

УДК 629.484 : 658.5

В.В. Мямлин

СТРУКТУРЫ ГИБКИХ ВАГОНРЕМОНТНЫХ УЧАСТКОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОЛИЧЕСТВО ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ ПУТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВАГОНОВ МЕЖДУ ПОЗИЦИЯМИ ПОТОКА

Введение. Повышение качества ремонта вагонов, сокращение времени пребывания вагонов в ремонте, создание условий для постоянного роста производительности труда являются наиболее важными задачами вагоноремонтных предприятий. Однако эти задачи решаются крайне медленно. Как показал опыт ряда существующих депо, переход со стационарного метода ремонта вагонов на «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 позиции 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 движутся по одному пути и имеют одну транспортную степень свободы [1].

Решить эти задачи можно только за счёт внедрения индустриальных методов производства, в основу которых должен быть положен не «жёсткий» поток ремонта вагонов, как это было раньше, а «гибкий». 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 за счёт иной структуры адаптироваться к трудоёмкости ремонта каждого конкретного вагона, а это благоприятно сказывается на общем времени пребывания вагонов в ремонте – оно значительно сокращается. Таким образом, речь идёт о строительстве вагоноремонтных предприятий нового поколения, основанных на гибких системах, адаптируемых к ремонту каждого конкретного вагона.

Постановка задачи. Разработка гибкого потока для вагоноремонтного предприятия на стадии его проектирования является непростой задачей и требует глубоких теоретических исследований. В данной работе впервые сделана попытка поиска рациональных структур гибких вагоноремонтных потоков, которые в рамках заданных условий смогут обеспечить максимальную маневренность вагонов во время их перемещения между ремонтными модулями потока. Это позволит избежать «пробок», повысит пропускную способность потока и сократит продолжительность времени пребывания вагонов в ремонте. Найденная таким образом структура в дальнейшем может явиться исходным материалом для имитационного моделирования технологического процесса ремонта вагонов на потоке.

Изложение основного материала. Для предприятий нового поколения генеральный вагоноремонтный поток (ГВРП) может состоять из трёх последовательно соединённых между собой участков, отличающихся по технологическому признаку: 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 на малярном участке носят относительно стабильный характер. Самый большой размах трудоёмкостей работ, выполняемых при ремонте вагонов, приходится на главный вагоноремонтный участок. Поэтому именно на этом участке и должен быть обязательно использован «гибкий» поток ремонта вагонов. На остальных участках успешно могут использоваться «полужёсткие» потоки.

Фактические трудоёмкости одних и тех же видов ремонтных работ, даже на вагонах одного и того же типа, очень сильно отличаются друг от друга. Данные, собранные на вагонсборочных участках действующих предприятий, свидетельствуют о том, что, например, трудоёмкости газорезательных работ на полувагонах могут отличаться в 34,5 раза, сварочных – в 6,4 раза, слесарных – в 4,1 раза [2]. В целом же по вагонсборочному участку трудоёмкости работ на полувагонах могут отличаться между собой в 3–5 раз [3]. 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 связаны между собой и оказывают огромное влияние на перемещение друг друга, что сказывается на их общем перемещении и снижает пропускную способность всего потока в целом. Так, например, если на вагоне, находящемся на j -й позиции, ремонтные работы уже будут завершены, а на следующей $(j + 1)$ -й позиции в этот момент работы на другом вагоне ещё будут продолжаться, то, естественно, что перемещение вагона не состоится. Он будет продолжать оставаться на j -й позиции до тех пор, пока не освободится место на $(j + 1)$ -й позиции. Исходя из широкого размаха трудоёмкостей ремонтных работ на вагонах и применения «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. Какой-либо «обгон» при такой организации потоков просто невозможен. Вагоны находятся в единой «связке», которая исключает всякую «самостоятельность».

В случае же гибкого потока будет наблюдаться совсем иная транспортная картина. Здесь вагон с любого модуля j -й позиции может быть легко перемещён на любой модуль $(j + 1)$ -й позиции. Под транспортной гибкостью будем понимать количество возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока. Величина гибкости является дискретной величиной, которая изменяется скачкообразно с изменением структуры потока. Наличие транспортной гибкости является архиважным условием для нормального функционирования вагоноремонтных потоков.

