполнения ремонтных работ на VI позиции потока

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.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКИХ  
ПОТОКОВ РЕМОНТА ВАГОНОВ ПРИ ПОМОЩИ  
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

---

**§ 6.1. Имитационное моделирование как метод изучения перспективных технологических процессов и получения нового знания**

Учитывая, 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 возникновением 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.

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.

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 [115].

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. Таким образом, вагон с любого модуля  $j$ -ой позиции может попасть на любой освободившийся модуль следующей  $(j+1)$ -ой позиции.

В процессе перемещения вагонов между отдельными позициями потока в результате воздействия случайных факторов могут возникать различные неподвижные ситуации, которые негативно

сказываются на ходе производственного процесса. 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 [42, 43].

При моделировании мультифазных систем массового обслуживания существует два способа их реализации: в квазирегулярном и вероятностном исполнении [115].

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 [178].

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. главу 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  $n_j$ ,  $j=1, 2, \dots, m$ .

Исходя из того, что, в процессе движения вагонов через все позиции гибкого потока, возможны «обгоны» между ними и вагон, поступивший в ремонт позже ранее поступивших вагонов, может из ремонта выйти значительно раньше. Поэтому 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 очерёдности в ту или иную сторону. Таким образом, находясь в общем потоке, каждый вагон простаивает в ремонте столько времени, сколько требуется для его ремонта. Кроме того, определяется среднее время пребывания вагонов в ремонте и среднеквадратическое 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  $j$ -ую позицию;

$t_{ij}^H$  – момент времени начала ремонта  $i$ -го вагона на  $j$ -ой позиции;

$t_{ij}^K$  – момент времени окончания ремонта  $i$ -го вагона на  $j$ -ой позиции;

$t_{ij}^O$  – момент времени освобождения  $i$ -ым вагоном  $j$ -ой позиции.

Как только будет освобождён любой из модулей первой позиции, в него сразу же поступает очередной вагон из очереди. Что касается остальных позиций, то для приёма очередного вагона будет использоваться тот модуль позиции, который освободится раньше остальных.

Кроме того, 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 съемом 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  $\tau_{\text{тр}}$ .

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 заимствовано из классической работы [43]:

$\Pi$  – оператор ввода-вывода информации;

$A$  – вычислительный оператор;

$P$  – логический оператор;

$\Phi$  – 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 в целом и его основных операторов.

Оператор  $\Pi_1$  – осуществляет ввод необходимой исходной информации. В качестве исходных данных выступают следующие параметры:

$T_m$  – интервал времени моделирования (равен годовому фонду рабочего времени потока), ч;

$m$  – общее количество ремонтных позиций на потоке;

$n_j$  – количество ремонтных модулей на каждой  $j$ -ой позиции,  $j=1, 2, \dots, m$ ;

$f(\sigma_j)$  – законы распределения времени выполнения ремонтных работ по каждой  $j$ -ой позиции,  $j=1, 2, \dots, m$ ;

$\tau_{тр}$  – время перемещения вагонов между ремонтными позициями, мин.

$T_n$  – 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

$$i = i + 1.$$

Оператор  $F_3$  – нумерует вагоны, поступившие в ремонт (заносят их в реестр).

Оператор  $H_4$  – обнуляет значение числа позиций  $j=0$ .

Оператор  $A_5$  – осуществляет переход к моделированию следующей ремонтной позиции

$$j = j + 1.$$

Оператор  $\Phi_6$  – формирует случайное время перемещения вагона между ремонтными позициями  $\tau_{тр}$ .

Оператор  $P_7$  – сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на  $(j-1)$ -ой позиции с моментом освобождения  $j$ -ой позиции

$$t_{(j-1),м}^{\kappa} \geq t_j^o,$$

если это условие выполняется, то оператор  $A_8$  вычисляет время начала ремонта вагона на  $j$ -ой позиций следующим образом

$$t_j^h = t_{(j-1),м}^{\kappa} + \tau_{тр},$$

в противном случае оператор  $A_9$  осуществляет следующий расчёт

$$t_j^h = t_j^o + \tau_{тр}.$$

$\Phi_{10}$  – формирует величину времени выполнения ремонтных работ на  $j$ -ой позиции  $\sigma_j$

Оператор  $A_{11}$  – определяет момент времени окончания ремонта вагона на  $j$ -ой позиции

$$t_j^{\kappa} = t_j^h + \sigma_j.$$

Оператор  $F_{12}$  – производит расчёт минимального времени окончания ремонта вагона на  $j$ -ой позиции

$$t_{j,м}^{\kappa} = \min_n \{ t_{jn}^{\kappa} \}, n=1,2,\dots,n_j.$$

Оператор  $P_{13}$  – сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на  $j$ -ой позиции с моментом освобождения любого модуля  $(j+1)$ -ой позиции

$$t_{j,м}^{\kappa} \geq t_{j+1}^o,$$

если это условие выполняется, то оператор  $A_{14}$  вычисляет время освобождения  $j$ -ой позиций следующим образом

$$t_j^o = t_{j,м}^{\kappa},$$

в противном случае оператор  $A_{15}$  осуществляет следующий расчёт

$$t_j^o = t_{j+1}^o,$$

Оператор  $F_{16}$  – производит расчёт минимального момента освобождения модуля на  $j$ -ой позиции

$$t_j^o = \min_n \{ t_{nj}^o \}, n=1, 2, \dots, n_j.$$

Оператор  $F_{17}$  — определяет номер модуля с минимальным временем освобождения

$$n = n \sim t_{nj}^o.$$

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  $t_{i1}^H$ .

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  $j$ -ой позиции

$$\tau_{ij} = t_{ij}^o - t_{ij}^H.$$

Оператор  $A_{25}$  — определяет момент времени окончания ремонта вагона на  $j$ -ой позиции

$$t_{ij}^K = t_{ij}^H + \sigma_j$$

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

$$T_i = t_{im}^o - t_{i1}^H;$$

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

$$T_{cp} = \sum_i T_i / i.$$

Оператор  $A_{36}$  – определяет величину среднего такта потока

$$\tau_{cp} = T_{cp} / m.$$

Оператор  $A_{37}$  – также определяет величину среднего такта потока, но иным образом

$$\tau_{cp} = T_M / i.$$

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  $\Pi_{39}$  – осуществляет вывод необходимой информации на печать.

Оператор  $\Upsilon_{40}$  – 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  $\xi_i$ , равномерно распределённые в интервале от 0 до 1. Будем условно считать, что если случайно сгенерированное число  $\xi_i$  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  $\xi_i$  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.

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 си-

стема ремонта организована таким образом, что вагоны в очереди есть всегда. Имеется  $z$  групп ремонтируемых вагонов. Для каждой  $a$ -ой группы вагонов для каждой  $j$ -ой позиции задаются законы распределения времени выполнения ремонтных работ  $\tau_{aj}, j=1, 2, \dots, m; a=1, 2, \dots, z$ .

В начальный момент времени все модули потока являются свободными. Как только будет освобождён любой из модулей первой позиции, в него сразу же поступает очередной вагон из очереди. Что касается других позиций, то для приёма очередного вагона будет использоваться тот модуль, который освободился раньше остальных.

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.

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 ситуаций, что требует разработки специального моделирующего алгоритма.

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 параграфе, поэтому мы их повторять не будем. Остановимся только на дополнительных операциях, которые используются в данном алгоритме.

Опишем кратко 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.

Оператор  $\Pi_1$  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  $j$ -ой 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 по ремонту  $a$ -ой группы вагонов,  $a=1, 2, \dots, z$ ;

$f(\tau_{aj})$  – законы распределения времени выполнения ремонтных работ для каждой  $a$ -ой группы вагонов по каждой  $j$ -ой позиции,  $a=1, 2, \dots, z; j=1, 2, \dots, m$ ;

$\varphi(\tau_{тр.})$  – закон распределения времени перемещения вагонов между ремонтными позициями (либо статистические данные);

$\tau_a^H$  – нормативное время пребывания в ремонте вагонов  $a$ -ой 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

$$N_{\epsilon} = \sum_{a=1}^z N_a .$$

Оператор  $A_3$  осуществляет переход к следующей группе вагонов

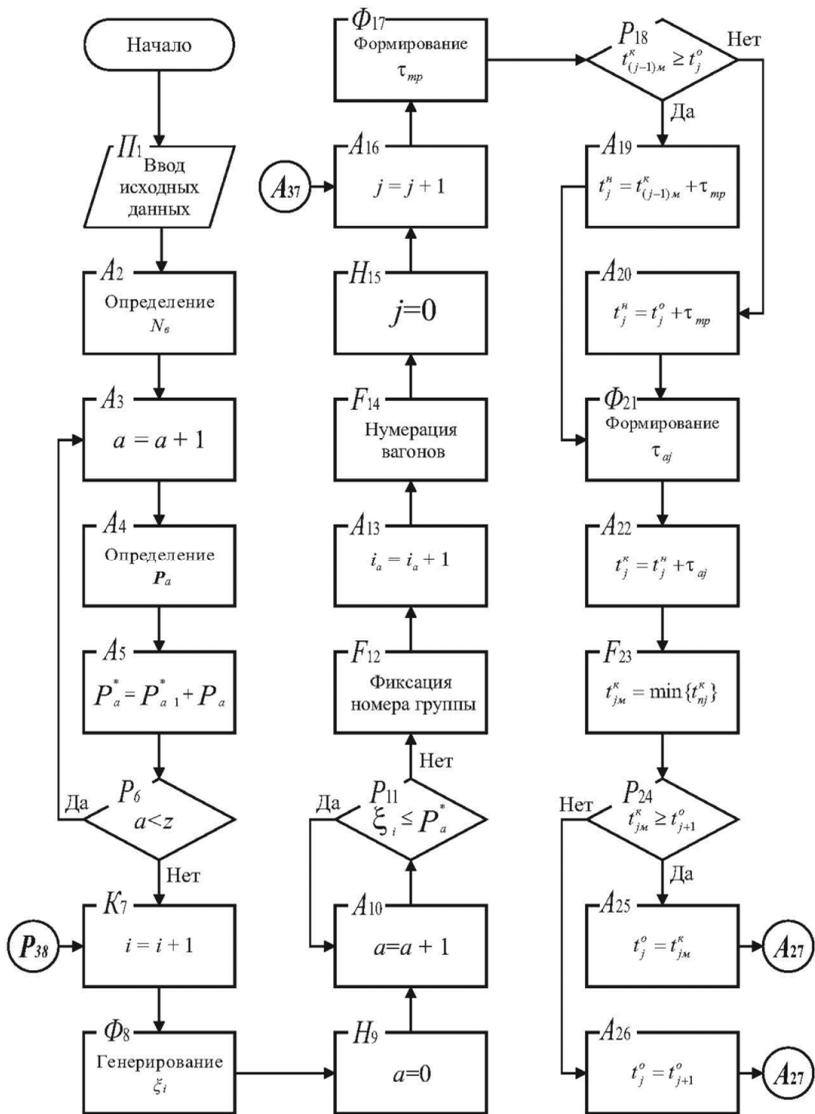
$$a = a + 1 .$$

Оператор  $A_4$  определяет вероятность поступления в ремонт вагонов  $a$ -ой группы

$$P_a = N_a / N_{\epsilon} .$$

Оператор  $A_5$  рассчитывает верхнюю границу интервала, соответствующего вероятности поступления вагонов из  $a$ -й группы

$$P_a^* = P_{a-1}^* + P_a .$$



**Рис. 6.1.** (Начало) Укрупнённая блок-схема алгоритма имитационного моделирования работы мультифазного поликанального многопредметного асинхронного гибкого потока ремонта вагонов

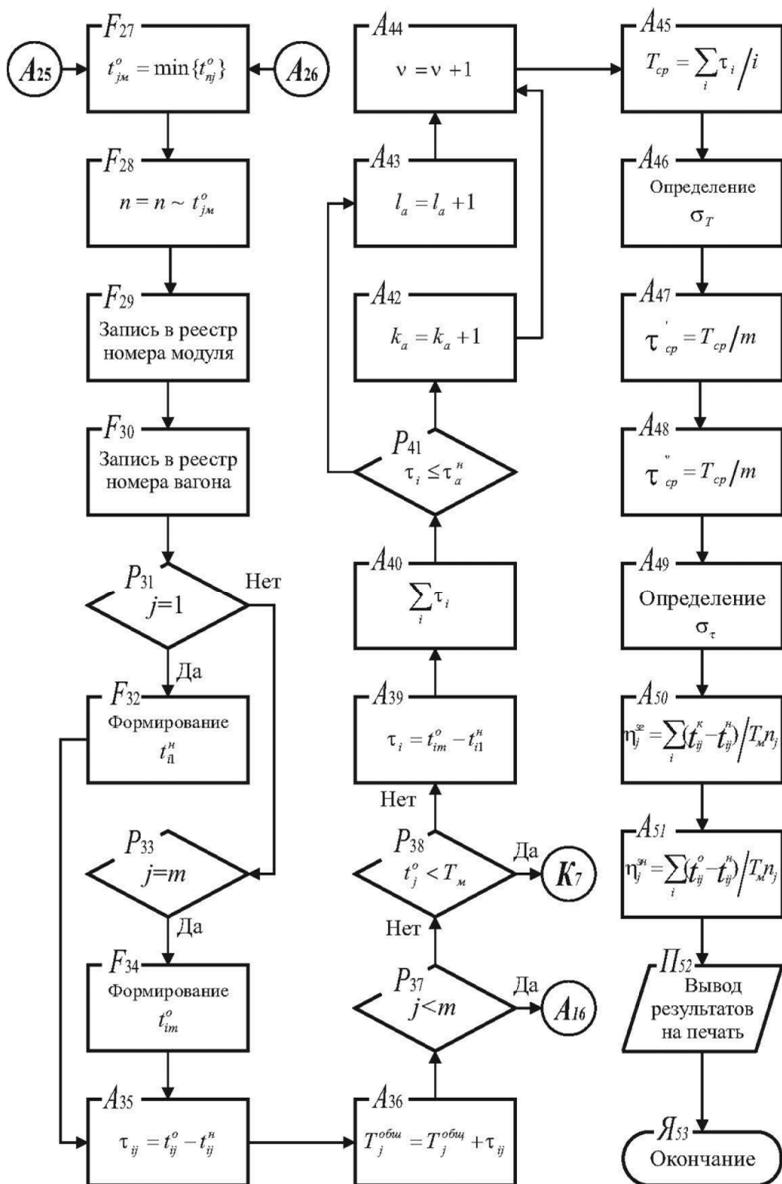


Рис. 6.1. (окончание)

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  $\Phi_8$  генерирует случайное число  $\xi_i$ , 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  $\xi_i$  со значением верхней границы интервала, соответствующего вероятности поступления в ремонт вагона из  $a$ -ой 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  $a$ -ой группы

$$i_a = i_a + 1.$$

Оператор  $F_{14}$  нумерует вагоны, поступившие в ремонт (заносит 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  $\Phi_{17}$  формирует случайное время перемещения вагона между ремонтными позициями  $\tau_{mp}$ .

