

В. В. МЯМЛИН (ДИИТ)

## **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПОДСИСТЕМАМИ АСИНХРОННОГО ГИБКОГО ПОТОКА РЕМОНТА ВАГОНОВ, ФОРМАЛИЗОВАННОГО В ВИДЕ АГРЕГАТИВНОЙ СИСТЕМЫ**

Показано негативні сторони традиційних потоково-конвеєрних ліній для ремонту вагонів. Розглянуто переваги нового типу вагоноремонтного потоку – асинхронний гнучкий потік. В якості математичної моделі функціонування асинхронного гнучкого потоку запропоновано агрегативну систему. Показано особливості взаємодії між агрегативними підсистемами.

Показаны негативные стороны традиционных поточно-конвейерных линий для ремонта вагонов. Рассмотрены преимущества нового типа вагоноремонтного потока – асинхронный гибкий поток. В качестве математической модели функционирования асинхронного гибкого потока предложена агрегативная система. Показаны особенности взаимодействия между агрегативными подсистемами.

Negative aspects of traditional production-and-conveyer lines for wagon repair are shown. Advantages of a new type of wagon-repair flow – asynchronous flexible one – are considered. An aggregative system is suggested as a mathematical model of functioning of the asynchronous flexible flow. Peculiarities of interaction between aggregative subsystems are demonstrated.

Совершенствование организации ремонта вагонов на потоке уже на протяжении многих лет продолжает оставаться одной из самых актуальных задач вагоноремонтного 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 [1].

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

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 одновременно.

Так, например, в работах [2 – 4] в качестве необходимых мер, позволяющих обеспечить внутритактную синхронизацию операций, предлагается ремонтировать на позиции вместо

одного вагона несколько вагонов, выбранных из запаса таким образом, чтобы усреднённая трудоёмкость ремонта этой группы соответствовала норме. Предлагаются также различные варианты, связанные, например, со специализацией ремонтных путей в зависимости от трудоёмкостей ремонта вагонов, организацией уравнивательных позиций, содержанием «авральных» бригад и т.п. Но на практике все эти меры не позволяют достигнуть необходимого результата. Так, если и удастся подобрать такую группу вагонов для одной позиции, нет никакой гарантии, что и на других позициях такой подбор будет соответствовать норме. При этом необходимо постоянно иметь в наличии большое количество вагонов, чтобы производить из них соответствующий отбор, потребуются дополнительные затраты на осуществление маневровой работы и т.п.

Результаты эксплуатации существующих поточных линий для ремонта вагонов свидетельствуют о том, что добиться полной синхронизации работ на позициях, в силу огромного количества различных причин, не только невозможно, но даже и нецелесообразно.

Из-за вероятностного характера времени выполнения ремонтных работ, имеющего разброс в широком диапазоне, в рамках традиционного потока эта задача не может быть решена в принципе.

Тем не менее, альтернативы поточному методу производства нет. 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.

Направление движения в решении этого вопроса видится в создании новых типов вагоноремонтных предприятий, использующих асинхронные гибкие производственные системы (ГПС), позволяющие адаптироваться к каждому ремонтируемому вагону в отдельности. Асинхронный гибкий поток лишён недостатков традиционных «жестких» линий.

На создание качественно новых технологий ремонта вагонов, которые были бы инвариантными широкому разбросу трудоёмкостей ремонтных работ, указывается в работе [5]. Здесь же говорится и о том, что в качестве эталонной технологии деповского ремонта необходимо брать такую технологию, которая основывалась бы на гибких поточных линиях.

На рис. 1 схематично показан один из возможных вариантов компоновки вагоноремонтного предприятия, использующего асинхронный гибкий поток.

К сожалению, такие варианты вагонных депо могут быть реализованы только при новом проектировании и строительстве. Отметим только, что главная идея этого варианта при непосредственном участии автора была заложена в основные технологические решения строительства вагонного депо для ремонта минераловозов и апатитовозов на ст. Апатиты-1 Октябрьской ж.д. (Россия).

В широком понимании ремонт вагонов в целом представляет несколько стадий производственного процесса: подготовка к ремонту, сам ремонт и выполнение комплекса малярных операций. В более узком смысле под ремонтом вагонов необходимо понимать непосредственно стадию выполнения ремонтных операций.