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

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

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

m – общее количество позиций гибкого потока.

Для «жёстких» или «полужёстких» потоков S определяется исходя из количества параллельных путей на участке ($S = 2$ – если два пути; $S = 3$ – если три пути и т.д.).

Обычно под структурой системы понимается устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени элементов и связей между ними [4]. В качестве «элементов» вагоноремонтного потока будем рассматривать технологические модули. Структура «жёсткого» потока ремонта вагонов определяется количеством ремонтных ниток, количеством позиций на каждой нитке и количеством мест на одной позиции. Под структурой «гибкого» вагоноремонтного потока будем понимать количество позиций, количество модулей на каждой позиции и технологические связи между ними. Структура «гибкого» потока зависит от программы ремонта, выбранного технологического процесса и номинального годового фонда времени работы предприятия.

На разных участках ГВРП из-за разной структурной компоновки предусматриваются разные системы перемещения вагонов. На участке подготовки вагонов к ремонту и малярном участке для перемещения вагонов вдоль позиций потока могут быть использованы 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 [1]. В связи с этим появляются места соединения участков – «узлы».

«Узлом» будем называть те позиции, которые обслуживаются одновременно несколькими транспортными системами. В нашем случае имеются два таких узла, которые назовём условно – «узел А» и «узел В». Узел А расположен в месте соединения участка подготовки вагонов к ремонту с главным вагоноремонтным участком, а узел В – в месте соединения главного вагоноремонтного участка с малярным участком. В узел А вагоны подаются при помощи грузоведущих конвейеров, а забираются оттуда с помощью транспортного агрегата. В узле В всё происходит наоборот – вагоны подаются в него с помощью транспортного агрегата, а забираются – при помощи грузоведущих конвейеров.

Узел А может быть последней позицией участка подготовки вагонов к ремонту или первой позицией главного вагоноремонтного участка. Соответственно, узел В может быть последней позицией главного вагоноремонтного участка или первой позицией малярного участка.

Возможны следующие варианты сочетаний принадлежности узлов участкам:

Вариант 1. Узел А принадлежит участку подготовки вагонов к ремонту, а узел В – малярному участку (рис. 1, а)

Вариант 2. Узел А принадлежит участку подготовки вагонов к ремонту, а узел В – главному вагоноремонтному участку (рис. 1, б).

Вариант 3. Узел А принадлежит главному вагоноремонтному участку, а узел В – малярному участку (рис. 1, в).

Вариант 4. Узлы А и В принадлежат главному вагоноремонтному участку (рис. 1, г).

Если узел А относится к участку подготовки вагонов к ремонту, то будем обозначать его как A_I , в противном случае – как A_{II} . Для узла В возможны следующие варианты: B_{II} и B_{III} .

Так как узлы сопряжения связаны с одной стороны с грузоведущими конвейерами, то, следовательно, для возможности перестановки вагонов, количество модулей в них должно совпадать с количеством 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 сопряжены с остальными участками, то общая гибкость всего ГВРП будет полностью определяться только гибкостью главного вагоноремонтного потока $S_0 = S_{II}$. В случае если указанные позиции не будут сопряжены с остальными участками, то общая гибкость ГВРП определится следующим образом: $S_0 = S_{II} \cdot S_I \cdot S_{III}$. Возможные варианты принадлежности узлов соединяемым между собой участкам ГВРП и соответствующие им формулы расчёта его транспортной гибкости представлены в табл. 1.

Таблица 1

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

Номер варианта	Наименование участка ГВРП			Формула расчёта гибкости
	Участок подготовки вагонов к ремонту	Главный вагоноремонтный участок	Малярный участок	
1	Узел A_I	–	Узел B_{III}	$S_0 = S_I \cdot S_{II} \cdot S_{III}$
2	Узел A_I	Узел B_{II}	–	$S_0 = S_I \cdot S_{II}$
3	–	Узел A_{II}	Узел B_{III}	$S_0 = S_{II} \cdot S_{III}$
4	–	Узел A_{II} ; узел B_{II}	–	$S_0 = S_{II}$

На рис. 1 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.