Оператор  $P_{18}$  сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на  $(j-1)$ -ой позиции с моментом освобождения  $j$ -ой позиции

$$t_{(j-1).м}^k \geq t_j^o,$$

если это условие выполняется, то оператор  $A_{19}$  вычисляет время начала ремонта вагона на  $j$ -й позиций следующим образом

$$t_j^h = t_{(j-1).м}^k + \tau_{mp},$$

в противном случае оператор  $A_{20}$  осуществляет следующее действие

$$t_j^h = t_j^o + \tau_{mp}.$$

Оператор  $\Phi_{21}$  формирует величину времени выполнения ремонтных работ на  $j$ -ой позиции, согласно группе принадлежности вагона  $\tau_{aj}$ .

Оператор  $A_{22}$  определяет момент времени окончания ремонта этого вагона на  $j$ -ой позиции

$$t_j^k = t_j^h + \tau_{aj}.$$

Оператор  $F_{23}$  производит расчёт очередного минимального времени окончания ремонта одного из вагонов на  $j$ -ой позиции

$$t_{jм}^k = \min \{t_{nj}^k\}, n = 1, 2, \dots, n_j.$$

Оператор  $P_{24}$  сравнивает минимальный момент окончания ремонта вагона на  $j$ -ой позиции с очередным моментом освобождения одного из модулей  $(j+1)$ -ой позиции

$$t_{jм}^k \geq t_{j+1}^o,$$

если это условие выполняется, то оператор  $A_{25}$  вычисляет время освобождения  $j$ -ой позиции от вагона следующим образом

$$t_j^o = t_{jм}^k,$$

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  $j$ -ой позиции

$$t_{jm}^o = \min \{t_{nj}^o\}, n = 1, 2, \dots, n_j.$$

Оператор  $F_{28}$  определяет номер модуля  $j$ -ой позиции с минимальным временем освобождения

$$n = n \sim t_{jm}^o.$$

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  $t_{i1}^i$ .

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  $j$ -ой позиции

$$\tau_{ij} = t_{ij}^o - t_{ij}^H.$$

Оператор  $A_{36}$  определяет общее время простоев  $i$ -го количества вагонов в ремонте на  $j$ -ой позиции

$$T_j^{оби} = T_j^{оби} + \tau_{ij}.$$

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

$$\tau_i = t_{im}^o - t_{i1}^H.$$

Оператор  $A_{40}$  суммирует эти значения  $\sum_i \tau_i$ .

Оператор  $P_{41}$  проверяет, не было ли превышено нормативное время пребывания вагона  $a$ -ой 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  $a$ -ой 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

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^v \tau_i / v.$$

Оператор  $A_{46}$  определяет среднеквадратическое отклонение времени пребывания вагонов в ремонте  $\sigma_T$ .

Оператор  $A_{47}$  определяет величину среднего такта потока

$$\tau_{cp}' = T_{cp} / m.$$

Оператор  $A_{48}$  также определяет величину среднего такта потока

$$\tau_{cp}'' = T_m / i.$$

Оператор  $A_{49}$  определяет среднеквадратическое отклонение такта потока  $\sigma_\tau$ .

Оператор  $A_{50}$  определяет коэффициент загрузки каждой ремонтной позиции

$$\eta_j^{zap} = \sum_i (t_{ij}^k - t_{ij}^H) / T_m n_j.$$

Оператор  $A_{51}$  определяет коэффициент занятости каждой ремонтной позиции

$$\eta_j^{зан} = \sum_i (t_{ij}^o - t_{ij}^н) / T_{м} n_j .$$

Оператор  $\Pi_{52}$  осуществляет вывод необходимой информации на печать.

Оператор  $Я_{53}$  завершает процесс моделирования.

### **§ 6.5. Описание интерфейса компьютерной программы имитационного моделирования и расчёта основных показателей генерального вагоноремонтного потока**

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, на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна была разработана компьютерная программа «Имитационное моделирование работы технологического потока для ремонта вагонов», защищённая свидетельством об авторских правах [243]. Разработанная программа может быть использована для моделирования работы и определения показателей эффективности поточных производств ремонта вагонов 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.

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.

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.

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. 6.2).

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. 6.3).



**Рис. 6.2.** Вид основной панели интерфейса программы с изображением главного меню

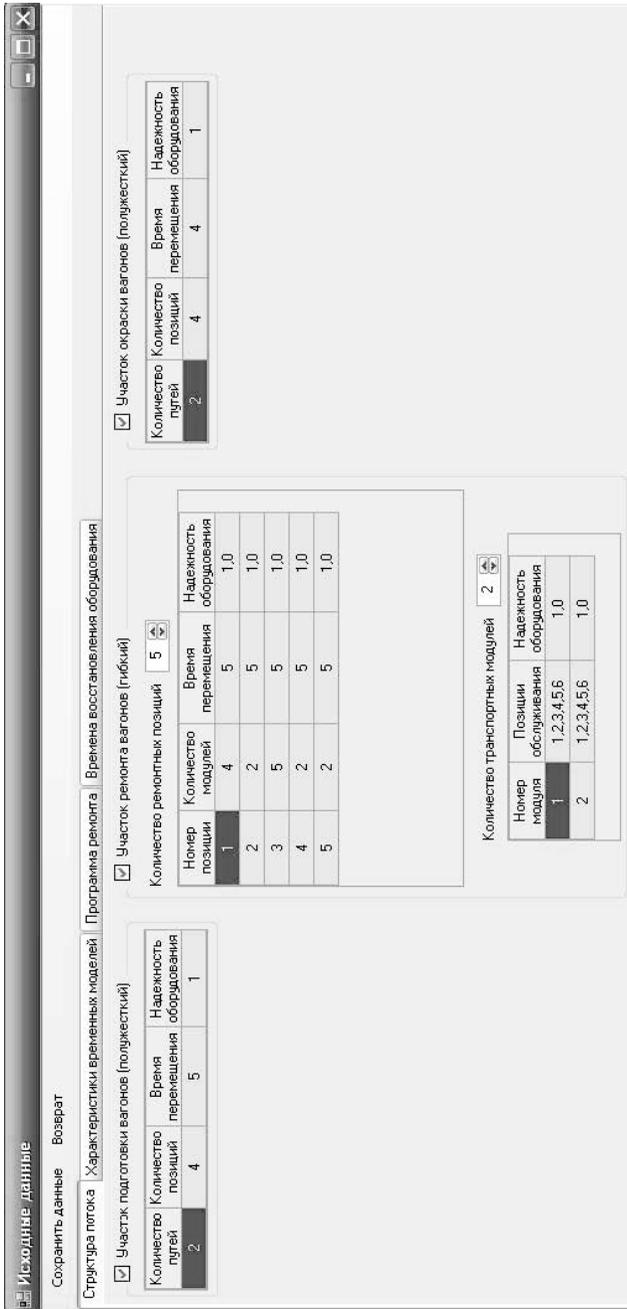
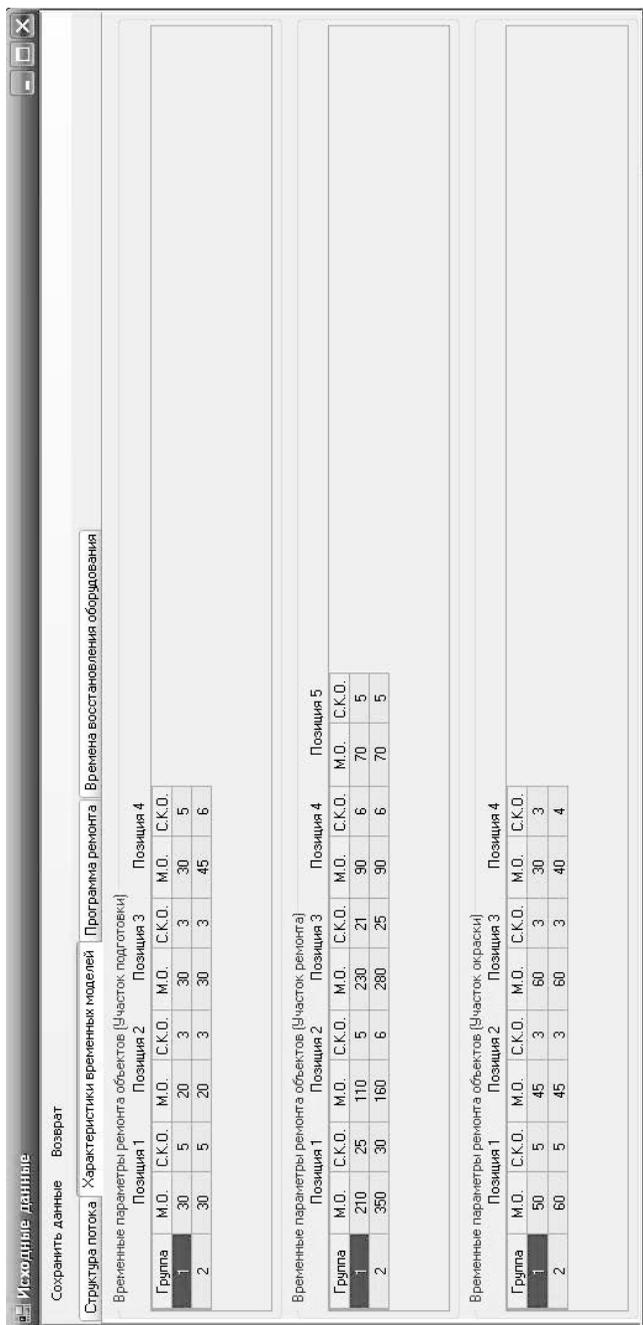


Рис. 6.3. Вид панели «Структура потока» из раздела «Исходные данные»

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. 6.4). 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.



**Рис. 6.4.** 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. 6.5). 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.

При открытии закладки «Времена восстановления оборудования» появляется панель, содержащая четыре таблицы. Каждая таблица соответствует либо одному из участков потока, либо трансбордерным тележкам (рис. 6.6). При помощи этих таблиц можно задавать время восстановления оборудования, в случае его поломки.

При нажатии на пункт меню «Сохранить данные», все введённые 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.

При нажатии на пункт меню «Начало моделирования», программа начинает работать.

При нажатии на пункт меню «Печать», происходит выдача результатов моделирования на бумажный носитель.

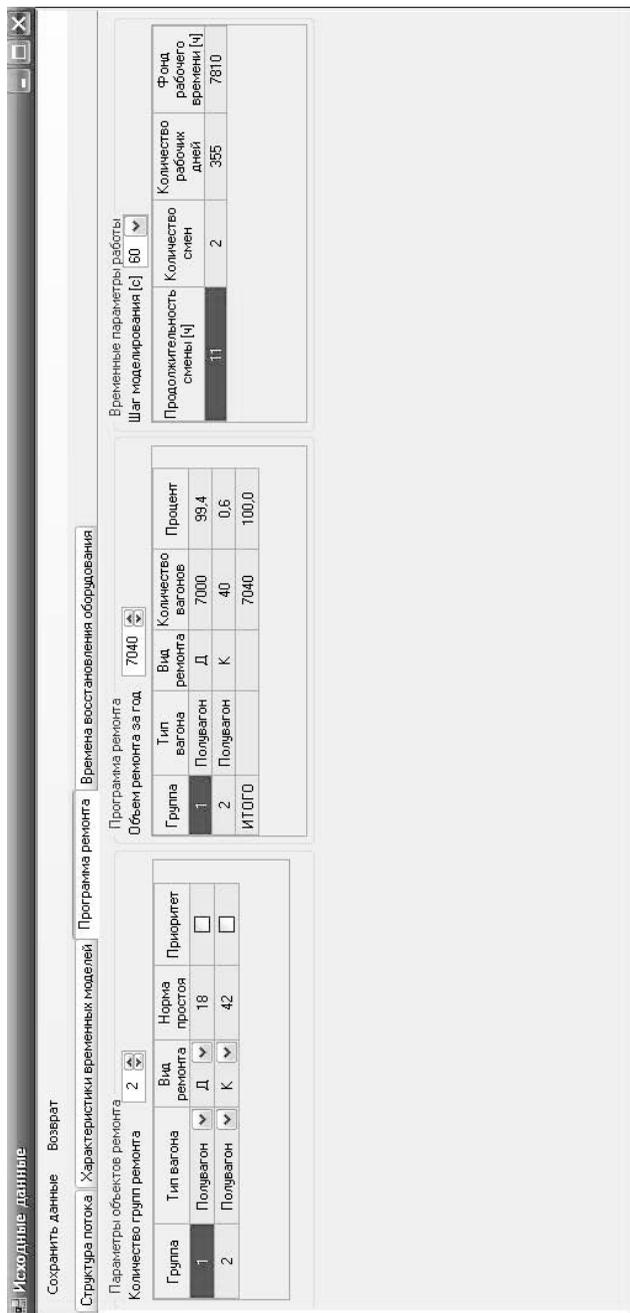


Рис. 6.5. Вид панели «Программа ремонта» из раздела «Исходные данные»

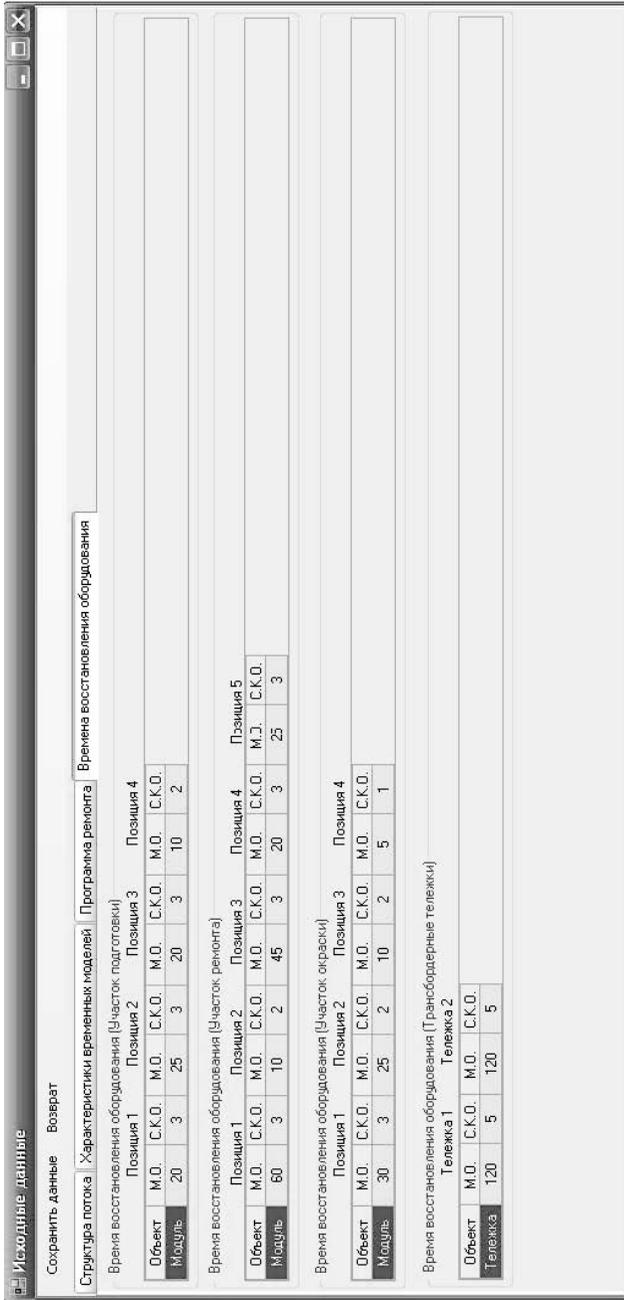


Рис. 6.6. Вид панели «Времена восстановления оборудования» из раздела «Исходные данные»

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. 6.7) 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.