Как показывает практика, стадия подготовки вагонов к ремонту (очистка от остатков перевозимого груза, мойка) и стадия окраски-сушки вагонов представляют собой относительно детерминированные технологические процессы, а стадия самого ремонта носит ярко выраженный стохастический характер. По сути дела, вагоноремонтная стадия непосредственно представляет собой некую кибернетическую систему типа «чёрного ящика», на вход которой поступают вагоны, нуждающиеся в ремонте, а с выхода которой покидают систему уже отремонтированные вагоны. Продолжительность ремонта является случайной величиной, подчиняющейся некоторому закону распределения.

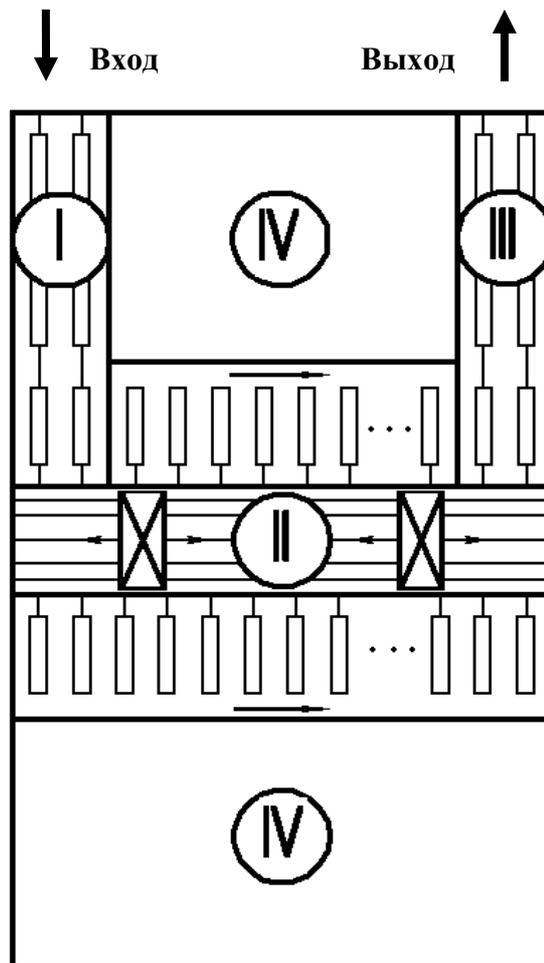


Рис. 1. Схема одного из возможных вариантов компоновки вагоноремонтного предприятия, использующего асинхронный гибкий поток: I – поток подготовки вагонов к ремонту; II – асинхронный гибкий поток ремонта вагонов; III – поток окраски и сушки вагонов; IV – участки и отделения для ремонта узлов и деталей вагонов. (Прямоугольниками условно показано размещение вагонов)

Гибкость – одно из самых сложных понятий в теории ГПС, затрагивающее технологические и организационные аспекты современного производства. В машиностроении и приборостроении под «гибкостью», прежде всего, понимается возможность быстрого перехода производства на другую модель. Для вагоноремонтного же производства каждый очередной вагон – это уже «другая модель». Поэтому при формировании концепции гибкости в вагоноремонтном производстве следует, в первую очередь, исходить из возможности создания именно гибкости транспортной системы, позволяющей осуществлять индивидуальное перемещение каждого вагона между ремонтными позициями.

В ряде работ [9 – 12] уже были изложены некоторые теоретические основы гибкого вагоноремонтного производства, позволяющие счи-

тать их началом перехода к созданию вагоно-ремонтных предприятий XXI века.

Учитывая, что к настоящему времени широко разработан аналитический аппарат и уже сложилась терминология теории массового обслуживания [6], наравне с терминологией теории агрегатов [7, 8], будем в данной работе частично пользоваться и терминами теории массового обслуживания.

При исследовании гибких производств необходимо использование соответствующих методов расчёта. Самым действенным способом на сегодняшний день является имитационное моделирование производственного процесса на ЭВМ. Поэтому вначале должна быть составлена специальная математическая модель, адекватно отражающая процесс функционирования асинхронного гибкого потока.

Вагоноремонтный поток как сложная система состоит из отдельных подсистем, взаимодействующих между собой определённым образом. В качестве подсистем, при решении данной задачи, могут быть выделены следующие структурные элементы: ремонтные позиции, трансбордерные тележки и модули для ожидания.

Наиболее интересный подход к формальному описанию функционирования различных реальных систем представлен в работах [7, 8]. В них предлагается использовать кусочно-линейные агрегаты для описания стохастических динамических систем с дискретным вмешательством случая. В форме кусочно-линейных агрегатов может быть формализован целый ряд реальных процессов. Беря за основу этот подход и видоизменив его с учётом специфики ремонтного производства, можно описать и процесс функционирования асинхронного гибкого потока ремонта вагонов.