Из отдельных ремонтных позиций формируются участки, а из участков – ГВРП. Количество позиций (фаз) на потоке должно устанавливаться исходя, прежде всего, из принятого технологического процесса. Очень важно, чтобы все позиции потока были специализированы либо на выполнении конкретных видов работ (моечных, дефектовочных, слесарных, газорезательных, электросварочных, разборочных, сборочных, малярных, испытательных, приёмо-сдаточных), либо были 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 технологическим 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 участке 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 участка, можно по известной классической формуле определить фронт работ (количество модулей) на потоке [5]:

$$R = \frac{NT}{Fc}, \quad (2)$$

где N – программа ремонта вагонов;

T – нормативный простой вагонов в ремонте, ч (для полувагонов $T = 18$ [6]);

F – номинальный годовой фонд времени работы участка в одну смену, ч ($F = 2002$ [7]);

c – число рабочих смен, $c = 2$ [8].

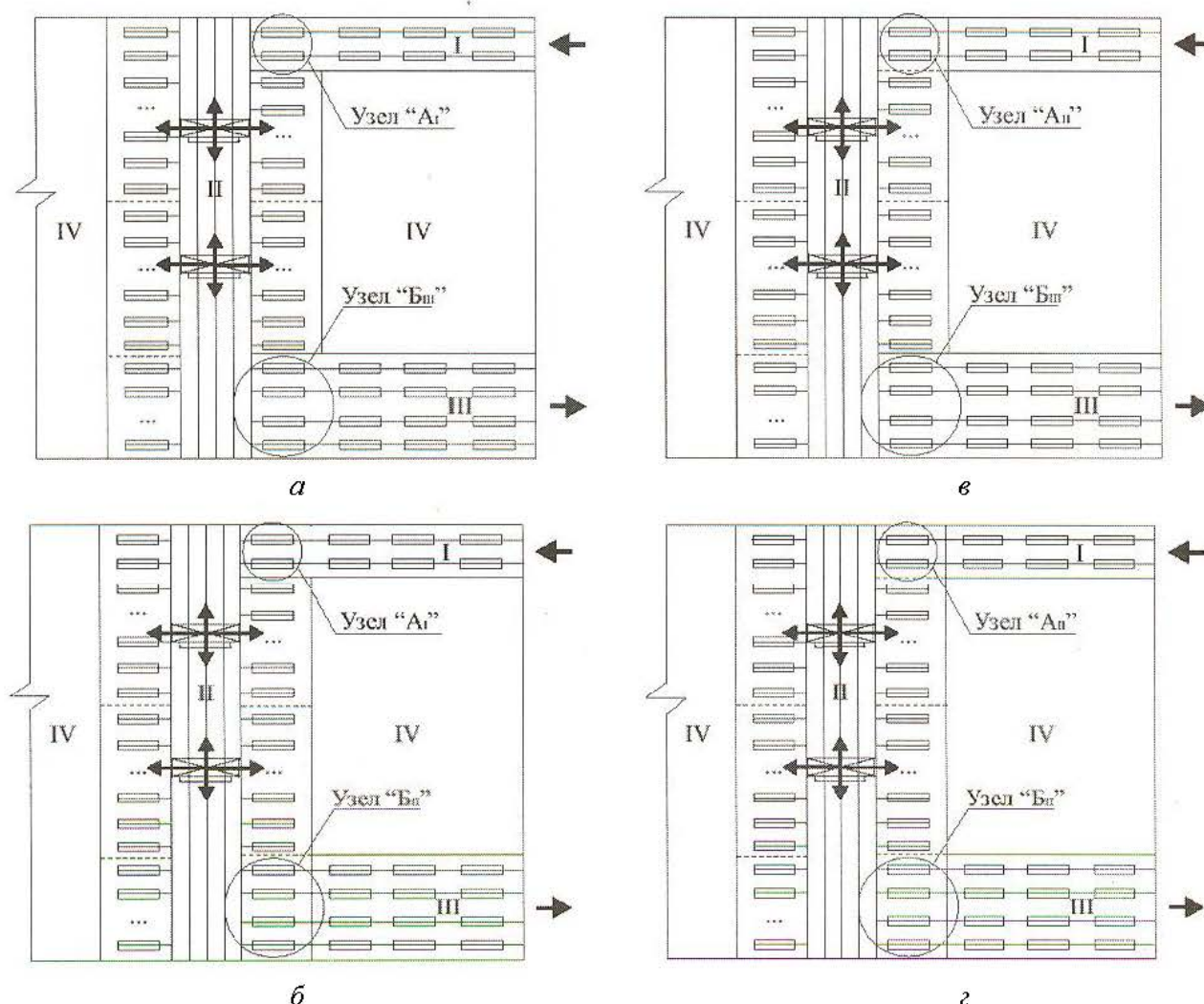


Рис. 1. Возможные варианты принадлежности узлов участкам генерального вагоноремонтного потока

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

$$T^{\text{cp}} = t_1^{\text{cp}} + t_2^{\text{cp}} + \dots + t_j^{\text{cp}} + \dots + t_m^{\text{cp}}, \quad (3)$$

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

Общее количество ремонтных модулей, определяемое по формуле (2), должно быть распределено между всеми позициями потока пропорционально времени выполнения ремонтных работ на этих позициях. И наоборот, общее количество ремонтных модулей на всём потоке складывается из количества модулей на отдельных позициях:

$$R = \sum_{j=1}^m n_j. \quad (4)$$

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

$$n_j = \frac{Rt_j^{\text{cp}}}{T^{\text{cp}}}. \quad (5)$$

Как правило, количество позиций на потоке связано с особенностями технологического процесса, а число модулей на каждой позиции напрямую зависит от продолжительности времени выполнения работ на позициях. Существует определённая (но не строгая для некоторых операций) последовательность выполнения ремонтных работ. Поэтому структурой потока для ремонта вагонов можно варьировать. Это подтверждается и широким спектром различных структур поточных линий, имеющих место на сегодняшний день в существующих вагонных депо [9].