Закладка «Программа ремонта» представлена двумя таблицами (рис. 6.8). 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.

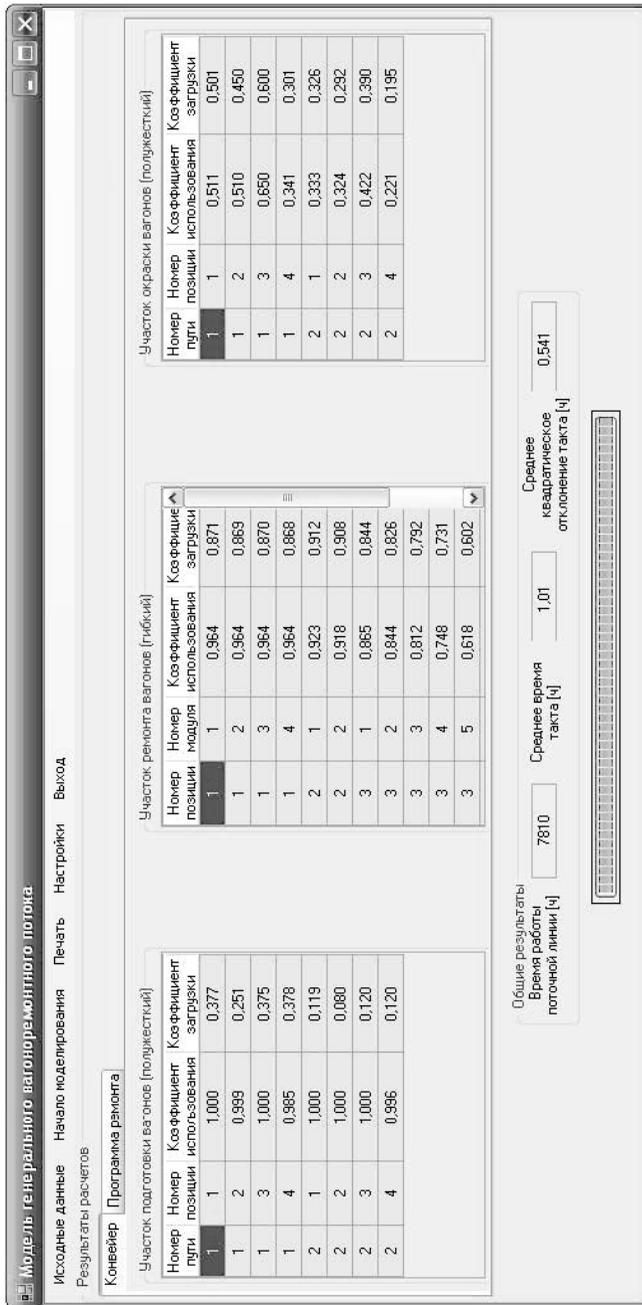


Рис. 6.7. Вид панели с результатами расчёта показателей работы позиций и модулей

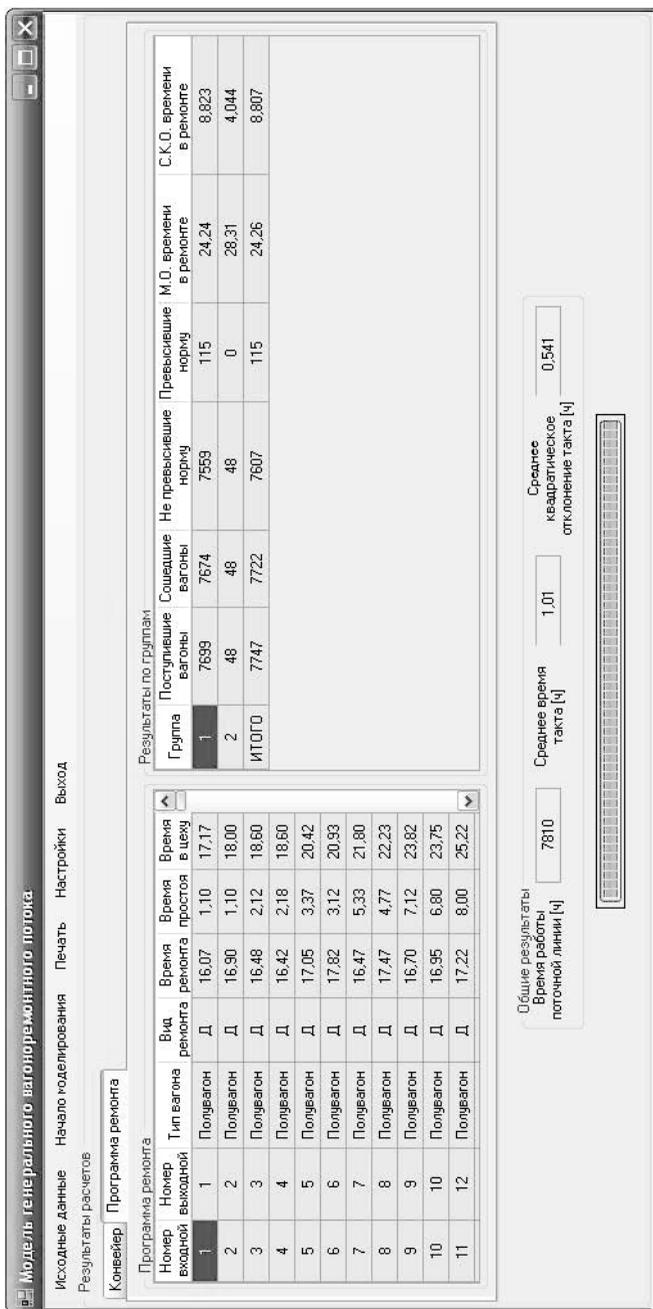


Рис. 6.8. Вид панели с результатами расчёта основных показателей работы потока

## **§ 6.6. Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких асинхронных потоков ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования**

Учитывая, 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 принят самый многочисленный тип грузовых вагонов – полувагон.

В результате имитационного моделирования на компьютере 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, необходи-

мые 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»,  $F_{\text{п}} = 7810$  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 вагонборочном 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 определяется возможность перемещения вагона на один из модулей следующей позиции. Математические ожидания и среднеквадратические отклонения времени выполнения работ на позициях представлены в табл. 6.2.

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 тех пор, пока снова не появится «узкое место», которое также будет сдерживать движение потока.

Таблица 6.2

**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

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.

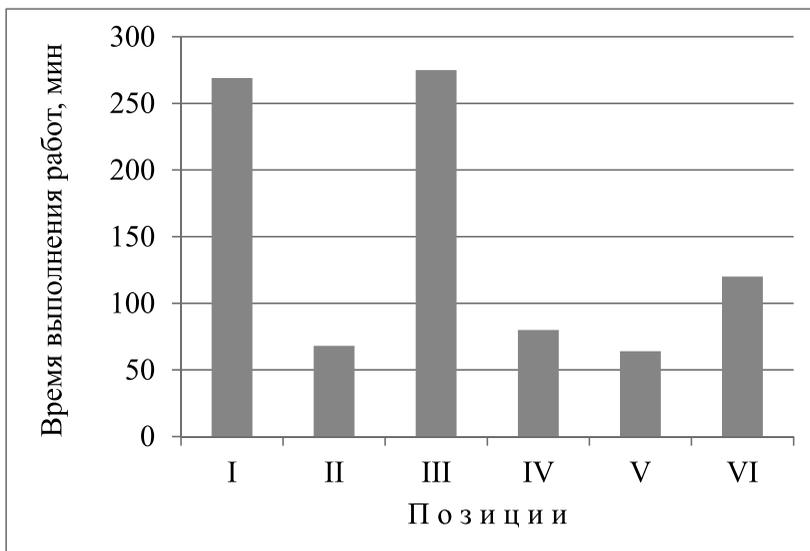
Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока представлены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

## Результаты моделирования различных структурных вариантов гибкого потока

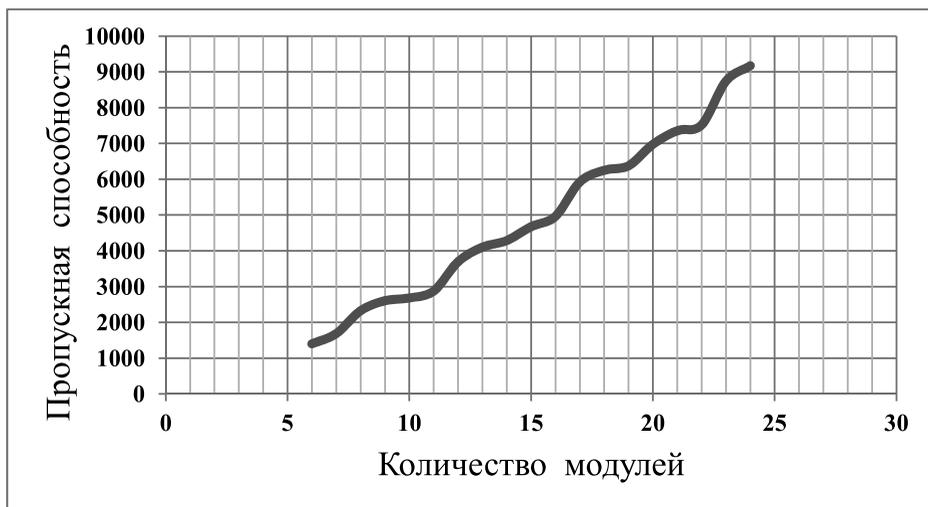
Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Количество модулей, $R$	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Пропускная способность, $N$	1398	1686	2325	2604	2682	2876	3694	4099	4286	4674	4965	5926	6249	6377	6975	7357	7518	8741	9172
Структурная гибкость, $\Psi$	1	2	4	6	9	18	36	48	60	80	160	320	384	480	720	840	1008	1512	2268
Съём вагонов с 1 модуля, $\theta$	233	241	291	290	268	261	308	315	306	312	310	349	347	336	349	350	342	380	382
Простой в ремонте, $T$ ч	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

На рис. 6.10 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью.



**Рис. 6.9.** Гистограмма среднего времени выполнения работ на позициях потока

Из рис. 6.10 и табл. 6.3–6.4 хорошо видно, что, с увеличением количества модулей на потоке на одну единицу, обязательно увеличивается и его пропускная способность. Но увеличение пропускной способности ещё не говорит о том, что в целом улучшается работа всего потока. Результаты моделирования различных структурных вариантов технологических потоков для ремонта вагонов свидетельствуют о том, что с увеличением количества модулей пропускная способность потока возрастает. Вместе с тем, она возрастает по-разному: в одних случаях – на незначительную величину, в других – весьма существенно. Всё зависит от того, какую роль играет данный модуль в этом структурном варианте.



**Рис. 6.10.** График зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его пропускной способностью

Наиболее комплексным показателем, характеризующим эффективность работы потока в целом, является съём вагонов с одного ремонтного модуля. Как можно видеть из табл. 6.2, с увеличением количества модулей этот показатель имеет тенденцию к увеличению.

Таблица 6.4

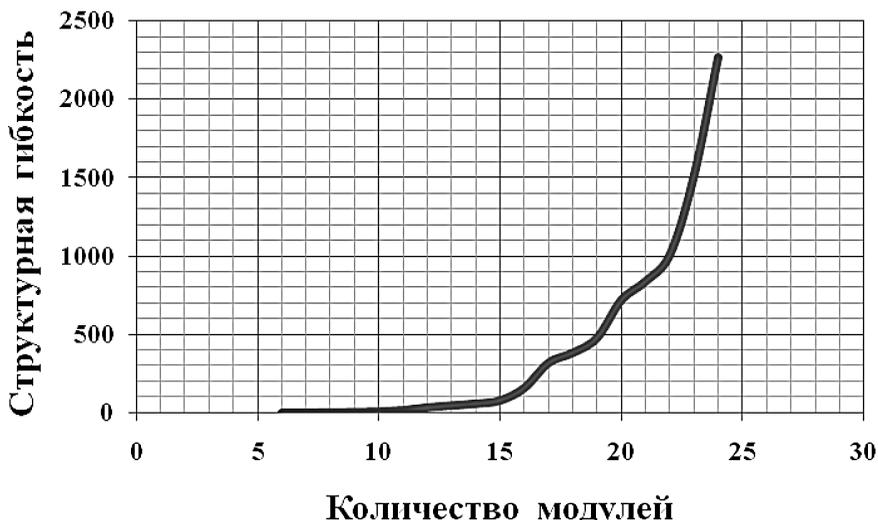
## Показатели роста пропускной способности потока в зависимости от количества модулей

№ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной способности потока по сравнению с предыдущим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базовым 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

Окончание табл. 6.4

№ п/п	Количество модулей на потоке	Пропускная способность потока	Рост пропускной способности потока по сравнению с предыдущим вариантом		Рост пропускной способности потока по сравнению с базовым вариантом	
			Вагоны	%	Вагоны	%
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

На рис. 6.11 представлен график зависимости между количеством ремонтных модулей на потоке и его структурной гибкостью.



**Рис. 6.11.** График зависимости между количеством модулей на потоке и его структурной гибкостью

Попробуем сравнить между собой структурные варианты разных типов потоков. Для точности эксперимента будем сопоставлять показатели работы только тех вариантов разных типов потоков, которые состоят из одинакового количества модулей. Варианты традиционных потоков будем рассматривать, как простую совокупность отдельных 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. 6.3), то можно предположить, что двенадцатимодульный поток (две «нитки» по шесть

модулей) будет иметь пропускную способность равную 2796 вагонов в год (1398 x 2) и так далее.

В табл. 6.5 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.

*Таблица 6.5*

**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

Таким образом, путём правильного распределения трудоёмко-стей работ между позициями и выбора необходимого количества модулей на позициях, можно добиться высоких технико-экономических показателей работы потока. При этом пропускные способности позиций должны быть примерно одинаковыми. Пропускная способность всего потока будет зависеть от пропускной способности самых загруженных позиций.