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, например,  $z_2(t)$  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  $x(t) \in X$ .

Более подробно описание математических схем агрегатов в вагоноремонтных процессах представлено в работах [13 – 17].

Каждый тип агрегата представляет собой многоканальную систему массового обслуживания (рис. 2). Так, например, ремонтная позиция состоит из нескольких идентичных ремонтных модулей. В транспортной системе предусмотрено несколько трансбордерных тележек, а в системе для ожидания имеется несколько равнозначных мест для вагонов, ожидающих продолжения выполнения ремонта на ремонтных позициях.

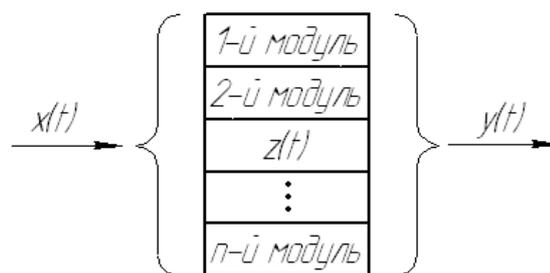


Рис. 2. Общая схема агрегата

В качестве агрегатов примем все вышеперечисленные элементы: ремонтные позиции, транспортную систему и систему для ожидания (накопитель).

С гносеологической точки зрения большое значение может быть отведено и промежуточному между системой и элементом понятию подсистемы. Разбивка исследуемой системы на подсистемы способствует более полному изучению её структуры и делает более обозримыми результаты структурного анализа системы.

Как мы уже говорили, 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.

Отдельные агрегаты по функциональным признакам могут быть объединены в агрегативные подсистемы. В частном случае, агрегативная подсистема может состоять и из одного агрегата.

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).

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 четыре группы.

К первой группе относятся агрегаты ремонтные. Количество агрегатов ремонтных 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 агрегат транспортный. Обозначим его как  $A_{(m+1)}$  или как  $AT$ . Агрегат транспортный является ядром всей системы.

К третьей группе агрегатов относится агрегат для ожидания. Его будем обозначать как  $A_{(m+2)}$  или как  $AO$ .

К четвёртой группе агрегатов отнесём внешнюю среду. Из внешней среды  $E$  поступают новые требования на обслуживание и туда же уходят уже обслуженные требования. Представим внешнюю среду также в виде агрегата и обозначим его  $A_0$ .

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.

Агрегативная ремонтная подсистема непосредственно взаимодействует с внешней средой (рис. 3). 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.

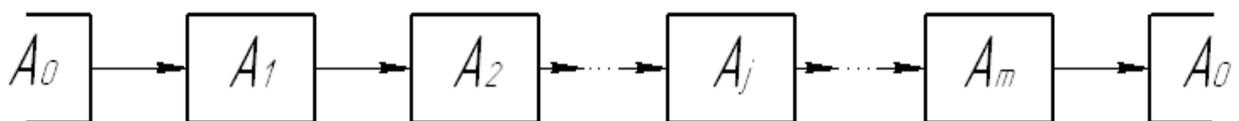


Рис. 3. Общая схема агрегативной ремонтной подсистемы

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 произойдёт «сворачивание» потока.

Общее количество модулей (каналов) в агрегате  $A_0$  будет определяться суммированием числа железнодорожных путей, входящих в здание и числа путей, выходящих из здания.

Более сложно обстоят дела с переходом требований между агрегатами внутри самой сис-

темы  $A_1, A_2, \dots, A_m$ . 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 и, во-вторых, в этот момент должна быть техническая возможность, т.е. необходимо, чтобы агрегат транспортный  $A_{(m+1)}$ , 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.

Особенность взаимодействия между агрегатами ремонтными 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  $A_{(m+1)}$  (транспортных тележек).

Исходя из условия размещения ремонтных позиций (см. рис. 1), 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. В этом случае оборудование, рабочие и ремонтируемые вагоны не будут простаивать по причине перегрузки какой-нибудь позиции.

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 многофазную многоканальную систему массового обслуживания.

На рис. 4 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.