На первом этапе проектирования гибкого потока необходимо выбрать несколько альтернативных вариантов, обладающих повышенной структурной «гибкостью». А на втором этапе уже при помощи имитационного моделирования этих вариантов более точно определить реальную пропускную способность каждого из них и выбрать наиболее приемлемый вариант. Один из самых главных вопросов при проектировании вагоноремонтных потоков звучит так: сколько же должно быть позиций на потоке? В типовых проектных решениях для депо по ремонту полувагонов предлагается на вагоносборочном участке организовать четыре позиции, в том числе последнюю – малярную [10]. При этом предварительные разборочные и газорезательные работы рекомендуется производить на отдельном участке уравнильного ремонта. В инструктивно-методических указаниях и нормативах по организации поточного депо ремонта грузовых вагонов рекомендуется иметь на вагоносборочном участке от 3 до 5 позиций [3]. С момента издания данных нормативных актов прошло уже много лет. За этот период вагонный парк сильно изменился, а трудоёмкость ремонта вагонов выросла в несколько раз. Кроме того, указанные работы предполагают наличие «жёстких» поточных линий, перед постановкой на которые вагоны должны предварительно пройти через стационарные позиции уравнильного ремонта, расположенные вне вагоносборочного участка. Простой же вагонов на этих позициях иногда соизмеримы с простоями на самой поточной линии. Таким образом, считать полноценным потоком такой способ организации ремонта вагонов можно только с большой долей условности. Гибкий же поток ни в каких предварительных («уравнильных») позициях не нуждается – на него сразу же поступают все вагоны подряд, независимо от их технического состояния. Так как это способствует увеличению трудозатрат на самом потоке, то количество позиций при гибком потоке должно быть больше, чем при «жёстком» потоке. Вместе с тем каждая дополнительная позиция – это лишнее перемещение. А каждое перемещение – это и дополнительные материальные потери, связанные с ним. При небольшом количестве позиций невозможно осуществить комплексную механизацию. Излишнее же количество позиций требует затрат, связанных с дополнительным перемещением вагонов между позициями. Поэтому позиций на потоке должно быть минимально необходимое, но достаточное количество. А эффективное решение надо 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 количестве модулей на позициях меняется его структура и возникает разное количество потенциальных вариантов пути перемещения вагонов между позициями. При проектировании вагоноремонтных потоков может быть создано большое количество различных вариантов структур, отличающихся между собой и числом позиций, и числом модулей на позициях. Из формулы (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.