Выбор конкретного пути 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 путь перемещения, не совпадающий с путями перемещения остальных вагонов.

На рис. 6.12 в качестве примера представлен вариант структуры гибкого потока, состоящий из 24-х ремонтных модулей.

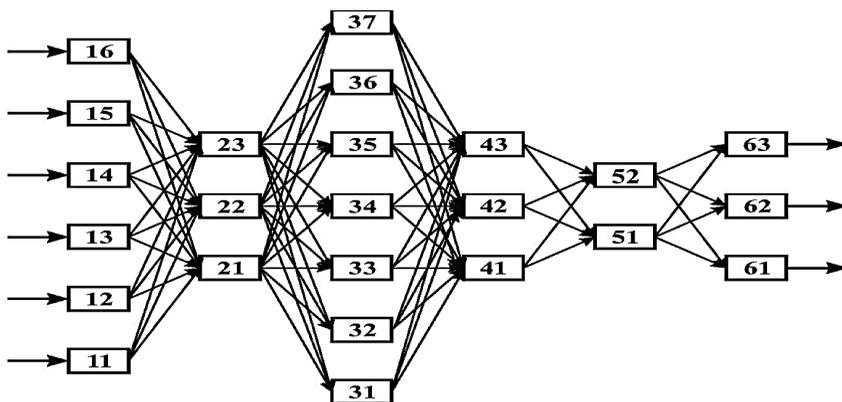


Рис. 6.12. Вариант структуры гибкого потока, состоящий из 24-ёх ремонтных модулей

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 определённый «простор», чтобы было где «развернуться», была бы возможность для манёвра. Целесообразная величина программы ремонта должна находиться в диапазоне от 6000 до 9000 вагонов в год.

Впервые с помощью имитационного моделирования были исследованы процессы функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов. Были выявлены закономерности, позволяющие установить связи между различными вариантами структур гибкого потока и их эксплуатационными показателями.

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.

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.

Таким образом, в лице имитационного моделирования представлен новый инструментарий, который ещё на стадии проектирования позволяет исследовать работу и оценить показатели будущего вагоноремонтного предприятия.

1. 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.

2. Более весомых технико-экономических показателей можно достичь за счёт использования гибких потоков для ремонта вагонов, обладающих значительной свободой в выборе пути перемещения вагонов, что делает их менее уязвимыми от действия случайных факторов, присущих вагоноремонтному производству.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение возможности ремонта в составе единого гибкого потока вагонов разных типов, а также выполнения разных видов ремонта.

4. Необходимо собрать статистическую базу данных о трудоёмкостях ремонта вагонов других типов, которая могла бы послужить информационной основой для исходных данных, используемых при моделировании многопредметных гибких вагоноремонтных потоков.

---

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ НА ОСНОВАНИИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ НАУЧНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ

---

### § 7.1. Факторы, влияющие на рост производительности труда

Среди факторов, влияющих на эффективность производства, одно из важнейших мест отводится росту производительности труда. Применительно к вагонному хозяйству это хорошо показано в работах [133, 208, 308].

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 произ-

водительности 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 конструктивных 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 про-

стоев 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.

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 материалоёмкости 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 [86], 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:

$$ПТ = \frac{\text{Объём продукции}}{\text{Затраты живого труда}},$$

$$ПТ = \frac{\text{Объём продукции}}{\text{Затраты основного капитала}},$$

$$ПТ = \frac{\text{Объём продукции}}{\text{Текущие материальные затраты}}$$

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 60-65 % больше 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 строительства новых вагоноремонтных предприятий, использующих гибкий асинхронный поток ремонта вагонов**

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 [306, 307] годовой экономический эффект может быть определён по формуле

$$\mathcal{E} = (Z_6 - Z_r)N_r,$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический эффект от использования гибкой технологии ремонта вагонов;

$Z_6$  и  $Z_r$  – приведенные затраты на ремонт вагонов по базовому и гибкому варианту;

$N_r$  – программа ремонта вагонов 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 вагоноремонтного участка, использующих традиционный поток или гибкий поток, будем учитывать только те дополнительные затраты, которые, собственно, и обеспечивают организационно-технологическую гибкость.

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 определяются следующим образом

$$K_r = K_{смп} + K_{то},$$

где  $K_{смп}$  – дополнительные капитальные затраты на строительномонтажные 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 [202], укрупнённая площадь одного ремонтного места (модуля) при традиционном варианте организации потока принимается равной  $180 \text{ м}^2$ . При организации гибких потоков с учётом появления дополнительных площадей для перемещения транспортных агрегатов, площадь, приходящаяся на один модуль, будет составлять примерно  $280 \text{ м}^2$ . Таким образом, на один ремонтный модуль вагоноремонтного участка, работающего по гибкой технологии, необходима дополнительная площадь, равная  $100 \text{ м}^2$  ( $280 - 180 = 100$ ). Для 24-х модулей необходима дополнительная площадь, равная  $2400 \text{ м}^2$  ( $24 \times 100 = 2400$ ). Исходя из стоимости  $1 \text{ м}^2$  предприятий подобного типа, равной \$ 500, стоимость дополнительной площади составит \$ 1,2 млн.

Дополнительная стоимость двух транспортных агрегатов, которые будут использованы для перемещения вагонов, составит примерно \$ 200 тыс.

Тогда общие дополнительные капитальные затраты на строительство вагоноремонтного участка составят

$$K_r = 1,2 + 0,2 = \$ 1,4 \text{ млн.}$$

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. 6.3), сравним пропускные способности традиционного потока и гибкого. Для традиционного (базового) потока при 6 ремонтных модулях пропускная способность составляет 1398 вагонов в год (табл. 6.5). Для потока, состоящего из 24-х ремонтных модулей (четыре ремонтные «нитки» по шесть позиций), пропускная способность будет составлять в четыре раза больше  $N_6 = 1398 \times 4 = 5592$  вагонов в год. Для 24-х модульного гибкого потока пропускная способность составляет  $N_r = 9172$  вагонов в год (табл. 6.5).

При увеличении базовой стоимости традиционного вагонного депо (\$ 20,0-25,0 млн.), в связи с использованием гибкого ремонтного потока, на \$ 1,4 млн. (5-7 % от базовой стоимости депо), пропускная способность (производительность) вагоноремонтного участка вырастет примерно на 60–65 %. Каждый дополнительно отремонтированный вагон позволит депо получить дополнительный доход.

Таким образом, эффективность вагоноремонтных предприятий с гибкими потоками очевидна. Более детальный расчёт может быть осуществлён на стадии разработки проекта для строительства конкретного вагонного депо.

---

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

---

Анализ всего многообразия поточных линий в различных отраслях промышленности ещё в бытность Советского Союза позволяет сделать вывод о широких возможностях этого способа производства. Особенно это касается гибких производственных комплексов, способных быстро переключаться на выпуск новой партии товара. Поточный метод даёт широкий простор для дальнейшей комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Причём все потенциальные возможности поточного метода ещё окончательно не изучены.

Вместе с тем, проведенный за этот же период анализ поточных методов ремонта вагонов не позволяет восторгаться полётом инженерной и научной мысли в этой области деятельности – всё якобы «многообразие» поточных линий сводится к одному-единственному варианту – «жёсткому» потоку. Про стационарный метод ремонта вагонов мы уже и не говорим. Это вообще позавчерашний день. Можно со всей уверенностью констатировать, что переход в своё время на «жёсткий» поток явился не совсем правильным решением. Специфика ремонтного производства связана главным образом с большой неопределённостью технологического процесса. Широкий размах трудоёмкостей ремонтных работ на вагонах оказывает огромное влияние на ритмичный ход технологического процесса, вызывая постоянные сбои установленного такта.

В настоящее время в силу уже отмеченных причин ни одно вагонное депо строго по потоку не работает. В основном используется стационарный метод ремонта, и только кое-где ещё сохранились отдельные элементы поточного метода ремонта вагонов. Хотя для дальнейшего совершенствования ремонтного производства эти линии являются совершенно бесперспективными.

Следует, конечно, не забывать, что пионерами в развитии производства всегда были определяющие отрасли: машиностроение и приборостроение, а остальные отрасли уже равнялись на них и перенимали их методы и формы работы. Большое значение имеет и специфика производства и объёмы производства, от которых многое зависит. Но, тем не менее, на первое место всегда выступает производительность труда, которая, в конечном счёте, всегда определяет эффективность производства. Но, что касается вагоноремонтной отрасли, то здесь произошло очень существенное отставание в развитии новых форм организации производства. Переход на гибкий поток в первую очередь сдерживался отсутствием финансирования строительства новых предприятий. А в существующих корпусах вагонных депо гибкий поток организовать было невозможно по причине их примитивной конфигурации и отсутствия необходимых площадей. Имеющиеся на сегодняшний день здания вагонных депо, в которых размещены вагоноборочные участки, не отвечают требованиям НТП ни по конфигурации, ни по применяемому транспортному оборудованию, т. е. не позволяют использовать гибкие технологии ремонта в полном объёме.

Во времена так называемой «перестройки» и последующего периода вагоноремонтные предприятия на Украине ни на йоту не продвинулись в деле совершенствования вагоноремонтного производства, а, наоборот, даже утратили свой былой потенциал.

Тем не менее, подчеркнём, что альтернативы поточному методу производства нет. Поточный метод – это не просто одна из форм организации технологического процесса, а закономерный результат эволюции производственных систем. Поток самым лучшим 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 высочайшие технико-экономические показатели производства. Он является наиболее эффективной формой организации производственного процесса, так

как способствует разделению труда и широкому внедрению средств механизации и автоматизации технологических процессов. Для инновационного скачка в вагоноремонтной отрасли необходима коренная перестройка всего ремонтного процесса. Пусть это будет не сразу, пусть это будет постепенно, но уже сейчас надо начинать переходить к вагоноремонтным предприятиям XXI века.

Наиболее приемлемым вариантом организации промышленных методов ремонта вагонов, сглаживающих вероятностную природу ремонтного производства, является гибкий поток. Этот вид потока имеет явные преимущества перед остальными формами организации ремонтов. Он позволяет учитывать вероятностную природу вагоноремонтного производства и поэтому непременно должен быть использован при строительстве новых и реконструкции действующих предприятий.

При проектировании и строительстве вагоноремонтных предприятий нового поколения должны быть обязательно извлечены уроки прошлого и сделаны соответствующие выводы. Сейчас есть реальная возможность выйти на совершенно новую ступень в развитии организационных форм вагоноремонтного производства – создание гибких поточных систем. Современный уровень развития науки и техники позволяет её успешно реализовать. Основной акцент должен быть сделан на создании крупных вагоноремонтных предприятий, которые могли бы, используя гибкие потоки, ремонтировать несколько типов вагонов и выполнять разные виды ремонтов. Должна быть принята такая система поточной организации производства, при которой технологический процесс ремонта каждого отдельного вагона мог бы легко встраиваться в общий технологический процесс всего ремонтного потока.

Полученные выводы подтверждены многочисленными научными экспериментами работы гибких вагоноремонтных потоков с разными структурами, проведенными при помощи имитационного моделирования на компьютерах.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Аввакумов, С. М. Расчёт поступления вагонов в деповской ремонт [Текст] / С. М. Аввакумов // Ж.-д. трансп.–1969. – № 12. – С. 43–47.
2. Автоматизированные системы обработки информации и гибкие технологии на ремонтных предприятиях [Текст] / 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 [Текст] / Ю. С. Аглицкий // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Обзорная информация. – М: ЦНИИТЭИ ЖТ, 1995. – Вып.1. – С.1– 22.
4. Азбель, В. О. Гибкие автоматизированные производства [Текст] / В. О. Азбель, В. А. Егоров, А. Ю. Звоницкий. – Л.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
5. Алдохин, А. П. Моделирование работы сложных производственных систем [Текст] / А. П. Алдохин. – Харьков: Вища шк., 1978. – 145 с.
6. Алдохин, А. П. Теория массового обслуживания в промышленности [Текст] / А. П. Алдохин. – М.: Экономика, 1970. – 270 с.
7. Александров, М. В. Планирование поточного производства [Текст] / М. В. Александров, Э. Э. Миллер.– М.: Экономиздат, 1961. – 182 с.

8. Алиев, Г. А. Некоторые вопросы многофазных систем массового обслуживания и их моделирования: дис. ... канд. физ.-мат. наук [Текст] / Г. А. Алиев. – М.: 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 [Текст] / Д. К. Аяшева; Ташкентский ин-т инж. тр-та. – Ташкент, 1989. – 23 с.

10. Баратов, С. Ф. Планирование труда в вагонном хозяйстве железнодорожного транспорта [Текст] / С. Ф. Баратов. – М.: Трансжелдориздат, 1951. – 118 с.

11. Бараш, Ю. С. Поточные линии гибкого маневрирования [Текст] / Ю. С. Бараш, В. И. Сенько, А. Ф. Люлько // Ж.-д. трансп.– 1987. – №2. – С. 64–65.

12. Бедняк, М. Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей [Текст] / М. Н. Бедняк. – К.: Вища шк., 1983. – 131 с.

13. Белоусов, Л. С. Организация поточного производства в механосборочных цехах [Текст] / Л. С. Белоусов. – М.: Машиностроение, 1972. – 120 с.

14. Белянин, П. Н. Гибкие производственные комплексы [Текст] / П. Н. Белянин, В. А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.

15. Белянин, П. Н. Гибкие производственные системы [Текст] / П. Н. Белянин, М. Ф. Идзон, А. С. Жогин. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.

16. Берман, А. Г. Ритмичность производства в машиностроении и приборостроении (организационно-экономические вопросы) [Текст] / А. Г. Берман. – Л.: Машиностроение, 1974. – 296 с.

17. Биленко, А. И. Ремонт контейнеров на потоке: Опыт вагонного депо Лихоборы [Текст] / А. И. Биленко, Е. В. Трушкин. – М.: Транспорт, 1983. – 62 с.

18. Блехерман, М. Х. Гибкие производственные системы: (Организационно-экономические аспекты) [Текст] / М. Х. Блехерман. – М.: Экономика, 1988. – 221 с.

19. Болотин, М. М. Критерии и способы оценки ресурсов депо [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, М. В. Козлов // Мир транспорта.–2009. – № 3. – С. 14–25.

20. Болотин, М. М. Математические методы структурного анализа машин и оптимизации параметров производства [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, М. В. Козлов // Наука и техника транспорта.–2009. – № 2. – С. 56–64.

21. Болотин, М. М. Математические модели инженерного анализа вагонных депо [Текст] / М. М. Болотин // Мир транспорта. – 2005. – № 3. – С. 4–15.

22. Болотин, М. М. Моделирующие алгоритмы и автоматизация расчётов [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир транспорта. – 2008. – № 3. – С. 100–109.