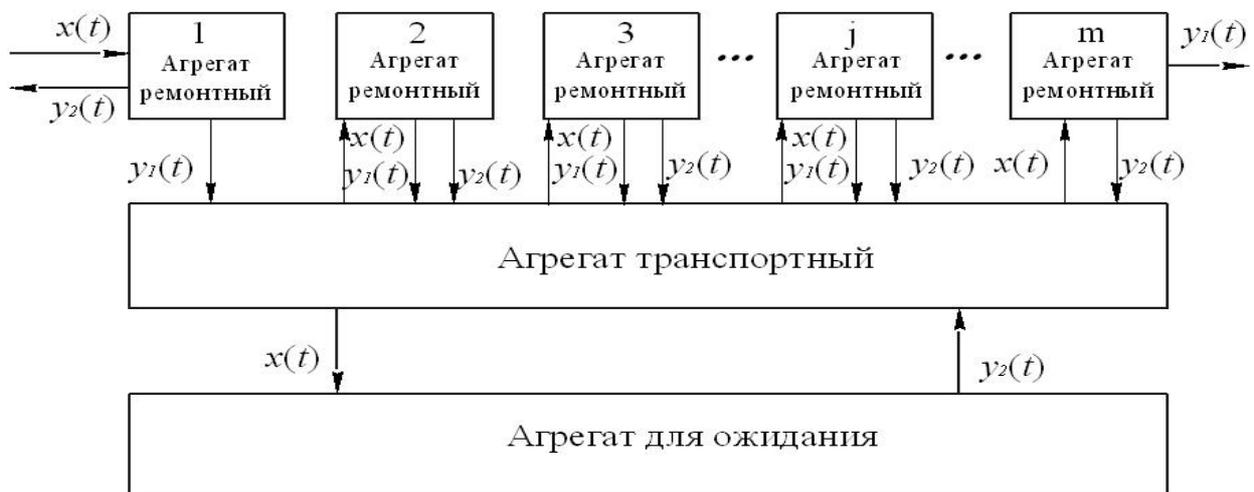


Рис. 4. Общая схема асинхронного гибкого потока, формализованного в виде агрегативной системы

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 мы уже говорили, каждый агрегат ремонтный 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 занят (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 агрегатами, но и определение порядка и очередности 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 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 перемещено в ремонтную подсистему и «встроено» в ремонтный поток.

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 при его проектировании и исследовании с помощью имитационного моделирования на ЭВМ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванищев, В. В. Автоматизация моделирования потоковых систем [Текст] / В. В. Иванищев. – М.: Наука, 1986. – 142 с.
2. Бугаев, В. П. Совершенствование организации ремонта вагонов (системный подход) [Текст] / В. П. Бугаев. – М.: Транспорт, 1982. – 152 с.
3. Скиба, И. Ф. Комплексно-механизированные поточные линии в вагоноремонтном производстве [Текст] / И. Ф. Скиба, В. А. Ёжиков. – М.: Транспорт, 1988. – 136 с.
4. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
5. Вагонное хозяйство [Текст] / П. А. Устич и др.; под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
6. Новиков, О. А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания [Текст] / О. А. Новиков, С. И. Петухов. – М.: Советское радио, 1969. – 400 с.
7. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
8. Бусленко, Н. П. Лекции по теории сложных систем [Текст] / Н. П. Бусленко, В. В. Калашник, И. Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.
9. Мямлин, В. В. Использование ЭВМ для анализа функционирования различных поточных линий для ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин //

Железнодорожный транспорт. Серия «Вагоны и вагонное хозяйство». Ремонт вагонов. – Вып. 1. – М.: ОИ/ЦНИИ ТЭИ МПС, 1989. – С. 1-11.

10. Мямлин, В. В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями [Текст] / В. В. Мямлин // Залізн. трансп. України. – 2008. – № 4. – С.15-17.
11. 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, 9-10.10.2008). – Брянск, 2008. – С. 76-78.
12. Мямлин, В. В. Анализ основных параметров асинхронного гибкого потока ремонта вагонов и методы их расчёта [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 28-33.
13. 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 заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 24. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 44-48.
14. 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.
15. Мямлин, В. В. Схема кусочно-линейного агрегата как математическая модель функционирования технологических модулей асинхронного гибкого потока ремонта вагонов [Текст] / В. В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 25. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 18-22.
16. Myamlin, V. V. Asynchronous flexible stream of wagon repair and modeling of its functioning process as aggregated system / V. V. Myamlin // TRANSBALTICA 2009: Proc. of the 6-th int. scientific conf. (Vilnius, April 22-23, 2009). – Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. – P. 173-178.
17. Мямлин, В. В. Асинхронный гибкий поток ремонта вагонов как агрегативная система [Текст] / В. В. Мямлин // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Тезисы 69 Межд. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 21-22 мая 2009 г.). – Д.: ДИИТ, 2009. – С. 37-38.

Поступила в редколлегию 18.03.2009.