В табл. 2 представлены результаты, соответствующие тем вариантам структур потоков, при которых значения возможных сценариев перемещения вагонов оказались наибольшими. По этим результатам можно наблюдать общую тенденцию изменения числа возможных вариантов пути перемещения вагонов между позициями потока. Эта тенденция проявляется в том, что при заданном общем количестве модулей на потоке, с постепенным увеличением числа позиций, вначале количество возможных путей перемещения вагонов увеличивается, 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 числа позиций на единицу уже не отражается на увеличении числа возможных вариантов пути перемещения вагонов. В остальных же случаях оно вообще начинает сразу же уменьшаться.

Допустим, необходимо спроектировать вагонное депо с программой ремонта – 8000 полувагонов в год. Вначале определимся со временем нахождения вагонов на каждом участке. Если исходить из общего нормативного времени нахождения полувагонов в ремонте ($T = 18$ ч) [6], 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. Из табл. 2 находим, что для выполнения примерно этой программы необходимо иметь 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 4096 вариантов пути перемещения вагонов между позициями.

Это самая лучшая структура по критерию многовариантности перемещений вагонов, но она может совершенно 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 [11]:

$$C_{R-1}^{m-1} = \frac{(R-1)!}{(m-1)!(R-m)!} \quad (6)$$

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

Таблица 2

Зависимость максимального числа возможных вариантов пути перемещения вагонов от количества позиций и количества модулей на позициях

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 вагона, S									
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
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
21	110	343	750	1280	1728	2187	1944	1728	1536	7007
22	121	392	900	1600	2304	2916	2916	2592	2304	7341
23	132	448	1080	2000	3072	3888	4374	3888	3456	7674
24	144	512	1296	2500	4096	5184	6561	5832	5184	8009
25	156	576	1512	3125	5120	6912	8748	8748	7776	8344
26	169	648	1764	3750	6400	9216	11664	13122	11664	8676
27	182	729	2058	4500	8000	12288	15552	19683	17496	9010
28	196	810	2401	5400	10000	16384	20736	26244	26244	9342
29	210	900	2744	6480	12500	20480	27648	34992	39366	9677
30	225	1000	3136	7776	15625	25600	36864	46656	59049	10010
31	240	1100	3584	9072	18750	32000	49152	62208	78732	10345
32	256	1210	4096	10584	22500	40000	65536	82944	104976	10674

* – программа ремонта N определена по формуле (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.

В табл. 3 для примера представлены некоторые возможные варианты распределения этого количества модулей между позициями потока. Видно, что наибольшему количеству вариантов ($S = 4096$) 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 искать такую структуру, которая будет ближе всего соответствовать продолжительностям выполнения работ на специализированных позициях. 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 вполне достаточно и сыграет положительную роль в отличие от «жестких» потоков, имеющих только один возможный вариант движения вагонов. Чем продолжительнее простой вагонов на позиции, тем больше должно быть на ней модулей.

Таблица 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	Количество возможных вариантов перемещения
	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
3	3	5	3	5	4	4	24	3600
4	3	5	3	5	3	5	24	3375
5	2	6	4	4	4	4	24	3072
6	2	6	3	5	4	4	24	2880
7	2	6	3	5	3	5	24	2700
8	2	6	2	6	4	4	24	2304
9	2	6	2	6	3	5	24	2160
10	2	5	2	8	4	3	24	1920
11	2	6	2	6	2	6	24	1728
12	2	5	2	7	2	6	24	1680
13	2	5	2	9	3	3	24	1620
14	2	5	2	8	2	5	24	1600
15	2	5	2	9	2	4	24	1440
16	2	4	2	10	2	4	24	1280

Обратим внимание на то, что та структура потока, которая может быть приемлема с точки зрения гибкости, не обязательно может быть приемлема с точки зрения реальной технологии.