23. Болотин, М. М. Новая технология ремонта вагонов [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Ж. д. трансп. – 1991. – № 9. – С.29–33.

24. Болотин, М. М. Совершенствование технического уровня вагонных депо и вагонных конструкций: автореф. дис. ...д-ра. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / М. М. Болотин; Моск. ин-т инж. тр-та. – М., 1994. – 69 с.

25. Болотин, М. М. Теоретические основы экспертизы производственного потенциала вагонного депо [Текст] / М. М. Болотин, В. Г. Воротников, М. В. Козлов // Мир транспорта. – 2005. – № 3. – С. 14–25.

26. Борзилов, І. Д. Концепція спеціалізації підприємств з технічного утримання вагонів [Текст] / І. Д. Борзилов, В. О. Міхійенко, М. Г. Котов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2008. – № 14. – С. 108–114.

27. Борзилов, І. Д. Наукові основи реструктуризації виробничо-технічної бази технічного утримання вагонів [Текст] / І. Д. Борзилов // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2009. – № 17. – С. 87–96.

28. Боровиков, В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов [Текст] / В. П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

29. Боровиков, В. П. Популярное введение в программу STATISTICA [Текст] / В. П. Боровиков. – М.: Компьютер Пресс, 1998. – 267 с.

30. Боровков, А. А. Математическая статистика. Оценка параметров, проверка гипотез [Текст] / А. А. Боровков.– М.: Наука, 1984. – 472 с.

31. Бородай, С. М. Система ремонта и повышение работоспособности вагонов [Текст] / С. М. Бородай // Ж.-д. трансп.– 1980. – № 4. – С. 59–63.

32. Бродовский, А. Л. Организация вагонного хозяйства и содержание вагонов [Текст] / А. Л. Бродовский. – М.: Гострансжелдориздат, 1940. – 538 с.

33. Бродовский, А. Л. Организация вагонного хозяйства и содержание вагонов [Текст] / А. Л. Бродовский. – М.: Гострансжелдориздат, 1947. – 384 с.

34. Бугаев, В. П. Планирование распределения операций между рабочими при ремонте вагонов на поточных линиях [Текст] / В. П. Бугаев, И. А. Ножевников, В. Ф. Разон // Повышение эффективности работы вагонного хозяйства: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель: БелИИЖТ, 1982. – С. 17–22.

35. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов (системный подход) [Текст] / В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.

36. Бугаев, В. П. Теоретические основы и пути повышения эффективности организации ремонта грузовых вагонов: автореф. дис. ...д-ра. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / В. П. Бугаев; Моск. ин-т инж. тр-та. – М., 1989. – 46 с.

37. Бугаев, В. П. Экономико-математическое моделирование производственной структуры вагоноремонтных предприятий [Текст] / В. П. Бугаев. – Гомель: БелИИЖТ, 1975. – 65 с.

38. Бугаев, В. П. Экономико-математическое моделирование производственной структуры поточно-конвейерной линии вагоносборочного участка [Текст] / В. П. Бугаев, В. Ф. Разон // Повышение эффективности работы вагонного хозяйства: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель: БелИИЖТ, 1982. – С. 66–74.

39. Бугаев, В. П. Эффективность ремонта вагонов и их узлов на потоке [Текст] / В. П. Бугаев // Ж.-д. трансп. – 1978. – № 3. – С. 45–49.

40. Букин, В. И. Совершенствование поточного метода деповского ремонта крытых вагонов с использованием ЭВМ : дис. ...канд. техн. наук : 05.22.07 [Текст] / В. И. Букин; Белорус. ин-т инж. ж.-д. тр-га. – Гомель, 1976. – 226 с.

41. Бусленко, В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем [Текст] / В. Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.

42. Бусленко, Н. П. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашник, И. Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.

43. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.

44. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту. ЦВ-0016. [Текст] / Наказ Укрзалізниці від 20.06.2006, № 242-Ц. – К.: Вид-во ТОВ «ВД «Мануфактура», 2006.– 176 с.

45. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 (1524) мм. Правила з деповського ремонту. ЦВ-0017. [Текст] / Наказ Укрзалізниці від 16.10.2007, № 492-Ц. – К.: ТОВ «Видавничий дім «САМ», 2008. – 152 с.

46. Васецкий, В. В. Моделирование и оптимизация диспетчерского управления многостадийным вагоноремонтным производством: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 [Текст] / В. В. Васецкий; Воронежский гос. техн. ун-т. – Воронеж, 2007. – 17 с.

47. Васецкий, В. В. Оптимизация управления потоками заявок на ремонт в условиях многостадийного вагоноремонтного производства [Текст] / В. В. Васецкий, С. А. Олейникова, В. М. Питолин // Информационные технологии моделирования и управления. – 2006. – № 7 (32). – С. 882–890.

48. Васильев, В. Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении [Текст] / В. Н. Васильев. – М.: Машиностроение, 1986. – 312 с.

49. Веников, В. А. О моделировании [Текст] / В. А. Веников. – М.: Знание, 1974.– 64 с.

50. Виленкин, Н. Я. Комбинаторика [Текст] / Н. Я. Виленкин. – М.: Наука, 1969. – 328 с.

51. Вильдавский, И. М. Проектирование и эксплуатация поточных линий в серийном производстве машин и приборов [Текст] / И. М. Вильдавский. – М.-Л.: Машгиз, 1962. – 246 с.

52. Винниченко, Н. Г. Повысить качество деповского ремонта вагонов [Текст] / Н. Г. Винниченко, И. Л. Ким // Ж.-д. трансп.–1989. – № 12. – С. 48–51.

53. Воротников, В. Г. Основные принципы моделирования процессов функционирования гибких производственных систем вагонных депо [Текст] / В. Г. Воротников, А. А. Денисенко // Безопасность движения поездов: Материалы восьмой науч.-практ. конф. (Москва, 01.11–02.11.2007). – Москва, 2007. – С. VI–3.

54. Воротников, В. Г. Перспективные направления повышения производственного потенциала вагонных депо [Текст] / В. Г. Воротников // Безопасность движения поездов: Материалы восьмой науч.-практ. конф. (Москва, 01.11–02.11.2007). – М.:, 2007. – С. VI–3, VI–4.

55. Воротников, В. Г. Модульный конвейер [Текст] / В. Г. Воротников, Р. Мартынов // Гудок.–2010. – № 3. – С. 3.

56. Гибкое автоматическое производство [Текст] / Азбель В. О., Егоров В. А., Звоницкий А. Ю. и др.; под общ. ред. С. А. Майорова, Г. В. Орловского, С. Н. Халкиопова. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1985. – 454 с.

57. Гизатулин, Э. З. Исследование путей совершенствования поточного метода при капитальном и среднем ремонтах тепलो-

зов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07; Моск. ин-т инж. тр-та [Текст] / Э. З. Гизатулин. – МИИТ, 1978. – 175 с.

58. Гизатулин, Э. З. Организация поточного производства при капитальных ремонтах тепловозов [Текст] / Э. З. Гизатулин, Е. Г. Стеценко. – М.: Транспорт, 1982. – 121 с.

59. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М.: Наука, 1966. – 432 с.

60. 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. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 12 с.

61. 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 [Текст] / В. В. Готаулин; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2008. – 24 с.

62. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.

63. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Руководство по деповскому ремонту. Утв. прот. от 18–19 мая 2011 года, № 54) [Текст] / 54-ый Совет по ж.-д. тр-ту гос. участ. Содружества. – М., 2010. – 154 с.

64. Губенко, В. К. Основные определения и показатели гибкого ремонтного процесса цистерн [Текст] / В. К. Губенко, В. П. Литвиненко, Г. Г. Псарас. – Ждановский металлургический институт. – Жданов: 1986. – 19 с. – Деп. в УкрНИИТИ 22.09.1986, № 2229-Ук86.

65. Гундаев, И. В. Разработка и моделирование технологических процессов ремонта колёсных пар вагонов: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / И. В. Гундаев; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2011. – 24 с.

66. Даль, В. И. Толковый словарь живого великорусского языка [Текст] / В. И. Даль. – М.: Мысль, 1989. – 4472 с.

67. Декарт, Р. Сочинения в 2-х томах. Том 1 [Текст] / Р. Декарт. – М.: Мысль, 1989. – 654 с.

68. Депо для ремонта полувагонов на программу 6000 и 10000 физ. единиц в год. Вагоносборочный участок. Технологическая часть. Альбом 1. Пояснительная записка, чертежи [Текст] / Типовые проектные решения 501-3-040.22.88. – М.: Мосгипротранс, 1988. – 44 с.

69. Депо для ремонта полувагонов на программу 6000 и 10000 физ. единиц в год. Вагоносборочный участок. Технологическая часть. Альбом 2. Чертежи [Текст] / Типовые материалы для проектирования 501-3-39.32.88. – М.: Мосгипротранс, 1988. – 54 с.

70. Депо компании Siemens в Великобритании [Текст] // Железные дороги мира. – Д., 2008. – №3. – С. 55–61.

71. Джонс, Дж. К. Методы проектирования [Текст] / Дж. К. Джонс. – М.: Мир, 1986. – 326 с.

72. Долматов, А. А. Полувагонам – прогрессивный срок службы [Текст] / А. А. Долматов, Г. В. Райков, В. Б. Костров // Железнодорожный транспорт.–1982. – № 12. – С. 61–63.

73. Дударев, А. Е. Выбор параметров распределения оценок трудоёмкости работ при ремонте вагонов [Текст] / А. Е. Дударев // Совершенствование ремонта, использования и конструирования вагонов: Сб. тр. ДИИТа, вып. 164/5. – Д.: ДИИТ, 1975. – С. 13–20.

74. Дударев, А. Е. Имитационное моделирование работы поточных линий для ремонта вагонов как многофазных систем массового обслуживания [Текст] / 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.

75. Дударев, А. Е. Оптимизация структуры поточной вагоноремонтной линии с гибкими связями между производственными участками на стадии её проектирования путём расшивки узких мест [Текст] / 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.

76. Дударев, А. Е. Применение имитационного моделирования для анализа функционирования поточных вагоноремонтных линий с гибкими связями между производственными участками [Текст] / 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.

77. Дударев, А. Е. Разработка поточного метода ремонта пассажирских вагонов и управления технологическими процессами: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / А. Е. Дударев; Днепропетр. ин-т инж. тр-та. – Д., 1977. – 249 с.

78. Дударев, А. Е. Сетевое моделирование технологических процессов ремонта вагонов на поточных линиях [Текст] / А. Е. Дударев, Л. П. Лимаренко // Совершенствование технического обслуживания и ремонта вагонов: Межвуз. сб. науч. ст. – Гомель: БелИИЖТ, 1978. – С. 95–101.

79. Дикань, В. Л. Підвищення ефективності функціонування вантажних вагонних депо у сучасних ринкових умовах [Текст] / В. Л. Дикань // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2013. – Вип. 42. – Х.: Вид-во УкрДАЗТ, 2013. – С. 122–125 с.

80. Думлер, С. А. Поточные методы производства в машиностроении [Текст] / С. А. Думлер. – М.: Машгиз, 1958. – 363 с.

81. Ёжиков, В. А. Исследование эксплуатационной надёжности и пути повышения производительности поточных механизированных линий вагоноремонтного производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / В. А. Ёжиков; Моск. ин-т инж. тр-та (МИИТ). – М., 1976. – 196 с.

82. Ёжиков, В. А. Поточно-механизированные линии в вагонных депо [Текст] / В. А. Ёжиков // Ж.-д. трансп. Серия «Вагоны и вагонное хозяйство». – М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1976. – 20 с.

83. «Загнанные» вагоны выбрасывают [Текст] // Гудок. – 2007. – 15 февраля.

84. Закс, Л. Статистическое оценивание [Текст] / Л. Закс. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.

85. Занин, В. П. Гибкая производственная система: от проекта до эксплуатации [Текст] / В. П. Занин, Г. И. Кабанов, В. И. Логащев. – Л.: Лениздат, 1989. – 112 с.

86. Зубов, В. М. Как измеряется производительность труда в США [Текст] / В. М. Зубов. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 144 с.

87. Иванищев, В. В. Автоматизация моделирования потоковых систем [Текст] / В. В. Иванищев. – М.: Наука, 1986. – 142 с.

88. Инструктивно-методические указания и нормативы по организации поточного деповского ремонта грузовых вагонов [Текст] / М.: ПКБ ЦВ МПС, ВНИИЖТ, 1986. – 132 с.

89. Калетин, С. В. Эксплуатационный комплекс вагонного хозяйства в новых условиях [Текст] / С. В. Калетин // Ж.-д. трансп. – 2007. – № 8. – С. 19–21.

90. Калинин, О. М. Моделирование гибких производственных систем [Текст] / О. М. Калинин, С. Л. Ямпольский, Л. В. Песков. – К.: Техніка, 1991. – 180 с.

91. Калман Р. Очерки по математической теории систем / Р. Калман, П. Фалб, М. Арбиб. – М.: Мир, 1971. – 214 с.

92. Карелина, М. В. Обоснование параметров организации ремонта грузовых вагонов (на примере полувагонов): автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / М. В. Карелина; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 1996. – 21 с.

93. Каталог типовых и рекомендованных проектов локомотивного и вагонного хозяйства [Текст]. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – 48 с.

94. Кириллюк, А. В. Исследование основных параметров поточных линий в вагоноремонтном производстве: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / А. В. Кириллюк; Моск. ин-т инж. тр-та. – М., 1968. – 200 с.

95. Кленкин, В. А. Укрепление базы по ремонту подвижного состава [Текст] / В. А. Кленкин // Ж.-д. трансп.–2004. – № 3. – С. 79–83.

96. Колупаев, В. Конкуренция требует полномочий: вагоноремонтные предприятия ОАО «РЖД» могли бы работать ещё эффективнее [Текст] / В. Колупаев // Гудок.– 2010. – 30.09, № 177. – С. 3.

97. Компания Talgo на внутреннем и внешнем рынках [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. – №3. – С. 36–42.

98. Копачёв, С. В. Совершенствование организации ремонта подвижного состава на основе математического моделирования трудоёмкости технологической подготовки производства: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.02.22 [Текст] / С. В. Копачёв; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2012. – 22 с.

99. Королёв, А. Н. Экономика, организация и планирование вагонного хозяйства [Текст] / А. Н. Королёв, А. И. Попов. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 292 с.

100. Королюк, В. С. Стохастические модели систем [Текст] / В. С. Королюк. – К.: Наук. думка, 1989. – 203 с.

101. Кошкин, Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии завтра [Текст] / Л. Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.

102. Котуранов, В. Н. Пути усиления вагоноремонтной базы [Текст] / В. Н. Котуранов, М. М. Болотин, С. Н. Муравьёв // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 11. – С. 54–56.

103. Краткий экономический словарь [Текст] / Под ред. Г. А. Козлова и С. П. Первушина. – М.: Государственное издательство политической литературы, 1958. – 391 с.

104. Кривич, О. Ю. Повышение уровня технологической подготовки производства вагоноборочных участков ремонтных депо: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / О. Ю. Кривич; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2010. – 24 с.

105. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 320 с.

106. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко, А. Е. Цикунов, В. И. Гридюшко. – М.: Транспорт, 1969. – 312 с.

107. Криворучко, Н. З. Вагонное хозяйство [Текст] / Н. З. Криворучко, В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1976. – 280 с.

108. Криворучко, Н. З. Организация вагонного хозяйства [Текст] / Н. З. Криворучко. – М.: Гострансжелдориздат, 1950. – 444 с.

109. Криворучко, Н. З. Организация вагонного хозяйства [Текст] / Н. З. Криворучко. – М.: Гострансжелдориздат, 1954. – 542 с.

110. Криворучко, Н. З. Ремонт вагонов на потоке [Текст] / Н. З. Криворучко, К. Н. Межов, В. И. Букин // Ж.-д. трансп. – 1975. – № 8. – С. 56–59.

111. Кузин, Б. И. Организация поточного производства в условиях научно-технического прогресса машиностроения [Текст] / Б. И. Кузин. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.

112. Кузнецов, Е. С. Исследование работы поточных линий технического обслуживания автомобилей [Текст] / Е. С. Кузнецов, В. А. Сорокин. – М.: Транспорт, 1966. – 83 с.

113. Лапшин, Ф. А. Вагонное хозяйство [Текст] / Ф. А. Лапшин, С. Г. Комаров. – М.: Гострансжелдориздат, 1955. – 191 с.

114. Лисевич, Т. В. Передовые технологии деповского ремонта пассажирских вагонов: Учебное пособие для вузов [Текст] / Т. В. Лисевич, Е. В. Александров. – Самара: СамГАПС, 2005. – 80 с.

115. Лифшиц, А. Л. Статистическое моделирование систем массового обслуживания [Текст] / А. Л. Лифшиц, Э. А. Мальц. – М.: Советское радио, 1978. – 248 с.

116. Лищинский, Л. Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем [Текст] / Л. Ю. Лищинский. – М.: Машиностроение, 1990. – 32 с.

117. Логашев, В. Г. Технологические основы гибких автоматических производств [Текст] / В. Г. Логашев.–Л.: Машиностроение, 1985. – 176 с.

118. Луйк, И. А. Теоретические основы планирования технической эксплуатации машинного парка [Текст] / И. А. Луйк.–К.: Вища шк., 1976. – 142 с.

119. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст] / Е. Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

120. Люльчев, К. М. Ремонт вагонов: эффективность затрат [Текст] / К. М. Люльчев // Мир транспорта. – 2010. – № 4. – С. 58–64.

121. Макаров, И. М. Системные принципы создания гибких автоматизированных производств [Текст] / И. М. Макаров. – М.: Высш. шк., 1986. – 174 с.

122. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ [Текст] / И. В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.

123. Малышев, Г. А. Теория авторемонтного производства [Текст] / Г. А. Малышев. – М.: Транспорт, 1977. – 224 с.

124. Малькова, В. Н. Корректировка расчётного ритма поточных линий вагоноремонтных предприятий в зависимости от степени синхронизации [Текст] / В. Н. Малькова // Труды: Вопросы эксплуатации, строительства и экономики железных дорог. Ч. 1, вып. 465. – М.: МИИТ, 1975. – С. 146–153.

125. Мартинов, І. Е. Вагоноремонтні машини та обладнання [Текст] / І. Е. Мартинов, В. Г. Равлюк. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Ч.1. – 156 с.

126. Мартинов, І. Е. Вагоноремонтні машини та обладнання [Текст] / І. Е. Мартинов, В. Г. Равлюк. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч.2. – 108 с.

127. Мелконян, М. А. Гибкие производства – разведчики будущего [Текст] / М. А. Мелконян. – М.: Управление делами Секретариата СЭВ, 1987. – 59 с.

128. Миронов, А. Ю. Сокращать простои вагонов в ремонте [Текст] / А. Ю. Миронов // Ж.-д. трансп.–2007. – № 8. – С. 22–23.

129. Мирошниченко, Ю. В. Поток и ритм – основа высокой эффективности ремонтного производства [Текст] / Ю. В. Мирошниченко.– Редколлегия журнала «Электрическая и тепловозная тяга». – Москва, 1986. – 7 с. – Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС, № 3851.

130. Митюхин, В. Б. Повышение эффективности вагонного хозяйства на основе использования новых информационных техноло-

гий: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.07 [Текст] / В. Б. Митюхин; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2002. – 24 с.

131. Морозов, В. Н. Вагонное хозяйство – жизнеобеспечивающая сфера деятельности [Текст] / В. Н. Морозов // Ж.-д. трансп.– 2003. – № 6. – С. 10–16.

132. Мотовилов, К. В. Выбор рациональных путей повышения производственной мощности вагоноремонтных предприятий [Текст] / К. В. Мотовилов // Межвуз. сб. науч. тр.: Вопросы совершенствования технологии, организации и механизации ремонта вагонов, вып. 746 – М.: МИИТ, 1984. – С. 3–10.

133. Мотуз, Н. Р. Труд должен быть высокопроизводительным [Текст] / Н. Р. Мотуз, Г. Н. Перов // Ж.-д. трансп.– 2003.– № 3. – С. 44–49.

134. Мямлин, В. В. Адаптивный поток ремонта грузовых вагонов [Текст] / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов: Тезисы докладов III Межд. партн. конф. (Ялта, 21.05–25.05.2012). – Ялта, 2012. – С. 64.

135. Мямлин, В. В. Анализ различных структур гибких вагоноремонтных потоков [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы докладов 74 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05. 2014). – Д.: ДНУЖТ, 2014. – С. 65–67.

136. Мямлин, В. В. Анализ трудоёмкостей отдельных видов работ при деповском ремонте полувагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 28–36.

137. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 26. – С. 28–33.

138. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток – следующая ступень на пути эволюции поточных методов ремонта грузовых вагонов в депо [Текст] / В. В. Мямлин // Интеграция Украины в международную транспортную систему: Тезисы II Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27.05–28.05.2010). – Д.: ДНУЖТ, 2010. – С. 70–72.

139. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток – следующий этап на пути совершенствования поточно-конвейерных методов ремонта грузовых вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Трансбалтика–2009: Тезисы Международной научной конференции. – Д.: ДНУЖТ, 2009. – С. 37–38.

140. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов как агрегативная система [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 69 Международной науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 21.05–22.05.2009). – Д.: ДНУЖТ, 2009. – С. 37–38.

141. Мямлин, В. В. Больше внимания сохранности вагонов [Текст] / В. В. Мямлин, Ю. Г. Покус // Ж.-д. трансп.–2003. – № 3. – С. 49–52.

142. Мямлин, В. В. Варианты организации перспективных вагоноремонтных предприятий, использующих гибкий поток для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 70 Межд. науч.–практ. конф. (Днепропетровск, 15.04–16.04. 2010). – Д.: ДНУЖТ, 2010. – С. 72–73.

143. Мямлин, В. В. Гибкие потоки для ремонта вагонов и особенности имитационного моделирования их работы [Текст] / В. В. Мямлин // Трансп. Росс. Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С.57–60.

144. Мямлин, В. В. Гибкий асинхронный многопредметный поток – следующий этап на пути совершенствования деповского ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин.// Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: Тезисы докладов VII Межд. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 06.07-10.07.2011). – СПб.: ПГУПС, 2011. – С. 54–56.

145. Мямлин, В. В. Главная задача в совершенствовании промышленных методов ремонта вагонов – адаптация потока к каждому отдельному вагону [Текст] / В. В. Мямлин // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.: Тези допов. Міжнародної наук.-практ. конф.: Вагони нового покоління – із XX в XXI сторіччя. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139. – С. 311–312.

146. Мямлин, В. В. Имитационное моделирование мультифазных поликанальных многопредметных асинхронных гибких потоков ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 72 Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 72 Международной науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 19.04–20.04.2012). – Д.: ДНУЖТ, 2012.– С. 58–59.

147. Мямлин, В. В. Использование математической схемы агрегата для формализации процесса функционирования ремонтной позиции гибкой поточной линии для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: Материалы II Межд. науч.-практ. конф.– Гомель: БелГУТ, 2008.– С. 172–173.

148. Мямлин, В. В. Использование метода статистического моделирования при проектировании поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: Сб. науч. тр. Днепропетр. ин-т инж. тр-та.– Д., 1985.– С. 70–76.

149. Мямлин, В. В. Использование теории графов для рациональной компоновки участков вагоноремонтного предприятия [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы докладов 74 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2014). – Д.:ДНУЖТ, 2014.– С. 67–69.

150. Мямлин, В. В. Использование теории кусочно-линейных агрегатов для формализации работы ремонтных модулей поточной вагоноремонтной линии с гибкой транспортной системой [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Д.,2008. – Вип. 24. – С. 44–48.

151. Мямлин, В. В. Использование транспортного агрегата для перемещения вагонов между позициями гибкого вагоноремонтного потока [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы докладов 73 Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 23.05–24.05.2013). – Д.: ДНУЖТ, 2013.– С. 53–54.

152. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство» Ремонт вагонов.– М.: ОИ ЦНИИТЭИ МПС, 1989.– Вып.1. – С.1–11.

153. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для моделирования работы поточных линий ремонта вагонов [Текст] / 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). – М.: ВНИИЖТ, 1987.– С. 125–127.

154. Мямлин, В. В. Исследование трудоёмкостей работ на вагоносборочном участке при деповском ремонте полувагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 72 Проблемы и перспективы раз-

вития железнодорожного транспорта: Тезисы 72 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 19.04–20.04.2012). – Д.: ДНУЖТ, 2012.– С. 41–42.

155. Мямлин, В. В. Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2014. – Вип. 3.– С. 24–34.

156. Мямлин, В. В. Комплексное исследование причин, влияющих на колебание времени выполнения работ при деповском ремонте полувагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 24 – 34.

157. Мямлин, В. В. Компоновка позиций гибкого вагоноремонтного потока и способ перемещения изделий между ними при помощи транспортного агрегата [Текст] / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин, А. Н. Михальчук // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– 2012.– Д., 2012.– Вип. 42. – С. 205–213.

158. Мямлин, В. В. Компоновочные решения организационно-технологических структур перспективных вагоноремонтных депо с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Д., 2010. – Вип. 31. – С. 55–62.

159. 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 Международной науч.-практ. конф. (Днепропетровск, Украина, 22.05–23.05.2008).– Д.: ДНУЖТ, 2008.– С. 51–52.

160. Мямлин, В. В. Моделирование работы потока для ремонта вагонов как мультифазной поликанальной многопредметной системы массового обслуживания [Текст] / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Д., 2011.– Вип. 38.– С. 47–57.

161. Мямлин, В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток – реальный механизм повышения эффективности ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 74 Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 74 Межд. науч.-техн. конф. (Харьков, 24.04–25.04.2012). – Харьков: УкрГАЖТ, 2012.– С. 219–220.

162. Мямлин, В. В. Мультифазный поликанальный многопредметный асинхронный поток – следующий уровень в организации ремонта грузовых вагонов [Текст] / В. В. Мямлин. – Вагонный парк.– 2012.– № 1. – С. 8–11.

163. Мямлин, В. В. Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин, А. А. Босов,

С. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 54–57.

164. Мямлин, В. В. Оптимизация структуры гибкого вагоноремонтного потока при помощи моделирования путём «расширения узких мест» [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы докладов 74 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.05–16.05.2014). – Д.:ДНУЖТ, 2014.– С. 69–71.

165. Мямлин, В. В. Основные технологические решения многофункционального производственного комплекса по ремонту и изготовлению грузовых вагонов на базе вагонного депо Гянджа (Азербайджан) [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы докладов 73 Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 23.05–24.05.2013). – Д.:ДНУЖТ, 2013.– С. 55–57.

166. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия подсистем асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы [Текст] / В. В. Мямлин. – Вагонный парк.– 2010.– № 7.– С. 19–22.

167. Мямлин, В. В. Особенности взаимодействия между подсистемами асинхронного гибкого потока ремонта вагонов, формализованного в виде агрегативной системы [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Д., 2009. – Вип. 27. – С. 36–41.

168. Мямлин, В. В. Перспективы проектирования современных грузовых депо с использованием гибких технологий ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 68 Международной науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 22.05–23.05.2008).– Д., 2008.– С.52–53.

169. Мямлин, В. В. Повышение надёжности работы вагоноремонтных потоков за счёт формирования их гибкости [Текст] / В. В. Мямлин, С. В. Мямлин // Проблемы безопасности на транспорте: матер. VI-й Международной науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2012.– С.92–93.

170. Мямлин, В. В. Повышение эффективности поточного метода ремонта вагонов путём использования специальных архитектурно-технологических решений, обеспечивающих гибкую связь между позициями [Текст] / 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.

171. Мямлин, В. В. Повышение эффективности ремонта вагонов за счёт совершенствования организации поточного производства [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов: Тезисы докладов II Международной партн. конф. (Ялта, 19.05–20.05.2011). – Ялта, 2011. – С. 49.

172. Мямлин, В. В. Поиски методов оптимального проектирования вагоноремонтных предприятий с поточными методами ре-

монта [Текст] / В. В. Мямлин // Внедрение наукоёмких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте: Тезисы докл. IV науч.-практ. Международной конф. (Крым, Ялта, 09.06-13.06.2008).– Ялта, 2008.– С.14.

173. Мямлин, В. В. Предложения по реконструкции грузового депо на ст. Н/Д-Узел с переводом его на гибкий поток ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 71 Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 72 Межд. науч.–практ. конф. (Днепропетровск, 15.04–16.04.2011). – Д.: ДНУЖТ, 2011.– С.76–77.

174. Мямлин В. В. Применение теории сложных систем к исследованию работы поточных линий для ремонта вагонов / В. В. Мямлин // Транспортные связи. Проблемы и перспективы: докл. Международной науч.-практ. конф. (Днепропетровск, Украина, 29.05–30.05.2008).– Д., 2008.– С. 8.

175. Мямлин, В. В. Прогнозирование значений производительности труда в проектируемых вагонсборочных цехах при помощи регрессионных моделей [Текст] / В. В. Мямлин // Вопросы оптимизации деталей тележек и организации обслуживания вагонов: Сб. науч. тр. / Днепропетр. ин-т инж. тр-та.– Д.: ДИИТ, 1985.– С. 64–69.

176. Мямлин, В. В. Разработка гибких поточных линий для ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты.– 2011. – СПб.: ПГУПС, 2011.– Вып. 6.– С. 53–58.

177. Мямлин, В. В. Разработка гибких поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: Тезисы докладов VI Межд. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 08.07–12.07.2009).– СПб.: ПГУПС, 2009.– С. 235–236.