В качестве ещё одного примера (для сравнения) приведём разбивку того же количества модулей ($R = 24$), но уже между семью позициями потока. В случае использования семипозиционного потока для того же количества модулей количество возможных вариантов распределения модулей между позициями, подсчитанное по формуле (6), 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. 4). Но если по соображениям технологического процесса более подходящим будет, например, вариант 6 ($S = 3840$), то на этом варианте и необходимо делать выбор при таком количестве позиций.

Распределение модулей между позициями по каждому варианту (табл. 3–4) показано условно и может быть при тех же абсолютных значениях перераспределено в иной последовательности. Потоки могут быть разными по структуре, но иметь одно и то же количество вариантов пути перемещения. В общем же случае для создания наибольшего количества вариантов возможных перемещений разница между количеством модулей на позициях должна быть наименьшей. Чем больше потенциальных вариантов путей перемещения вагонов на потоке, тем лучше.

Таблица 4

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	Количество возможных вариантов перемещения
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
1	3	3	3	3	4	4	4	24	5184
2	3	3	2	4	4	4	4	24	4608
3	3	3	3	3	3	3	6	24	4374
4	3	3	3	4	4	5	2	24	4320
5	4	4	4	4	4	2	2	24	4096
6	2	3	4	5	4	2	4	24	3840
7	4	4	3	6	3	2	2	24	3456
8	2	2	2	4	5	4	5	24	3200
9	2	2	2	4	6	4	4	24	3072
10	2	2	2	4	6	3	5	24	2880
11	2	2	2	3	7	4	4	24	2688
12	2	2	3	3	8	3	3	24	2592
13	2	2	2	3	7	3	5	24	2520
14	2	2	2	2	6	5	5	24	2400
15	2	2	2	3	8	3	4	24	2304
16	2	2	3	3	7	3	2	24	1512

На рис. 2 представлены рекомендуемые альтернативные варианты схем распределения модулей между позициями гибкого потока.

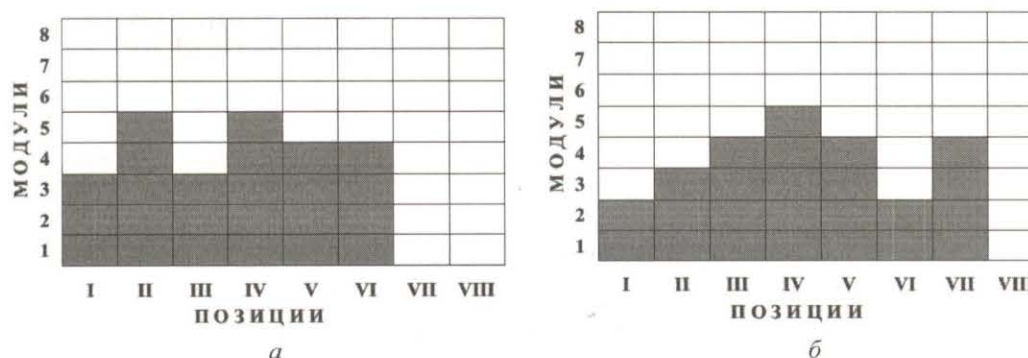


Рис. 2. Схема распределение модулей между позициями гибкого потока:

а – по данным табл. 3, вариант 3; б – по данным табл. 4, вариант 6

В аналитическом виде структуры потоков могут быть записаны следующим образом:

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

Так, например, структура шестипозиционного гибкого потока будет иметь следующий вид: $3 \times 5 \times 3 \times 5 \times 4 \times 4 | 24 | 4096$, а для семипозиционного гибкого потока структура примет вид: $2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 4 \times 2 \times 4 | 24 | 5184$.

На рис. 3 показаны альтернативные варианты структур гибких потоков.

Учитывая вероятностную природу вагоноремонтного производства, после того как будут определены альтернативные структуры будущего потока, необходимо при помощи имитационного моделирования выбрать из них структуру с наиболее эффективными технико-экономическими показателями. Причём ввиду сложности реальных процессов, происходящих на позициях вагоноремонтного потока, известный на сегодняшний день математический аппарат теории массового обслуживания в аналитическом его виде не совсем приемлем для этой цели. Для более точного расчёта рекомендуется использование имитационных моделей мультифазных поликанальных асинхронных потоков, построенных на основе математических схем кусочно-линейных агрегатов.

Вместе с тем наш опыт свидетельствует о том, что проектно-изыскательские институты железнодорожного профиля, как правило, не имеют навыков имитационного моделирования подобных технологических процессов. Поэтому для них приведенная методика определения структуры гибкого потока вагоноремонтного предприятия может сыграть решающую роль уже на первом этапе.

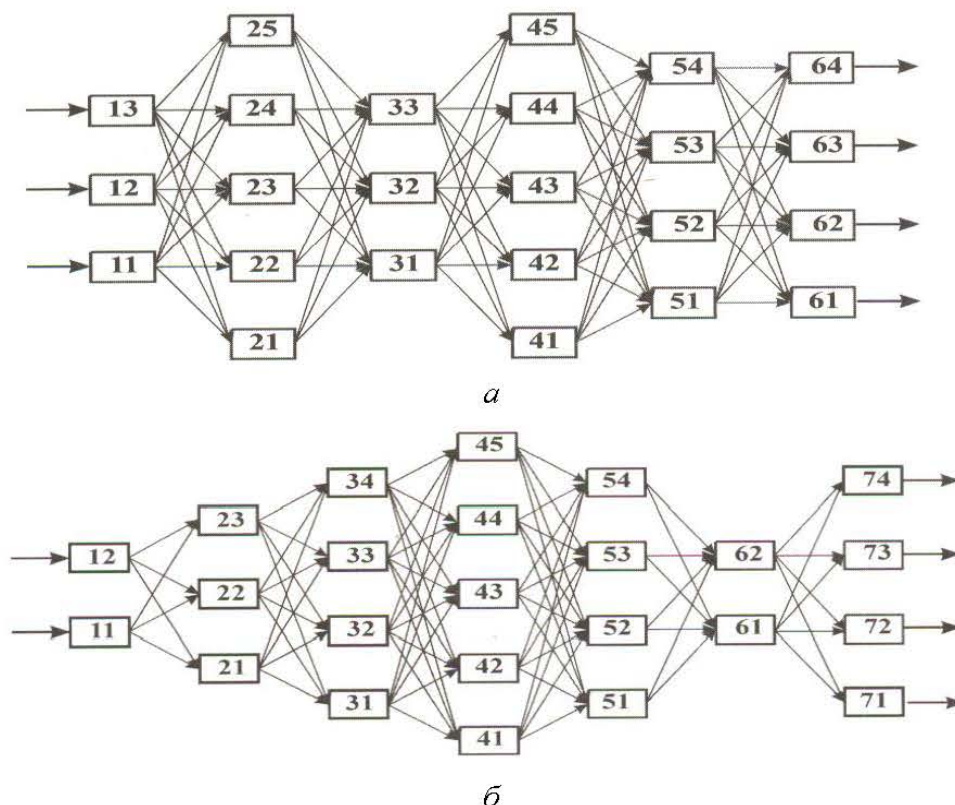


Рис. 3. Структура гибкого потока:

а – по данным табл. 3, вариант 3; б – по данным табл. 4, вариант 6

Выводы

Таким образом, по количеству возможных путей перемещения вагонов можно судить о том, что гибкие потоки наилучшим образом подходят для использования их в ремонтном производстве, где объекты ремонта имеют широкий размах трудозатрат.

В работе впервые показано преимущество гибких вагоноремонтных потоков со стороны их способности обладать значительным числом возможных сценариев перемещения вагонов вдоль позиций потоков. В работе представлена методика построения структур гибких вагоноремонтных потоков с учётом получения оптимальной гибкости для данного структурного варианта. Показаны приёмы рационального сопряжения между собой участков генерального вагоноремонтного потока и приведены формулы расчёта его гибкости. Реализация результатов работы на практике имеет большое значение, так как позволяет ещё на стадии проектирования подбирать структуры вагоноремонтных потоков, потенциально обладающих повышенной пропускной способностью.