178. Мямлин, В. В. Разработка машинных методов и алгоритмов проектирования поточных линий для ремонта вагонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / В. В. Мямлин; Моск. ин-т инж. тр-та.– М., 1989.– 23 с.

179. Мямлин, В. В. Разработка структурно-информационной модели проектирования поточных вагоноремонтных линий [Текст] / В. В. Мямлин // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов: Сб. науч. тр. Днепропетр. ин-т инж. трансп.– Д.: ДИИТ, 1987.– С. 80–83.

180. Мямлин, В. В. Ретроспективный анализ методов организации ремонта грузовых вагонов в депо и пути их дальнейшего развития [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.– Д., 2010. – Вип. 34. – С. 51–60.

181. Мямлин, В. В. Роль поточных методов при организации вагоноремонтного производства и их влияние на рост производительности труда [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 32–43.

182. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного вагоноремонтного производства за счёт применения асинхронных гибких

потоков [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 70 Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 70 Международной науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15.04–16.04.2010). – Д.: ДНУЖТ, 2010.– С. 73–74.

183. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 4. – С.15–17.

184. Мямлин, В. В. Современные тенденции развития ремонта грузовых вагонов на потоке [Текст] / В. В. Мямлин // Тезисы 71 Международной науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта» (Днепропетровск, 15.04–16.04.2011) – Д.: ДНУЖТ, 2011.– С.78–79.

185. Мямлин, В. В. Структурные схемы перспективных вагоно-ремонтных предприятий с асинхронными гибкими потоками ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин. – Вагонный парк.– 2010.– № 11– С. 15–18.

186. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вагонный парк.– 2010.– № 6.– С. 12–15.

187. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мям-

лин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 25. – С. 18–22.

188. Мямлин, В. В. Теоретические основы совершенствования технологии ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты: Тезисы докладов VIII Международной науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 03.07–07.07.2013).– СПб.: ПГУПС, 2013.– С. 205–207.

189. Мямлін, В. В. Удосконалення технології ремонту вантажних вагонів [Текст] / 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 Міжнародної науково-практичної конференції. Сер. «Техніка, технологія». – К.: ДЕГУТ, 2011. – С. 107–108.

190. Насибуллин, Ф. Ф. Совершенствование обслуживания и ремонта грузовых вагонов [Текст] / Ф. Ф. Насибуллин // Ж.-д. трансп. – 2004. – № 4. – С. 63.

191. Неймарк, А. И. Основные разновидности поточных линий в машиностроении и приборостроении [Текст] / А. И. Неймарк.– Л.: ЛДНТП, 1959.– 44 с.

192. Некоторые вопросы организации и управления процессом ремонта вагонов на потоке [Текст] / А. Е. Дударев, К. Н. Фомкин, В. Г. Анофриев, И. К. Мороз // Совершенствование ремонта, использования и конструирования вагонов: Сб. тр. ДИИТа. – Д., 1975. – Вып. 164/5. – С. 3–8.

193. Нескуба, Т. В. Стратегія розвитку підприємства вагоноремонтного господарства залізничного транспорту України в умовах реформування галузі [Текст] / Т. В. Нескуба // Вісник економіки транспорту і промисловості.– Х.: Вид-во УкрДАЗТ, 2009.– Вип. 26. – С. 252–254.

194. Никифоров, Б. Д. Вагонное хозяйство: состояние, перспективы, задачи [Текст] / Б. Д. Никифоров, И. И. Хаба // Ж.-д. трансп.– 1990.– № 11.– С. 28–32.

195. Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения [Текст] / В. И. Николаев, В. М. Брук.– Л.:Машиностроение, 1985.– 199 с.

196. Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания [Текст] / О. А. Новиков, С. И. Петухов.– М.: Советское радио, 1969. – 400 с.

197. Ножевников, А. М. Научная организация труда в вагонном хозяйстве [Текст] / А. М. Ножевников, В. Д. Алексеев, С. В. Аникин.– М.: Транспорт, 1968.– 279 с.

198. Ножевников, А. М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов [Текст] / А. М. Ножевников.– М.: Транспорт, 1980.– 137 с.

199. Ножевников, И. А. Организация ремонта вагонов на поточных линиях [Текст] / И. А. Ножевников // Повышение эффективности работы вагонного хозяйства: Межвуз. сб. науч. ст.– Гомель: БелИИЖТ, 1982.– С. 61–66.

200. Нормы витрат матеріалів та запасних частин на ремонт вагонів у вагонних депо залізниць України. ЦВ-0065 [Текст] / Затв. нак. Укрзалізниці від 22.12.2010 № 201-ЦЗ. – К.:ПКТБРС, 2011. – 124 с.

201. Норми простою вантажних вагонів при деповському ремонті, технічному обслуговуванні з відчепленням, та підготовці до навантаження [Текст] / Затв. наказ. Укрзалізниці від 14.06.2005 р. – К.: ДП «КПКТБВ», 2005. – 10 с.

202. Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов [Текст] / ВНТП 02-86/МПС.– М.: Транспорт, 1987.– 33 с.

203. О мероприятиях для понижения процента больных вагонов на железных дорогах : доклад начальника вагонного отдела службы тяги Екатерининской железной дороги инженера Н. М. Хлебникова [Текст] / Н. М. Хлебников.– Екатеринбург: Типо-Литография Екатерининской железной дороги, 1914.– 64 с.

204. Образование параметров и оснащение гибких поточных линий по ремонту вагонов [Текст] / В. Г. Воротников, М. М. Болотин, В. Д. Евстратов, Т. В. Второва // Автоматизация и современные технологии.– 1993.– № 3.– С. 3–5.

205. Огурцов, А. А. Поточный ремонт контейнеров в вагонных депо [Текст] / А. А. Огурцов // Ж.-д. трансп.–1990.– № 11.– С. 89–90.

206. Организация, планирование и управление на вагоноремонтных предприятиях [Текст] / В. М. Меланин, С. Н. Коржин,

Р. Ф. Канивец и др.; под ред. В. М. Меланина.– М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 383 с.

207. Оре, О. Теория графов [Текст] / О. Оре.– М.: Наука, 1980.– 336 с.

208. Осадчук, Г. И. Научно-технический прогресс и экономика вагонного хозяйства [Текст] / Г. И. Осадчук, Ч. У. Березнякова, С. А. Покровский.– М.: Транспорт, 1984.– 79 с.

209. 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.

210. Особенности технического обслуживания и ремонта подвижного состава за рубежом [Текст] / 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.

211. Павлов, И. П. Рефлекс свободы [Текст] / И. П. Павлов. – СПб.: Питер, 2001.– 432 с.

212. Пат. 013942 Евразийское патентное ведомство, В1 В60S 5/00. Способ ремонта грузовых железнодорожных вагонов и грузовое депо для его осуществления [Текст] / 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., Чис-

тяков А. П.– № 201000174; заявл. 22.12.2009; опубл. 30.08.2010.– Бюл. № 4.

213. Пат. 10873 Україна, МПК<sup>7</sup> В 61 J 1/10. Трансбордер для поперечного переміщення рейкових транспортних засобів, наприклад вагонів, на паралельні колії [Текст] / 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.

214. Пат. 11176 Україна, МПК<sup>7</sup> В 61 J 1/10. Трансбордер для переміщення рухомого складу [Текст] / Приходько В. І. та ін.; заявник та патентовласник ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод».– № u200505262; заявл. 02.06.2005; опубл. 15.12.2005. – Бюл. № 12.

215. Пат. 17638 Україна, МПК В 61 J 1/00. Трансбордер для поперечного переміщення рейкових транспортних засобів на паралельні колії [Текст] / 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.

216. Пат. 2112736 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup>В66 С 17/20. Подъёмно-транспортный агрегат [Текст] / 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.

217. Пат. 23365 Україна, МПК<sup>6</sup> В 61 J 1/10. Пристрій для переміщення рейкових транспортних засобів на паралельні колії [Текст] / П. Я. Сорокін; заявник та патентовласник П. Я. Сорокін,

Ю.С. Козловський.– № u200612658; заявл. 01.12.2006; опубл. 25.05.2007. – Бюл. № 7.

218. Пат. 41730 Україна, МПК<sup>9</sup> В 61 J 1/00. Трансбордер для переміщення рейкових транспортних засобів [Текст] / А. М. Моторін, В. М. Малюсейко, В. М. Пономарьов; заявник та патентовласник ТОВ «Науково-виробнича фірма «ТЕХВАГОН-МАШ».– № u200813237; заявл. 17.11.2008; опубл. 10.06.2009.– Бюл. № 11.

219. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко.– М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.

220. Петров, В. А. Планирование гибких производственных систем [Текст] / В. А. Петров, А. Н. Масленников, Л. А. Осипов.– Л.: Машиностроение, 1985.– 182 с.

221. По пути реконструкции [Текст] / В. Н. Стариченков, М. М. Болотин, Н. М. Борисов, В. Г. Воротников // Ж.-д. трансп.– 1986.– № 3.– С. 60–61.

222. Повышение качества ремонта вагонов [Текст] / С. А. Покровский, В. В. Мямлин, В. А. Балаканов, В. А. Пивень. – М.:Транспорт, 1985.– 37 с.

223. Подъёмно-транспортное оборудование для технического обслуживания подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира.– 2003.– № 3.– С.45–49.

224. Политехнический словарь [Текст] / Гл. ред. И. И. Артоболовский. – М.: Советская энциклопедия, 1977.– 608 с.

225. Политика SNCF в области подвижного состава и его технического обслуживания [Текст] // Железные дороги мира. – 2010. – №4. – С. 38–45.

226. Поллард, Дж. Справочник по вычислительным методам статистики [Текст] / Дж. Поллард.– М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.

227. Постол, Б. Г. Организация производства при техническом обслуживании и ремонте локомотивов в депо / Б. Г. Постол.– Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010.– 123 с.

228. Поточные методы производства в серийном машиностроении и приборостроении [Текст] / О. И. Бугаков, А. П. Крассовский, О. И. Непорент и др.; под ред. А. Г. Бермана, А. И. Неймарка.– М.-Л.: Машгиз, 1958.– 326 с.

229. Про розрахунок норми тривалості робочого часу на 2014 рік [Електронний ресурс] / Додаток до листа міністерства соціальної політики України від 04 вересня 2013 р. № 9884/0/14-13/13.– режим доступа:[http://lviv.medprof.org.ua/uploads/media/4\\_40.pdf](http://lviv.medprof.org.ua/uploads/media/4_40.pdf)

230. Проектирование вагоноремонтных предприятий: Учебник для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / К. А. Сергеев, В. Н. Жданов, О. Ю. Кривич, Т. А. Фролова; Под ред. К. А. Сергеева.– М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009.– 265 с.

231. Пугачёв, Г. С. Нормирование трудоёмкости технологических процессов с вероятностными составляющими [Текст] /

Г. С. Пугачёв // Сб. науч. тр. ДонИЖТ.– Донецк: ДонИЖТ, 2008.– № 14.– С. 136–141.

232. Развитие ремонтной инфраструктуры железных дорог Германии [Текст] // Железные дороги мира. – Д., 2006. – №2. – С. 24–26.

233. Разон, В. Ф. Исследование влияния внутритактной синхронизации операций на эффективность работы поточно-конвейерной линии ремонта вагонов в депо [Текст] / В. Ф. Разон // Совершенствование технического обслуживания и ремонта вагонов: Межвуз. сб. науч. ст.– Гомель: БелИИЖТ, 1978.– С. 28–34.

234. 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 [Текст] / В. Ф. Разон; Моск. ин-т инж. тр-га.– М.: МИИТ, 1987.– 24 с.

235. Разон, В. Ф. Совершенствование оперативного управления ремонтом вагонов на поточно-конвейерной линии вагонсборочного участка депо [Текст] / В. Ф. Разон // Совершенствование организации ремонта вагонов и их технического обслуживания: Межвуз. сб. науч. ст.– Гомель: БелИИЖТ, 1983.– С. 14–22.

236. Райков, Г. В. Пути повышения эффективности организации поточного метода ремонта полувагонов в депо: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / Г. В. Райков; Моск. ин-т инж. тр-га.– М.: МИИТ, 1976.– 164 с.

237. Райков, Г. В. Аналитический метод расчёта параметров поточной линии периодического действия [Текст] / Г. В. Райков ЦНИИ МПС.– Выпуск 593.– М.: Транспорт, 1978.– 136 с.

238. Рекомендации для выбора рациональных путей развития базы деповского ремонта вагонов [Текст].– М.: МИИТ, 1984.– 42 с.

239. Родов, А. С. План, поток, ритм [Текст] / А. С. Родов, Д. И. Крутянский.– Ростов-на-Дону: Ростовское книжное издательство, 1964.– 72 с.

240. Рудаков, В. А. Обоснование взаимосвязей показателей работы вагоноремонтного комплекса и безопасность движения: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.07 [Текст] / В. А. Рудаков; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ).– М., 2008.– 24 с.

241. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л. З. Румшинский.– М.: Наука, 1971.– 192 с.

242. Сатановский, Р. Л. Организационное обеспечение гибкости машиностроительного производства [Текст] / Р. Л. Сатановский.– Л.: Машиностроение, 1987.– 96 с.

243. Свідоцтво 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.

244. Селиверстов, В. В. Вагон не простых проблем [Текст] / В. В. Селиверстов // Южная магистраль.–2009.– № 24–25.– 12 июня.– С.6.

245. Сендеров, Г. К. Актуальные проблемы вагонного хозяйства [Текст] / Г. К. Сендеров, П. Р. Лосев // Ж.-д. трансп.–1986. – № 12.– С. 32–36.

246. Сенько, В. И. К вопросу расчёта пропускной способности линейных вагоноремонтных предприятий с учётом вероятностного характера объёмов работ с объектами [Текст] / В. И. Сенько // Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов: Межвуз. сб. науч. ст.– Гомель: БелИИЖТ, 1987.– С. 12–22.

247. Сенько, В. И. Методика обоснования рационального уровня резервирования базы деповского ремонта грузовых вагонов [Текст] / В. И. Сенько // Совершенствование технического обслуживания, ремонта и конструкции вагонов: Межвуз. сб. науч. тр.: Гомель, БелИИЖТ, 1991.– С. 103–105.

248. Сенько, В. И. Новая технология ремонта грузовых вагонов [Текст] / В. И. Сенько, И. Л. Чернин // Тезисы докл. II Межд. науч.-практ. конф. : Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта (Москва, 24.09–25.09.1996).–М.: МГУПС,1996. – С. 113.

249. Сенько, В. И. Обоснование долгосрочных тенденций функционирования и развития базы деповского ремонта грузовых вагонов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 [Текст] / В. И. Сенько; Моск. ин-т инж. тр-та.– М.: МИИТ, 1989.– 46 с.