Библиографический список

- 1 Мямлин, В.В. Совершенствование поточного метода ремонта вагонов за счёт гибкости транспортной системы между технологическими модулями / В.В. Мямлин // Заліз. трансп. України. – 2008. – № 4. – С. 15–17.
- 2 Мямлин, В.В. Анализ трудоёмкостей отдельных видов работ при деповском ремонте полувагонов / В.В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 40. – Днепропетровск : Вид-во ДНУЗТ, 2012. – С. 28–36.
- 3 Инструктивно-методические указания и нормативы по организации поточного деповского ремонта грузовых вагонов. – М. : ПКБ ЦВ МПС, ВНИИЖТ, 1986. – 132 с.
- 4 Николаев, В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л. : Машиностроение, 1985. – 199 с.
- 5 Скиба, И.Ф. Поточный метод ремонта вагонов на заводах / И.Ф. Скиба. – М. : Гос-трансжелдориздат, 1950. – 247 с.

- 6 Норми простою вантажних вагонів при депоєвському ремонті, технічному обслуговуванні з відчепленням, та підготовки до навантаження / Затв. Наказ. Укрзалізниці від 14.06.2005 р. – Київ : ДП «КПКТБВ», 2005. – 10 с.
- 7 Про розрахунок норми тривалості робочого часу на 2013 рік / Лист Міністерства соціальної політики від 21 серпня 2012 р. № 9050/0/14-12/13. – URL : http://www.hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=849
- 8 Нормы технологического проектирования депо для ремонта грузовых и пассажирских вагонов / ВНТП 02-86/МПС. – М. : Транспорт, 1987. – 33 с.
- 9 Ножевников, А.М. Поточно-конвейерные линии ремонта вагонов / А.М. Ножевников. – М. : Транспорт, 1980. – 137 с.
- 10 Депо для ремонта полувагонов на программу 6000 и 10000 физ. единиц в год. Вагоносборочный участок. Технологическая часть. Альбом 1. Пояснительная записка, чертежи / Типовые проектные решения 501-3-040.22.88. – М. : Мосгипротранс, 1988. – 44 с.
- 11 Виленкин, Н.Я. Комбинаторика / Н.Я. Виленкин. – М. : Наука, 1969. – 328 с.

Bibliography

- 1 Myamlin, V.V. Upgrading of flow method of cars repair by means of transport system flexibility between technological modules / V.V. Myamlin // *Zalozn. Transp. Ukr.* – 2008. – № 4. – P. 15–17.
- 2 Myamlin, V.V. Labor intensity analysis of separate types of works during repair of open cars in train yard / V.V. Myamlin // *Visnuk Dnipropetr. Nac. Univer. Of Rail. Trans. named after Academ. V. Lazaryan.* – 2012. – № 40. – Dnepropetrovsk : DNUZT publishing, 2012. – P. 28–36.
- 3 Guidelines and procedures, instructions and norms for organization of flow roundhouse servicing of freight cars. – Moscow : PKB CV MPS, VNIIGT, 1986. – P. 132.
- 4 Nikolaev, V.I. System engineering: methods and applications / V.I. Nikolaev, V.M. Bruk. – Leningrad : Machinery building, 1985. – P. 199.
- 5 Skiba, I.F. Flow method of cars repair on factories / I.F. Skiba. – Moscow : Gostranszheldorizdat, 1950. – P. 247.
- 6 Free time standards of freight cars during train yard repair, maintenance with uncoupling and preparing for loading / Approved by UZ order 14.06.2005. – Kiev : GE «KPKTBV», 2005. – P. 10.
- 7 About calculation of work hours duration norms for 2013 / Letter of Ministry of Social Politics. August 2012. – № 9050/0/14-12/13. – URL : http://www.hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=849
- 8 Norms of train yard's technological projecting for repair of passenger and cargo cars / VNTP 02-86/MPС. – Moscow : Transport, 1987. – P. 33.
- 9 Nozhevnikov, A.M. Flow-conveying lines of cars repair / A.M. Nozhevnikov. – Moscow : Transport, 1980. – P. 137.
- 10 Train yard for open cars repair with program 6000 and 10000 physical units per year. Car-building workhouse. Technological part. Album 1. Explaining note, drawings / Typical project's solves 501-3-040.22.88. – Moscow : Mosgiprotrans, 1988. – P. 44.
- 11 Vilenkin, N.Y. Combinatorics / N.Y. Vilenkin. – Moscow : Nauka, 1969. – P. 328.