250. Сенько, В. И. Пути усиления базы по деповскому ремонту грузовых вагонов [Текст] / 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.

251. Сенько, В. И. Развитию деповской базы – научный подход [Текст] / В. И. Сенько // Ж.-д. трансп.–1990.– № 6.– С. 41–42.

252. Сенько, В. И. Разработка основных цехов и отделений грузового вагонного депо и определение рациональных величин производственных программ [Текст] / В. И. Сенько.– Гомель, БелИИЖТ, 1977.– 36 с.

253. Сергеев, К. А. Математические модели структурного анализа технологических процессов вагоноремонтного производства [Текст] / К. А. Сергеев // Наука и техника транспорта.–2005.– № 3.– С. 28–36.

254. Сергеев, К. А. Параметрический анализ технологических процессов вагоноремонтного производства [Текст] / К. А. Сергеев, В. В. Готаулин, О. Ю. Кривич // Наука и техника транспорта.– 2007.– № 3.– С. 20–24.

255. Сергеев, К. А. Современный подход к формированию моделей технологических процессов ремонта вагонов ВНИИЖТ

[Текст] / К. А. Сергеев // Вестник ВНИИЖТа. – 2005. – №1. – С. 14–16.

256. Сирина, Н. Ф. Адаптивная организация вагоноремонтного комплекса [Текст] / Н. Ф. Сирина, В. В. Цыганов.– Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2008.– 152 с.

257. Сирина, Н. Ф. Методологические основы формирования адаптивных механизмов организации вагоноремонтного комплекса: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.22 [Текст] / Н. Ф. Сирина; Уральск. гос. ун-т пут. сообщ. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – 46 с.

258. Сирина, Н. Ф. Механизмы функционирования вагонного хозяйства: Монография [Текст] / Н. Ф. Сирина, В. В. Цыганов. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. – 188 с.

259. Сирина, Н. Ф. Оценка конкурентоспособности вагоноремонтного предприятия [Текст] / Н. Ф. Сирина, А. М. Симонов // Вестник Уральского гос. ун-та путей сообщения. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, № 3.– 2011. – С. 66–74 с.

260. Система Kaizen на железных дорогах Швейцарии [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. – №3. – С. 64–65.

261. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве [Текст] / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.

262. Скиба, И. Ф. К вопросу организации поточного метода ремонта восьмиосных полувагонов в вагоносборочных цехах вагон-

ных депо [Текст] / И. Ф. Скиба, И. М. Прохоренко, М. М. Болотин // Труды: Динамика, прочность, экономика и ремонт восьмиосных вагонов, вып. 530.– М.: МИИТ, 1976. – С. 105–111.

263. Скиба, И. Ф. Обоснование выбора машин, механизмов и устройств на стадии проектирования комплексно-механизированных линий для ремонта восьмиосных вагонов в сборочном цехе депо [Текст] / И. Ф. Скиба, М. М. Болотин, И. М. Прохоренко // Труды: Динамика, прочность, экономика и ремонт восьмиосных вагонов, вып. 530.– М.: МИИТ, 1976. – С. 97–104.

264. Скиба, И. Ф. Организация, планирование и управление на вагоноремонтных предприятиях [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Транспорт, 1978. – 344 с.

265. Скиба, И. Ф. Поточный метод ремонта вагонов на заводах [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Гострансжелдориздат, 1950. – 247 с.

266. Скиба, И. Ф. Экономическая эффективность новой техники, организации и технологии ремонта вагонов [Текст] / И. Ф. Скиба. – М.: Транспорт, 1964. – 243 с.

267. Смирнов, В. А. Повышение технологической гибкости ремонтного производства [Текст] / В. А. Смирнов, К. В. Панов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 1–2. – С. 47–50.

268. Смирнов, В. А. Стратегическое планирование вагоноремонтного производства с учётом рыночных рисков / В. А. Смирнов, А. М. Семёнов, В. И. Хомутовых // Трансп. Урала. – 2011. – № 4. – С. 39–44.

269. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов [Текст] / А. Смит. – М.: Эксмо, 2009. – 960 с.

270. Советов, Б. Я. Моделирование систем [Текст] / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев.–М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

271. Современная концепция депо для небольших парков подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. – №3. – С. 60–63.

272. Сосунов, Н. Н. Повышение эффективности процессов эксплуатации и технического обслуживания подвижного состава в системе ремонтных предприятий отрасли [Текст] / Н. Н. Сосунов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.– Луганск: 2006. – С. 219–223.

273. Старых, С. А. Повышение эффективности ремонта грузовых вагонов [Текст] / С. А. Старых // Ж.-д. трансп.–2007. – № 8. – С. 24–27.

274. Стрекалина, Р. П. Экономика и организация вагонного хозяйства [Текст] / Р. П. Стрекалина. – М.: Маршрут, 2005. – 436 с.

275. Структуры и параметры гибкой организации вагоноремонтного процесса [Текст] / А. Е. Дударев, В. П. Свинухов, В. Г. Анофриев, Л. П. Безовская // Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов.– Д.: ДИИТ, 1987.– С. 65–69.

276. Сысоев, В. В. Автоматизированное проектирование линий и комплектов оборудования полупроводникового и микронэлектронного производства [Текст] / В. В. Сысоев.– М.: Радио и связь, 1982.– 120 с.

277. Сычѐв, В. В. Развитие вагонного хозяйства [Текст] / В. В. Сычѐв, Г. Н. Перов // Ж.-д. трансп.–1991.– № 1. – С. 38–41.

278. Тартаковский, Э. Д. Моделирование пропускной способности участков технического обслуживания локомотивов [Текст] / Э. Д. Тартаковский. – Вестник ВНИИЖТ. – № 5. – 1984. – С. 3–12.

279. Тартаковский, Э. Д. Научные основы и разработка поточной технологии диагностирования и технического обслуживания тепловозов: автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 02.22.07 [Текст] / Э. Д. Тартаковский; Моск. ин-т инж. трансп. – М.: МИИТ, 1984. – 36 с.

280. Тартаковский, Э. Д. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностики и ремонта локомотивов [Текст] / Э. Д. Тартаковский, А. В. Устенко, В. Г. Пузырь – Х.:ХИИТ, 1992. – 74 с.

281. Техничко-экономическое обоснование строительства завода по ремонту рефрижераторного подвижного состава на ст. Комрат в Молдавской ССР. Проект № 6800 [Текст]. – Днепропетровск: Днепрожелдорпроект, 1981. – 560 с.

282. Техническое обслуживание поездов Pendolino [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – №5. – С. 50–55.

283. Технологические основы гибких производственных систем [Текст] / В. А. Медведев, В. Л. Вороненко, В. Н. Брюханов и др.; под ред. Ю. М. Соломенцева.– М.: Высш. шк., 2000.– 255 с.

284. Технологическое сопровождение ремонта и технологическое обслуживание пассажирских вагонов нового поколения [Текст] / С. В. Мямлин, А. В. Кутько, Ю. В. Кебал, В. В. Мямлин // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты. Тезисы докладов VII Межд. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 06–10.07.2011). – СПб.: ПГУПС, 2011. – С. 79–81.

285. Технологія ремонту рухомого складу. Ч. 1: навч. посіб. [Текст] / В. О. Шамагін, М. Ф. Ареф'єв, В. Н. Пасько та ін. – К.: Дельта, 2008. – 479 с.

286. Технология производства и ремонта вагонов [Текст] / К. В. Мотовилов, В. С. Лукашук, В. Ф. Криворудченко, А. А. Петров; под ред. К. В. Мотовилова. – М.: Маршрут, 2003. – 382 с.

287. Тимченко, А. Ю. Инновационные подходы к решению проблем вагонного хозяйства [Текст] / А. Ю. Тимченко // Сб. докл. науч.-прак. конф. «Инновационные проекты, новые технологии и изобретения» (Москва, 27–28 октября 2005 г.). – Щербинка: ВНИИЖТ, 2005. – С. 49–52.

288. Типові норми часу на зварювальні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів [Текст] / (Наказ Укрзалізниці № 554-Ц від 24.12.08). – К., 2008. – 94 с. – (Нормативний документ Укрзалізниці. Норми).

289. Типові норми часу на підготовчо-заклучні дії, обслуговування робочого місця і регламентовані перерви для робітників підприємств вагонного господарства [Текст] / (Наказ Укрзалізниці № 576-Ц від 03.12.03). – К., 2003. – 36 с. – (Нормативний документ Укрзалізниці. Норми).

290. Типові норми часу на слюсарні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів [Текст] / (Наказ Укрзалізниці № 581-ЦЗ від 03.12.03). – К., 2004 – 154 с. – (Нормативний документ Укрзалізниці. Норми).

291. Типові норми часу на столярні та малярні роботи при деповському ремонті вантажних вагонів [Текст] / (Наказ Укрзалізниці № 331-Ц від 09.06.09). – К., 2009. – 73 с. – (Нормативний документ Укрзалізниці. Норми).

292. Типовой проект организации труда на вагоноборочном производственном участке грузового депо [Текст] / ЦВ МПС, ПКБ ЦВ. – М.: ПКБ ЦВ, 1981. – 114 с.

293. Типовий технологічний процес на капітальний ремонт чотиривісних напіввагонів у вагонних депо Т08.06 [Текст]. – К.: Швидкий рух, 2006. – 308 с.

294. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс] : [Схвал. розп. КМУ № 2174-р від 20.10.2010 р.]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>.

295. Тухарели, О. Г. Ремонту вагонов – индустриальную базу [Текст] / О. Г. Тухарели, Р. Г. Морчиладзе // Ж.-д. трансп.–1985. – № 1. – С. 42–44.

296. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів [Текст] / В. О. Мельничук, В. В. Мямлін, І. В. Ісопенко, С. В. Мямлін. – Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. № 22. – С. 101–108.

297. Ужегов, Г. Н. Биоритмы на каждый день [Текст] / Г. Н. Ужегов. – М.: Агенство «Фаир», 1997. – 608 с.

298. Устич, П. А. Вагонное хозяйство [Текст] / П. А. Устич, И. И. Хаба, В. А. Ивашов; под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.

299. Фалендиш, А. П. Аналіз робіт вчених в області оптимізації системи технічного обслуговування і ремонту [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Устенко, М. В. Володарець // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: Вид-во ДонІЗТ, 2012. – Вип. 31. – С. 114–121.

300. Физиологические и психологические основы труда [Текст] / Е. Ф. Полежаев, Н. П. Калинина, В. Г. Макушин, С. Э. Славина. – М.: Профиздат, 1974. – 232 с.

301. Фильков, Н. И. Поточные линии ремонта локомотивов в депо [Текст] / Н. И. Фильков, Е. Л. Дубинский, М. М. Майзель. – М.: Транспорт, 1983. – 302 с.

302. Форд, Г. Сегодня и завтра [Текст] / Г. Форд. – М.: Финансы и статистика, 1992. – 239 с.

303. Форд, Г. Моя жизнь, мои достижения [Текст] / Г. Форд. – М.: Финансы и статистика, 1989.– 206 с.

304. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных [Текст] / А. А. Халафян.– М.: ООО «Биком-Пресс», 2007. – 512 с.

305. Чернышев, П. Н. Ремонт вагонов на конвейере [Текст] / П. Н. Чернышев, А. К. Сорока, П. Н. Наливайко.– М.: Трансжелдориздат, 1962.– 156 с.

306. Чирков, В. Г. Выборы рациональных технических решений [Текст] / В. Г. Чирков.– К.: Техніка, 1991. – 159 с.

307. Чирков, В. Г. Расчёты экономического эффекта новой техники [Текст] / В. Г. Чирков. – К.:Техніка, 1984.– 182 с.

308. Чупейкина, Л. Г. Деповскому ремонту вагонов – экономическую основу [Текст] / Л. Г. Чупейкина // Ж.-д. трансп.–1987. – № 6. – С. 50–53.

309. 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 [Текст] / Д. И. Шикина; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – М., 2012. – 24 с.

310. Шилович, А. В. Влияние организации технологических линий ремонта грузовых вагонов на трудоёмкость их технического обслуживания на ПТО [Текст] / А. В. Шилович // Совершенствование технического обслуживания, ремонта и конструкции вагонов: Межвуз. сб. науч. тр.: Гомель, БелИИЖТ, 1991. – С. 71–77.

311. Шипунов, А. С. Ремонт грузовых вагонов под контролем [Текст] / А. С. Шипунов // Ж.-д. трансп. Сер. «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов.– ОИ/ЦНИИТЭИ. – 2004.– №3. – С. 43–50.

312. Эшби, У. Р. Введение в кибернетику [Текст] / У. Р. Эшби. – М.: Изд-во ин. лит., 1959. – 432 с.

313. Яковлев, Г. Ф. Поток и ритм в локомотиворемонтном производстве [Текст] / Г. Ф. Яковлев, А. И. Иунихин, Ю. М. Колесников и др. – М.: Транспорт, 1978. – 174 с.

314. Яковлева, Н. М. Моментно-выборочное наблюдение использования во времени поточной линии сборочного цеха [Текст] / Н. М. Яковлева // Труды: Вопросы эксплуатации, строительства и экономики железных дорог, вып. 465, ч. 1. – М.: МИИТ, 1975. – С. 140–145.

315. Якубов, М. С. Основы создания гибких автоматизированных систем многостадийных производств [Текст] / М. С. Якубов.– Ташкент: Фан, 1991.– 136 с.

316. Ямпольский, Л. С. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах [Текст] / Л. С. Ямпольский, М. Н. Полищук.– К.: Техніка, 1988.– 173 с.

317. Янов, А. М. Эффект реконструкции: (Передовой опыт реконструкции вагонного депо Красноармейск) [Текст] / А. М. Янов, В. Х. Хозло, К. Х. Клименко.– М.: Транспорт, 1981.– 102 с.

318. 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.

319. 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.

320. Pat. 6769162 US, MIIK<sup>7</sup>, 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; DateofPat. 03.08.2004.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Мямлин Владислав Витальевич

**Теоретические основы создания гибких поточных  
производств для ремонта подвижного состава**

Монография печатается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка А.А. Заиченко  
Компьютерный набор В. В. Мямлин  
Дизайн обложки Т. В. Шевченко

Издательство ЧФ «Стандарт-Сервис»

Свидетельство ДК № 3197 от 28.05.2008 г.

52005, Украина, Днепропетровская обл., пгт. Юбилейный,

ул. Совхозная, 68, к.65.

Тел. (056) 370-30-22

Отпечатано:

ЧФ «Стандарт-Сервис». Днепропетровская обл.,

пгт. Юбилейное, ул. Совхозная, д.68, к.65.

Подписано в печать 17.12.2014. Формат 29,7х42 ¼. Бумага офсет.

Ризографическая печать. Услов. печ. лист. 21,95. Тираж 300 экз. Зак. №.6.

ISBN 978-966-97463-5-1